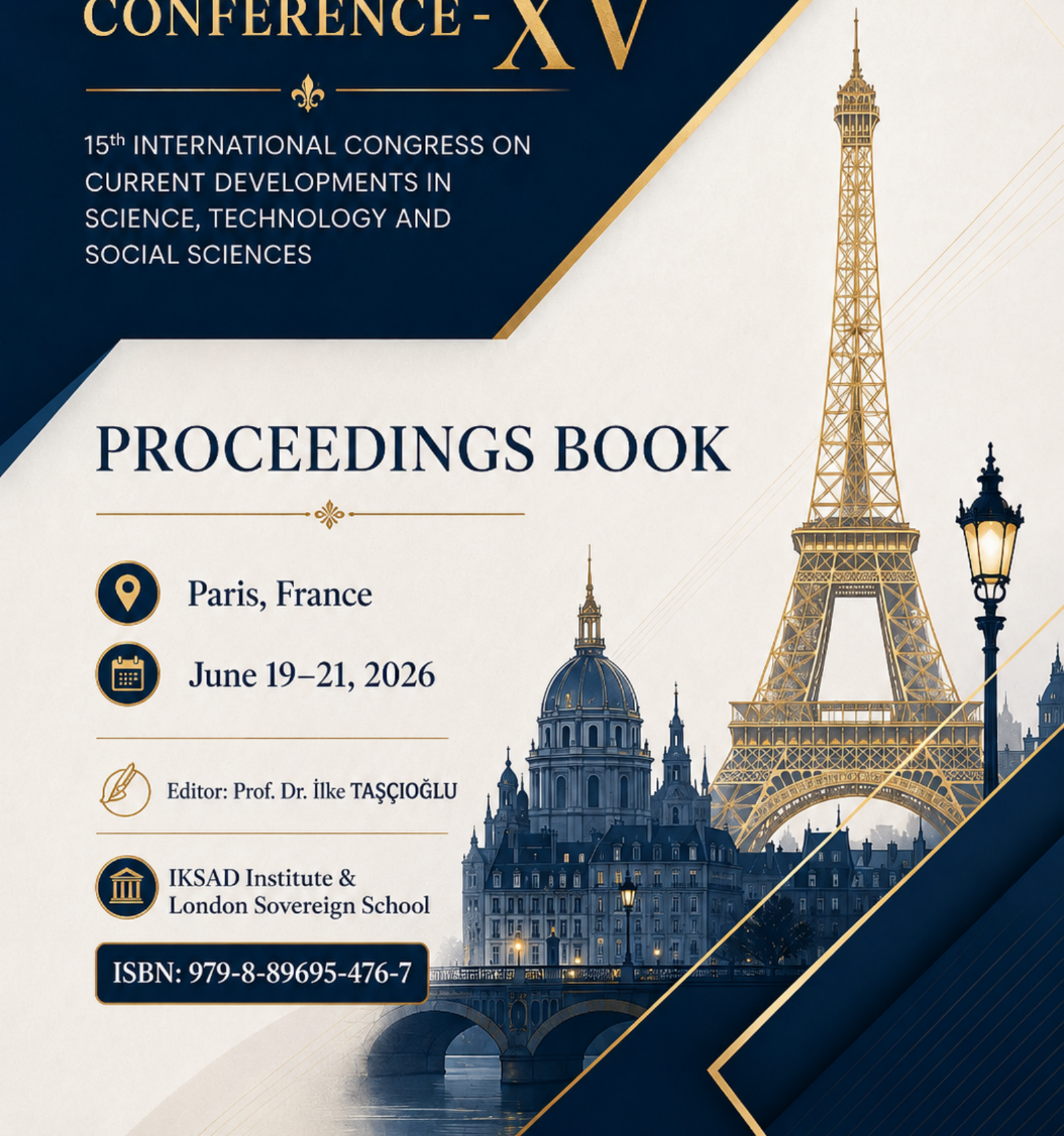
BILTEK CONFERENCE - XV

15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

PROCEEDINGS BOOK



Paris, France

June 19–21, 2026

Editor: Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU

IKSAD Institute &
London Sovereign School

ISBN: 979-8-89695-476-7

CONFERENCE ID

CONFERENCE TITLE

BILTEK CONFERENCE-XV

15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DATE AND PLACE

June 19-21, 2026 **Paris**

ORGANIZATION

IKSAD INSTITUTE & LONDON SOVEREIGN SCHOOL

EDITOR

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU

PARTICIPANT COUNTRIES (24)

Total Accepted Papers: 124

Total Rejected Papers: 11

Total Accepted Papers from other Countries: 67

Accepted Accepted Papers from Türkiye: 57

ISBN: 979-8-89695-476-7

BILTEK CONFERENCE-XV

15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

Copyright © Liberty

Liberty Publishing House
Water Street Corridor New York, NY 10038
www.libertyacademicbooks.com
+1 (314) 597-0372
ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (http://creativecommons. org/licenses/by-nc/4.0/) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.

adopted by Mariam Rasulan

EDITOR

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU

Issued: 10.07.2026

ISBN: 979-8-89695-476-7

SCIENTIFIC & ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Osman Kubilay GÜL- Sivas Cumhuriyet University

Prof. Dr. Ozan ARTUN- Zonguldak Bülent Ecevit University

Prof. Dr. Hakkı ÇİFTÇİ- Çukurova University

Prof. Dr. Nihat ŞİMŞEK- Gaziantep University

Prof. Dr. Abdulhamit SİNANOĞLU- Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Prof. Dr. Sarash KONYRBAEVA- Kazakh State Women's Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Sabahattin ÇAM- Çukurova University

Assoc. Prof. Dr. Dinara FARDEEVA- Russian Academy of Sciences

Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN- Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University

Assoc. Prof. Dr. Sevtap TIRINK- Iğdır University

Dr. Badel İNCE- Mersin University

Dr. C. VIJAI- Institute of Higher Education and Research, Department of Commerce

Dr. Afaq SADYGOVA- Azerbaijan State Pedagogical University

Dr. Özlem Özkan ÖNÜR- Istanbul Nişantaşı University

Dr. Funda Gül KOÇ- Kocaeli University, Türkiye

Dr. Jamal-Eldin F. M. IBRAHIM- King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

Dr. ZHI Huang- Minzu University of China

Dr. Elena TINIKOVA- Russian Academy of Sciences

SCIENTIFIC & ADVISORY BOARD

Dr. MA Yuzhong- Renmin University of China

Dr. Elvan CAFAROV- Nakhchivan University

Dr. Beşır SALİH- Al-Jabal Al-Gharbi University

Dr. Hab. Elżbieta PATKOWSKA- University of Life Sciences in Lublin

Dr. Kazi Md. Salim Newaz- University of Malaya

Dr. Mahabbat OSPANBAEVA- Taraz State Pedagogical University

Dr. Maha Hamdan ALANAZİ- King Abdulaziz Institute of Technology, Riyadh

Dr. Mehdi GHEISARI- Harbin Institute of Technology

Dr. Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho- School of Engineering, Polytechnic Institute of Porto

Dr. Bin ZHU- Xi'an Jiaotong University

Dr. Seema S. DESAI- Shivaji University

Dr. Damejan SADYKOVA- Kazakh State Women's Pedagogical University

Dr. Gulbaxar Tavaldieva- Tashkent Institute of Chemical Technology

Dr. Froilan Mobo- Philippine Merchant Marine Academy

Dr. Bashir Ali SALEH- Al-Jabal Al-Gharbi University

Dr. Elena TINIKOVA- Russian Academy of Sciences

Dr. Virendra Singh Choudhary- Jaipur National University

Dr. Victoria Valenzuela- Bulacan State University

Dr. Natalie Jiguimkudre- Joseph Ki-Zerbo University

ORGANIZATION BOARD

Chair of the Organizing Committee

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU- İstanbul Topkapı University

Members of the Organizing Committee

Prof. Dr. Osman Kubilay GÜL- Sivas Cumhuriyet University

Prof. Petra PELLETIER-Paris University

Prof. Dr. Ozan ARTUN - Zonguldak Bülent Ecevit University

Prof. Nguyễn Thị Bích Vân - University of Architecture

Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN - Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University

PHOTO GALERY








IKSAD PARIS
CERTIFICATE







Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine" of Taras Shevchenko
National University of Kyiv, Physiology and Anatomy Department, Ukraine

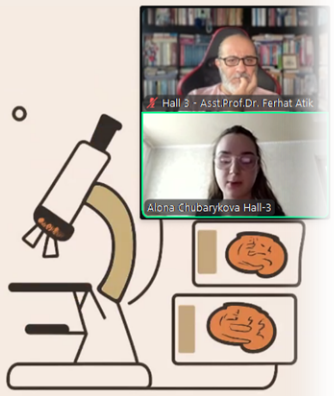
Alzheimer's Disease and Cognitive Decline

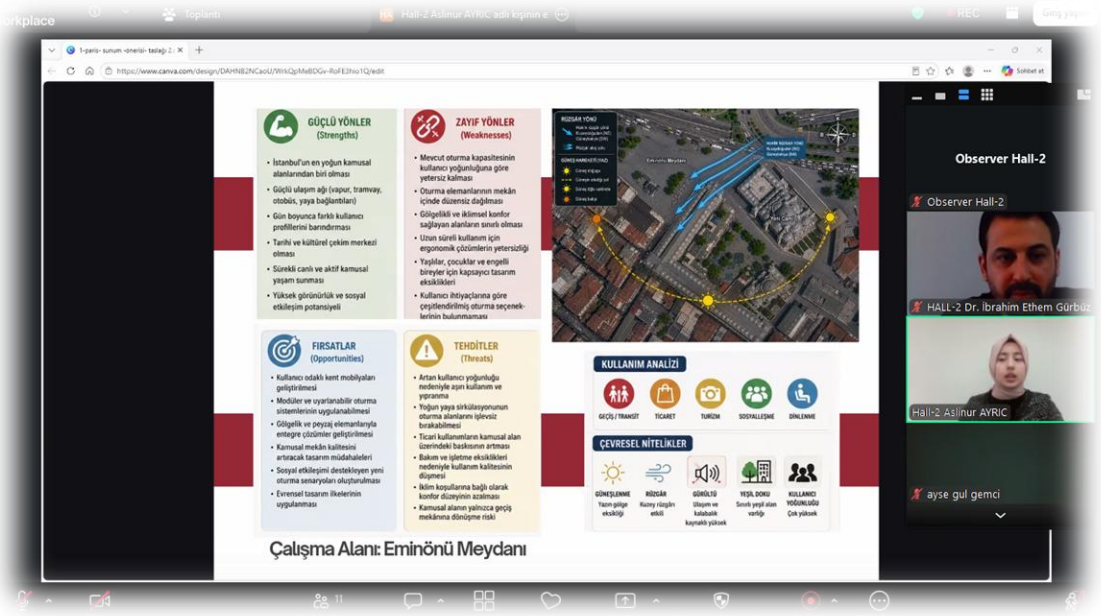
Alzheimer's disease is characterized by:

- progressive cognitive decline
- neuronal dysfunction
- synaptic loss
- amyloid-beta accumulation
- tau pathology

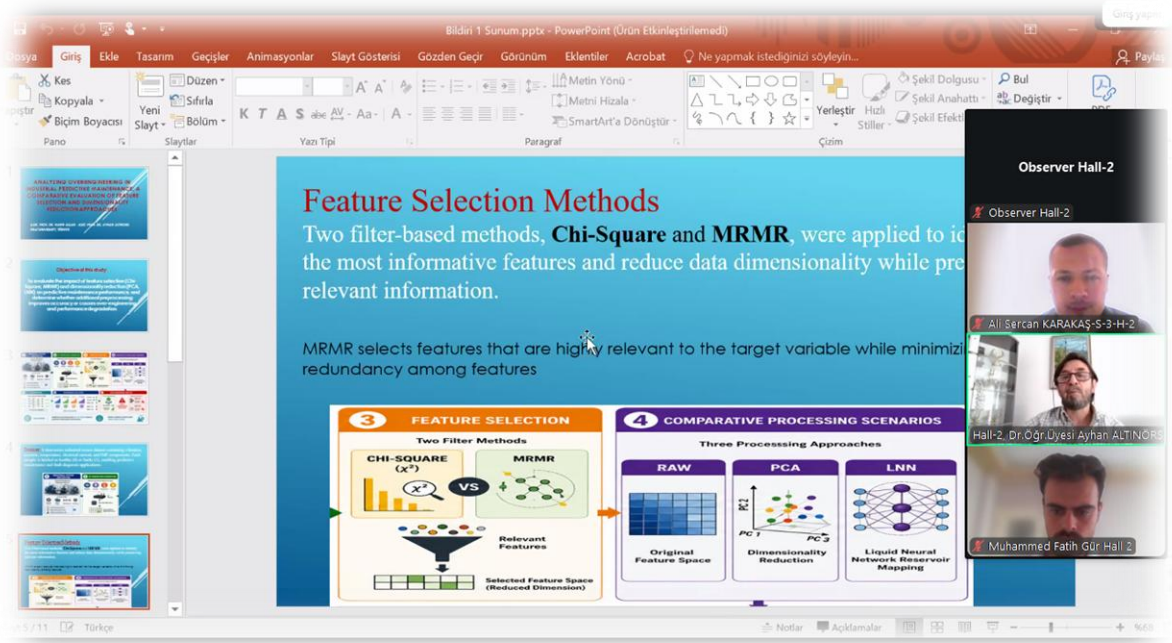
Current treatments cannot fully prevent disease progression.

Therefore, research focuses on factors that increase brain resilience.





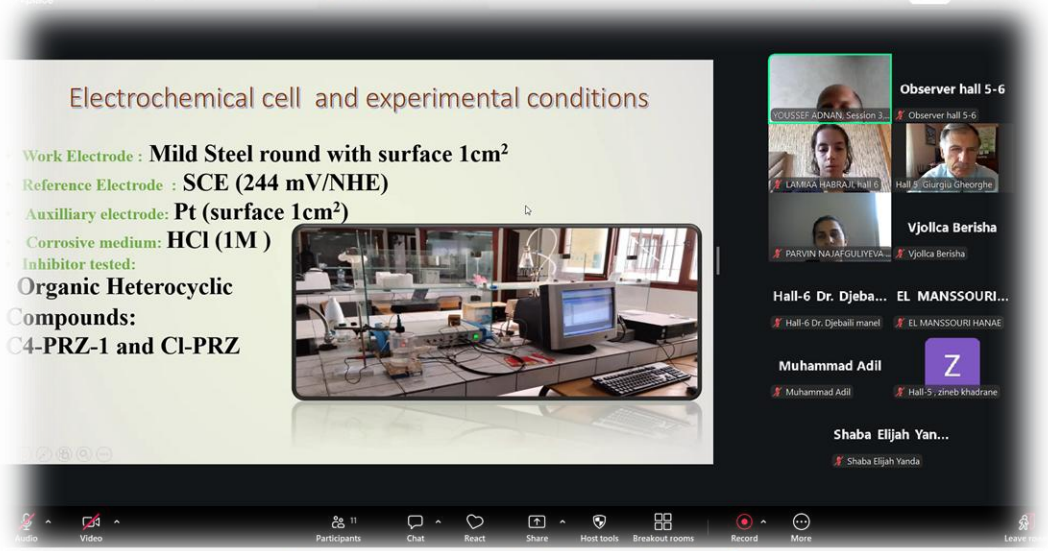


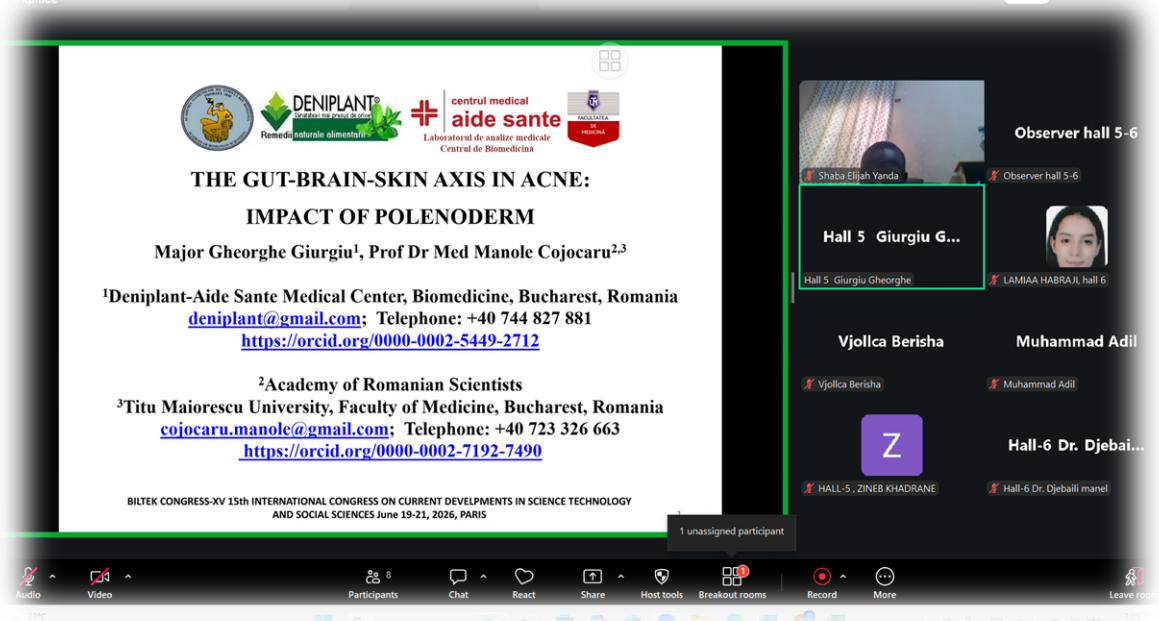

Bildiri 1 Sunum.pptx - PowerPoint (Ürün Etkinleştirilemedi)
Feature Selection Methods
Two filter-based methods, Chi-Square and MRMR, were applied to id
the most informative features and reduce data dimensionality while pre
relevant information.
MRMR selects features that are highly relevant to the target variable while minimizi
redundancy among features
3 FEATURE SELECTION
Two Filter Methods
CHI-SQUARE
MRMR
VS
Relevant Features
Selected Feature Space (Reduced Dimension)
4 COMPARATIVE PROCESSING SCENARIOS
Three Processing Approaches
RAW
PCA
LNN
Original Feature Space
Dimensionality Reduction
Liquid Neural Network Reservoir Mapping
Observer Hall-2
Observer Hall-2
Ali Sercan KARAKAŞ-S-3-H-2
Hall-2_Dr.Öğr.Üyesi Ayhan ALTINOR
Muhammed Fatih Gür Hall 2


Surface Engineerin of waste drives hydroxyapatite via Zno doping for high performance anionic dye removal
Lamiaa Habraji
PhD student in Chemistry and Materials Science
Mohammed V University, Morocco
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES
June 19-21, 2026 / Paris
Observer hall 5-6
Hall 5_Giurgiu Gheorghe
Observer hall 5-6
YOUSSEF ADNAN
LAMIAA HABRAJI hall 6
Vjollca Berisha
Hall-6 Dr. Djebai...
Vjollca Berisha
Hall-6 Dr. Djebaili manel
EL MANSSOURI...
EL MANSSOURI HANAE
Audio
Video
Participants
Chat
React
Share
Host tools
Breakout rooms
Record
More


Observer hall-1
ANTENATAL DÖNEMDE VERİLEN BİYOLOJİK EMZİRME EĞİTİMİNİN EMZİRME BAŞARISI VE ANNE BEBEK BAĞLANMASI ÜZERİNE ETKİSİ
TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023/2 ile desteklenmektedir.
Ebe Selin ÖZDEMİR
Ebe Ayşenur AĞÖREN

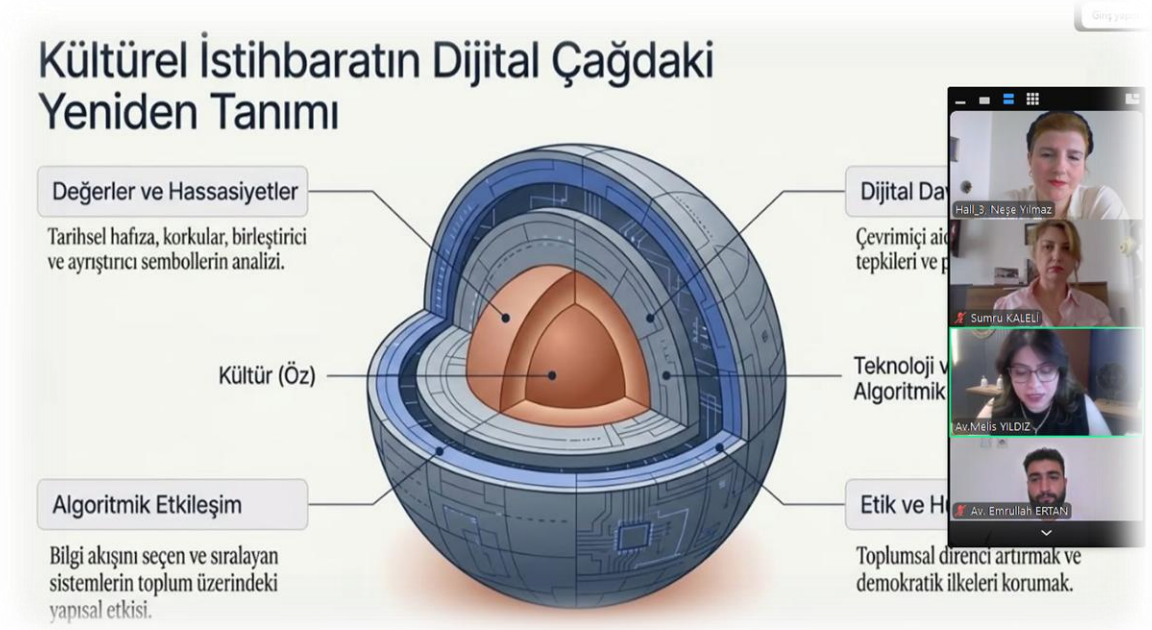

Observer hall-1
Ahmet Celik
BESİN İNTOLERANSI YÖNETİMİ VE FARKINDALIĞI İÇİN
BİLGİLENDİRİCİ MOBİL SAĞLIK UYGULAMASI TASARIMI
VE KULLANICI DENEYİMLERİNİN İNCELENMESİ
Design of an Informational Mobile Health Application for the Management and Awareness of Food Intolerance and the Examination of User Experiences
Dr. Öğr. Üyesi Aliye SARAÇ, Gözde BÜYÜKYILMAZ, Eda İpek SANLI
İstanbul Topkapı üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
aliyesarac@topkapi.edu.tr, gozde.byz@gmail.com, eipeksanli@gmail.com
BİLTEK XV. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar
ve Güncel Gelişmeler Kongresi
Mobil Öğrenme / Mobile Learning
Sağlık Bilişimi / Health Informatics
Nitel Araştırma / Qualitative Research
Besin İntoleransı / Food Intolerance


Electrochemical cell and experimental conditions
Work Electrode : Mild Steel round with surface 1cm²
Reference Electrode : SCE (244 mV/NHE)
Auxilliary electrode: Pt (surface 1cm²)
Corrosive medium: HCl (1M)
Inhibitor tested:
Organic Heterocyclic
Compounds:
C4-PRZ-1 and Cl-PRZ
Observer hall 5-6
Vjollca Berisha
Hall-6 Dr. Djeba...
EL MANSSOURI...
Muhammad Adil
Shaba Elijah Yan...
Audio
Video
Participants
Chat
React
Share
Host tools
Breakout rooms
Record
More


DENIPLANT
centrul medical
aide sante
Laboratorul de analize medicale
Centrul de Biomedicina
THE GUT-BRAIN-SKIN AXIS IN ACNE:
IMPACT OF POLENODERM
Major Gheorghe Giurgiu[1], Prof Dr Med Manole Cojocaru[2,3]
[1]Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania
deniplant@gmail.com; Telephone: +40 744 827 881
https://orcid.org/0000-0002-5449-2712
[2]Academy of Romanian Scientists
[3]Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania
cojocaru.manole@gmail.com; Telephone: +40 723 326 663
https://orcid.org/0000-0002-7192-7490
BILTEK CONGRESS-XV 15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELPMENTS IN SCIENCE TECHNOLOGY
AND SOCIAL SCIENCES June 19-21, 2026, PARIS
Observer hall 5-6
Hall 5 Giurgiu G...
LAMIAA HABRAJI, hall 6
Vjollca Berisha
Muhammad Adil
HALL-5 , ZINEB KHADRANE
Hall-6 Dr. Djebai...
1 unassigned participant
Audio
Video
Participants
Chat
React
Share
Host tools
Breakout rooms
Record
More


University of Tabriz
Methodological Approaches to Measuring Energy Efficiency: A Focus on Data Envelopment Analysis
Presented by: Pegah Ghorbanpour
Co-author: Mohammad Mahdi Barghi Osqouei
Observer hall 5
Nentas Dimitris
Observer hall 5
Hall 5- Anisa Ka...
Hall-5, Azar Amirov
Hall 5- Anisa Kadria
Edisela Mena
Pegah Ghorbanpour, Hall-5
Edisela Mena
Audio
Video
Participants
Chat
React
Share
Host tools
Breakout rooms
Record
More


Observer hall-1
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
CERRAHPAŞA
BİLTEK-XV
15. ULUSLARARASI BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE GÜNCEL GELİŞMELER KONGRESİ
19-21 Haziran 2026, Paris
LITERATURE REVIEW ON THE USE OF E-HEALTH AND M-HEALTH ON MULTIPLE SCLEROSIS
Ceyda SAKALLI, PT
İstanbul University - Cerrahpaşa, Institute of Graduate Studies, M.Sc. in Neurological Physiotherapy and Rehabilitation
Prof. Dr. Ela TARAKCI
İstanbul University - Cerrahpaşa, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation
ceyda.sakalli@ogr.iuc.edu.tr
19-21 Haziran 2026
Paris, France


Kültürel İstihbaratın Dijital Çağdaki Yeniden Tanımı
Değerler ve Hassasiyetler
Tarihsel hafıza, korkular, birleştirici ve ayrıştırıcı sembollerin analizi.
Kültür (Öz)
Algoritmik Etkileşim
Bilgi akışını seçen ve sıralayan sistemlerin toplum üzerindeki yapısal etkisi.
Dijital Da
Çevrimiçi aid
tepkileri ve p
Teknoloji v
Algoritmik
Etik ve H
Toplumsal direnci artırmak ve demokratik ilkeleri korumak.
Hall_3_Neşe Yılmaz
Sumru KALELİ
Av.Melis YILDIZ
Av. Emrullah ERTAN

Contents

Res. Assist. Şeyma Nur HEPOKUR YILDIRIM Res. Assist. Sümeyra YILMAZ Prof. Dr. Yeter KİTİŞ	*THE USE OF CREATIVE DRAMA IN NURSING EDUCATION*	*1*
Gülistan ARAS Assoc. Prof. Dr. Nergiz KARADAŞ TOKTAŞ	*THE REPRESENTATION OF EVIL IN ANIMATION CINEMA: A KANTIAN ETHICAL PERSPECTIVE*	*3*
Bahar GUVEN Assoc. Prof. Dr. Asli ERCIYES TOSUN	*THE ROLE OF THE ARA GULER MUSEUM IN THE HISTORY OF MUSEOLOGY IN TURKEY*	*16*
Asst. Prof. Dr. Baharak TABIBI	*ACCULTURATION OF A NATION: THE ROLE OF ARTISTIC FESTIVALS IN THE CULTURAL REVOLUTION DURING THE PAHLAVI ERA*	*31*
Orhun ONAR Prof. Dr. Yavuz SENOL Asst. Prof. Lutfiye Ozlem AKKAN	*GPS-FREE VISION-BASED AUTONOMOUS VEHICLE NAVIGATION IN CARLA SIMULATOR*	*33*
Dr. Kubra ARSLANOGLU Assoc. Prof. Dr. Feyza ALTUNBEY OZBAY Huseyin BAKTIR Yusuf KIZILKAN	*UAV-ASSISTED THERMAL IMAGING AND MULTI-CLASS THERMAL ANOMALY DETECTION WITH DEEP LEARNING IN PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS: COMPARATIVE ANALYSIS OF YOLOv8x, YOLO11x AND RT-DETR MODELS*	*45*
Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih KARAKAS Lect. Dr. Betul KARAKAS	*COMPARATIVE EVALUATION OF MODERN YOLO ARCHITECTURES FOR AUTOMATED PERIAPICAL LESION DETECTION: UNVEILING THE DATA AUGMENTATION PARADOX*	*47*
Lecturer Melek ILHAN Assoc. Prof. Dr. Sezer KOSE BIBER	*THE EFFECT OF CREATIVE DRAMA-BASED ROBOTIC CODING ON VALUE DEVELOPMENT AND COMPUTATIONAL THINKING IN GIFTED STUDENTS*	*50*
Res. Assist. Dr. İbrahim ÜLKE	*EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SCANNING STRATEGY AND INFILL RATIO ON PART WEIGHT IN FDM MANUFACTURING*	*52*
Ahmed Wael Hanafy Mahmoud Hassan AFIFI Asst. Prof. Yunus YALMAN	*DESIGN AND SIMULATION OF SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION METHOD FOR MULTILEVEL INVERTERS*	*60*
Hakan KESKIN Prof. Dr. Fatih SELIMEFENDIGIL	*NUMERICAL INVESTIGATION OF PIPE PERFORATION PARAMETERS ON THE ACOUSTIC BEHAVIOR OF A REACTIVE MUFFLER*	*73*
Asst. Prof. Dr. Muhammed Mehdi AKSOY	*ISLAMIC INHERITANCE MATHEMATICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE*	*90*
Asst. Prof. Senol SAHIN Didem OLGUN Res. Asst. Ferhat AKPINAR Aycanur GUNDOGDU Aysegul Bodur YILMAZ	*THE APPLICATION OF THE NORTON-BAILEY CREEP MODEL AND ANSYS TN MODEL IN PREDICTING THE CREEP BEHAVIOR OF INJECTION-MOLDED HIGH-DENSITY POLYETHYLENE MATERIAL*	*112*
Asst. Prof. Senol SAHIN Aycanur GUNDOGDU Res. Asst. Ferhat AKPINAR Didem OLGUN	*EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STRAIN RATE ON THE TENSILE YIELD BEHAVIOR OF POLYETHYLENE*	*114*

Aysegul Bodur YILMAZ	*SPECIMENS AND NUMERICAL ANALYSIS USING THE PERZYNA MODEL*	
Dr. Mesut NAMLI *Assoc. Prof. Dr. Gunay KAYA KANTAR*	*INVESTIGATION OF THE CATALYTIC PERFORMANCES OF THIO- AND OXO-BRIDGED METHOXY-SUBSTITUTED ZINC AZAPHTHALOCYANINES COMPOUND IN HYDROGEN PRODUCTION VIA NaBH4 METHANOLYSIS*	*116*
Dr. Cihat GÜNER *Yusuf ÇAKMAKÇI* *Dr. Hakan BAŞDOĞAN*	*EFFECT OF FLOUR WATER ABSORPTION CAPACITY ON NOODLE TEXTURE AND COOKING PERFORMANCE*	*126*
Assoc. Prof. Dr. Seniz OZIS ALTINCEKIC *Res. Assist. Ezgi SENSES* *Assoc. Prof. Dr. Arda CELIK*	*ROLE OF GUT MICROBIOTA IN DEVELOPMENT AND SILK PRODUCTION IN THE SILKWORM (BOMBYX MORI L.)*	*128*
Mohammed Abdulqader Thabet MUQBEL *Asst. Prof. Dr. Ahmet Ziyaeddin BULUM*	*A ROBUST MULTI-CRITERIA FRAMEWORK FOR ASSESSING SOLAR ENERGY INVESTMENT ATTRACTIVENESS IN G20 COUNTRIES*	*137*
Prof. Dr. Tayfun BÜKE *Okkes Yasar DURSUN*	*AN EXAMINATION OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF RENEWABLE ENERGY COOPERATIVES IN EUROPE*	*139*
Asst. Prof. Dr. Saffet KILICER	*SEMI-QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE PROGRESSIVE COLLAPSE POTENTIAL OF BUILDINGS IN BORDER SETTLEMENTS FOLLOWING LOCAL DAMAGE*	*161*
Melis YILDIZ	*SOCIAL MEDIA OPERATIONS FROM THE PERSPECTIVE OF CULTURAL INTELLIGENCE: DISINFORMATION, LAW, AND STATE SECURITY*	*174*
Assoc. Prof. Dr. Hasan Selcuk ETI	*A THEORETICAL REVIEW ON THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA MARKETING ON THE PURCHASING DECISION PROCESS*	*176*
Assoc. Prof. Dr. Hasan Selcuk ETI *Guvenc KURUL*	*ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT (CRM) AND CUSTOMER EXPERIENCE TRANSFORMATION*	*184*
Asst. Prof. Dr. Sumru KALELI	*VOTER OR CONSUMER? AN EVALUATION OF VOTING BEHAVIOR FROM A POLITICAL MARKETING PERSPECTIVE*	*196*
Prof. Dr. Hüseyin KÖSE	*PARASOCIAL EXPERIENCE OR THE CONSTRUCTION OF PATHOLOGICAL SUBJECTIVITY*	*198*
Emre Dağhan TOKGÖZ	*A COMPARATIVE ANALYSIS OF CRYPTOCURRENCY AND HAWALA: COULD CRYPTOCURRENCY BECOME A NEW "HAWALA" SYSTEM FOR TERRORIST ORGANIZATIONS?*	*206*
Av. Emrullah ERTAN	*THE BINDING NATURE OF CONSTITUTIONAL COURT DECISIONS AND THE VALUE OF THE REASONING*	*208*
Sena OZDEMIR	*MEASURING FINANCIAL EFFICIENCY IN THE TURKISH AUTOMOTIVE SECTOR USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: 2020-2025 PERIOD*	*215*

Assoc. Prof. Dr. Erdoğan Bozkurt *Gulraiz SHOUKAT*	*A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA POLICIES IN ISTANBUL'S PUBLIC, PRIVATE, AND INTERNATIONAL SCHOOLS*	
Faruku Muhammad ALIERO *Muhammad GARBA*	*PROTECTING WEB APPLICATIONS AGAINST SQL INJECTION ATTACK*	*234*
Moses Adeolu AGOI *Oluwadamilola Peace AGOI* *Mubarak Abiodun OLALERE* *Samuel Olayiwola AJAGA*	*CYBERSECURITY THREAT INTELLIGENCE IN AI-POWERED HEALTHCARE SYSTEMS: SAFEGUARDING MEDICAL INFRASTRUCTURE AGAINST EMERGING ATTACKS*	*235*
Mohamed BAKIR *My Abdelkader YOUSSEFI* *Rachid DAKIR* *Mouna EL WAFI* *Younes El KOUDIA*	*INTELLIGENT AND SAFE LANE CHANGING FOR AUTONOMOUS HIGHWAY DRIVING USING PREDICTIVE SENSOR FUSION AND TRAJECTORY PLANNING*	*246*
Assoc. Prof. Dr. Derra MOURAD	*ROBUST ULTRASONIC TRANSMISSION FOR ACCURATE SOC AND SOH ASSESSMENT IN REAL-WORLD LITHIUM BATTERIES*	*247*
Assoc. Prof. Dr. Derra MOURAD	*ADVANCING WELD INTEGRITY EVALUATION WITH TIME-OF-FLIGHT DIFFRACTION ULTRASONICS IN HIGH-STRESS ENVIRONMENTS*	*248*
Dr. Sumana KUMARI	*THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF WIRELESS ANTENNA AS SENSORS FOR REMOTE RESPIRATORY MONITORING*	*249*
S. M. Rejbanul ISLAM *Jannatul FERDOUSI*	*ASSESSING THE BIOLOGICAL EFFICIENCY, VITAMIN PROFILE, AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF SUMMER MUSHROOM SPECIES*	*252*
Academician Prof. Dr. Ivan PAVLOVIC *Prof. Dr. Jovan BOJKOVSKI* *Prof. Dr. Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA*	*IMPORTANCE OF PERMANENT CONTROL OF PASTURES FOR PREVENTION OF HELMINTH PARASITES OF RUMINANTS*	*254*
Ibtisam HAMEED	*IMMUNOMODULATORY EFFECTS OF CADMIUM-INDUCED OXIDATIVE STRESS IN BROILERS AND ITS AMELIORATION WITH ACTIVATED CHARCOAL*	*255*
Nneoma Lydia DORBOR	*WASTEWATER-BASED SURVEILLANCE OF INTESTINAL PARASITES AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN LOKOJA METROPOLIS: A REVIEW AND RESEARCH GAP ANALYSIS*	*256*
Shahzaib KHAN *Prof. Dr. Muhammad USMAN*	*MODIFIED DYSPROSIUM MOLYBDATE NANOMATERIAL FOR HIGH-PERFORMANCE SUPERCAPACITOR*	*257*
Dimitrije RADJENOVIC	*A COVECTOR APPROACH TO FREE-SURFACE FLUID SIMULATION VIA LIE ADVECTION*	*258*
Sema CIKIN *Asst. Prof. Dr. Muge Gulcihan ONAL* *Merve BASAR* *Filiz Beyza EKINCI* *Seyma Nur POLAT*	*CRISPR/CAS9-BASED KRAS GENE EDITING APPROACHES IN A549 LUNG ADENOCARCINOMA CELLS*	*259*

Res. Assist. Dr. Armagan AKKUS *Asst. Prof. Dr. Fatma Zehra Hapil ZEVKLILER*		
Sarah ANJAM *Prof. Dr. Mehmet OZTURK*	*INVESTIGATION OF PROBIOTIC POTENTIAL OF HUMAN-DERIVED LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM SK-6 STRAIN*	*268*
Ayse CINPOLAT *Prof. Dr. Gokhan DOGRUER* *Asst. Prof. Dr. Gokhan UYANIK*	*RE-SYNCHRONIZATION IN GOATS*	*269*
Prof. Dr. Ahmet ÇELİK	*TREE-SOIL-PLANT INTERACTIONS AND NUTRIENT DYNAMICS IN SILVOPASTORAL SYSTEMS: CONTEMPORARY APPROACHES AND EVALUATION FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT*	*271*
Abd Elghafour ATMANI *Assoc. Prof. Dr. Redvan GHASEMLOUNIA*	*THE IMPACT OF SITE LAYOUT PLANNING (SLP) AND SAFETY BY DESIGN (SBD) ON WORKER SAFETY IN CONSTRUCTION PROJECTS: A MIXED-METHODS PROTOCOL AND STATISTICAL ANALYSIS PLAN*	*279*
Murat Ayberk BARAN *Prof. Dr. Behçet BECERİR*	*ENHANCING THE DYEING PERFORMANCE AND COLOR PROPERTIES OF WOOL FABRICS USING METALLIC AND BIO-MORDANTS WITH ACID DYES*	*282*
Nuriye AK *Prof. Dr. Deniz DEMIRARSLAN*	*REDEFINITION OF SPATIAL DESIGN CRITERIA: HISTORICAL BACKGROUND AND CONTEMPORARY TRENDS*	*287*
Guzin KUTLUHAN *Prof. Dr. Zeynep Yesim ILERISOY*	*ARCHITECTURAL DETAIL DESIGN IN SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS: AN EVALUATION OF SEISMIC GAP CLOSURE SYSTEMS*	*309*
Omercan DOGANAY *Prof. Dr. Zeynep Yesim ILERISOY*	*EARTHQUAKE RISKS ASSOCIATED WITH NON-STRUCTURAL ELEMENTS IN SCHOOL BUILDINGS AND INTERIOR DESIGN SOLUTIONS*	*319*
Aslinur AYRIC *Dr. Ayse Gul GEMCI*	*RETHINKING PUBLIC SEATING IN HIGH-DENSITY URBAN SQUARES: DESIGN PROPOSALS FROM EMINONU, ISTANBUL*	*330*
Prof. Dr. Guler DEMIR	*THE ROLE OF LIBRARIES IN THE DIGITAL SOCIALIZATION PROCESS: A MULTIDIMENSIONAL THEORETICAL ANALYSIS*	*332*
Asst. Prof. Dr. Esra SOLENTAS	*LEXICOLOGICAL APPROACHES IN TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE*	*348*
Assoc. Prof. Dr. Aydın KARABULUT	*WILL AS A WAY OF BEING ONESELF IN THE DIGITAL WORLD*	*357*
Asst Prof. Muhammad FAISAL	*COGNITIVE AUTONOMY IN THE AGE OF AGENTIC AI PROTECTING HUMAN AGENCY IN AUTOMATED WORKFLOWS*	*358*
Asst. Prof. Muhammad FAISAL	*AUGMENTED REALITY (AR) FOR "VISUAL PROJECT WAR-ROOMS" MANAGING COMPLEX FINTECH INTEGRATION PROJECTS*	*359*

Asst. Prof. Dr. Ferhat ATIK	*TOPOLOGY OF INVISIBLE POWER: DISPLACEMENT AND DISTRIBUTION OF CONTROL IN ALGORITHMIC MANAGEMENT*	*360*
Asst. Prof. Dr. Ferhat ATIK	*EPISTEMOLOGY OF CONTINUOUS STORY FORMS AND FRAGMENTAL MEANING PRODUCTION*	*361*
Kreshnik VUKATANA *Anxhela FERHATAJ*	*HUMAN-CENTRED SMART CITIES IN THE AGE OF AI: TRUST, PRIVACY, SECURITY CONCERNS AND CITIZEN READINESS*	*362*
Manotar TAMPUBOLON	*ALGORITHMIC BEHAVIOURAL RECONFIGURATION AND POLITICAL BEHAVIOUR IN THE AGE OF MULTIMODAL AI: A COMPARATIVE ANALYSIS OF INDONESIA AND THE EUROPEAN UNION*	*375*
Dr. Priya CHOUDHARY *Dr. Richa GUPTA*	*DIGITAL CALM: A SYSTEMATIC REVIEW OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED MINDFULNESS APPLICATIONS FOR PSYCHOLOGICAL WELL-BEING*	*376*
Asst. Prof. Jayadurga Lakshmi J *Asst. Prof. Shyamala Devi D* *Asst. Prof. Ashley Monica M* *Asst. Prof. Saranya M*	*A HYBRID MOBILE EDGE-CLOUD FRAMEWORK FOR REAL-TIME BIG DATA ANALYTICS IN IOT*	*377*
Alona CHUBARYKOVA *Dr. Olga PODPALOVA*	*THE PROTECTIVE EFFECT OF BILINGUALISM ON NEURODEGENERATIVE DISEASE ONSET AS EVIDENCE FOR COGNITIVE RESERVE*	*378*
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI	*A SOCIO-PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF SECTARIANIZATION: A STUDY ON JA'FARISM*	*379*
Abdul-Rahman Balogun *Muhammed-Shittu*	*FINANCIAL SUPPORT AS A PREDICTOR OF ACADEMIC PROCRASTINATION: A STUDY OF SELECTED UNIVERSITIES*	*380*
Dr. Sarki Mathew Alheri ANGELA *Abdulkabir GARBA*	*INCLUSIVE EDUCATION AND GIRL-CHILD EDUCATION IN NIGER STATE, NIGERIA: BARRIERS TO EFFECTIVE IMPLEMENTATION AND POLICY IMPLICATIONS*	*381*
Musa ISAH *Ibrahim BABASANI* *Isah BABA* *Mohammed Mohammed NDAGI*	*EFFECT OF JOB SATISFACTION ON EMPLOYEE PERFORMANCE IN NIGERIA CIVIL AVIATION AUTHORITY (NCAA)*	*382*
Patrick Ochege ALEJE	*THE INFLUENCE OF JOB SATISFACTION AND ORGANIZATIONAL COMMITMENT ON ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR AMONG UNIVERSITY OF IBADAN DISTANCE LEARNING STAFF*	*396*
Anju UNNY	*THE INTERSECTIONALITY OF GENDER AND DISABILITY: THE MARGINALIZATION OF WOMEN WITH DISABILITY*	*397*
Dr. Khatira GOJAYEVA	*CREATING AN INTEGRATIVE ENVIRONMENT IN MODERN MUSIC LESSONS*	*398*
Assoc. Prof. Dr. Maralkhanim ALIYEVA	*THE ROLE OF THE CONDUCTOR AS THE RULER OF CHORAL PERFORMANCE*	*399*

Azar AMIROV	*MEASURING THE INVISIBLE: HARMONIZING DATA-INTENSIVE CAPITAL IN NATIONAL ACCOUNTS*	*400*
Dr. Chukwuemeka Godson EME	*GLOBALIZATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT AND ITS EFFECTS ON THE TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY IN NIGERIA: AN EMPIRICAL INSIGHT OF AIRTEL NIGERIA*	*407*
Dr. Chukwuemeka Godson EME	*A CRITICAL EXAMINATION OF THE RIGHT TO STRIKE IN NIGERIA: A REVIEW OF SOME SELECTED JURISDICTIONS*	*420*
Anisa KADRIA	*DYNAMICS OF TOURISM REVENUE AND LABOR MARKET OUTCOMES: A VARIANCE DECOMPOSITION APPROACH*	*437*
Edisela MENA *Prof. Dr. Etleva MUCA (DASHI)*	*DETERMINANTS OF TERRITORIAL INNOVATION IN RURAL AREAS: THE ROLE OF INNOVATION PROMOTERS IN ALBANIA*	*438*
Dimitrios NENTAS *Fotini KOULIERAKI* *Areti-Maria KALYVIOTI* *Klimis NTALIANIS*	*DEVELOPMENT AND DESCRIPTION OF A FOR-PROFIT DIGITAL PLATFORM FOR FOOD WASTE MANAGEMENT AND MITIGATION IN GREECE*	*450*
Oana CHINDRIS-VASIOIU	*GLOBAL STEEL DEMAND IN 2026-2027 – ECONOMIC APPROACHES*	*463*
Pegah GHORBANPOUR *Prof. Dr. Mohammad Mahdi Barghi OSQOUEI*	*METHODOLOGICAL APPROACHES TO MEASURING ENERGY EFFICIENCY: A FOCUS ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*	*471*
Dr. Ebru BARDAŞ ÖZKAN	*GAMMA-FREQUENCY BINAURAL BEATS ENHANCE MIRROR NEURON SYSTEM ACTIVATION DURING ACTION OBSERVATION: A RANDOMIZED CROSSOVER EEG STUDY*	*483*
Dr. Ebru BARDAŞ ÖZKAN	*MONITORING BRAIN METABOLISM WITH MR SPECTROSCOPY: LACTATE, GABA AND GLUTAMATE*	*509*
Asst. Prof. Dr. Aliye SARAC *Gozde BUYUKYILMAZ* *Eda Ipek SANLI*	*DESIGN OF AN INFORMATIONAL MOBILE HEALTH APPLICATION FOR THE MANAGEMENT AND AWARENESS OF FOOD INTOLERANCE AND THE EXAMINATION OF USER EXPERIENCES*	*528*
Ceyda SAKALLI *Prof. Dr. Ela TARAKCI*	*LITERATURE REVIEW ON THE USE OF E-HEALTH AND M-HEALTH IN MULTIPLE SCLEROSIS*	*539*
Assoc. Prof. Dr. Sultan Mehtap BUYUKER *Prof. Dr. Ismail SEVINC*	*INSTITUTIONAL MANAGEMENT IN THE FIGHT AGAINST SUBSTANCE ADDICTION IN HEALTH SYSTEMS*	*547*
Ikra Nihal UNAL *Asst. Prof. Dr. Beyza MENDES*	*ERGOGENIC SUPPORTS FOR ATHLETES*	*549*
Selin OZDEMIR *Aysenur OGOREN*	*THE EFFECT OF BIOLOGICAL BREASTFEEDING EDUCATION GIVEN DURING THE ANTENATAL PERIOD ON BREASTFEEDING SUCCESS AND MOTHER-INFANT BONDING*	*567*
Ibrahim GUNEY	*ANALYSIS OF SUSTAINABILITY REPORTS WITH LARGE LANGUAGE MODELS AND AI AGENT APPROACH: ESG DATA EXTRACTION,*	*569*

	GRI/TCFD COMPLIANCE AND GREENWASHING RISK SCORING	
Asst. Prof. Dr. Narin ASLAN *Asst. Prof. Dr. Ayhan ALTINORS*	*COMPARATIVE ANALYSIS OF FEATURE ENGINEERING APPROACHES IN IOT INTEGRATED PREDICTIVE MAINTENANCE WITH LIQUID NEURAL NETWORKS*	*582*
Asst. Prof. Dr. Narin ASLAN *Asst. Prof. Dr. Ayhan ALTINORS*	*ANALYZING OVER-ENGINEERING IN INDUSTRIAL PREDICTIVE MAINTENANCE: A COMPARATIVE EVALUATION OF FEATURE SELECTION AND DIMENSIONALITY REDUCTION APPROACHES*	*601*
Ecenur BOYACI *Prof. Dr. Hakan KUTUCU*	*A LORAS-BASED HYBRID FRAMEWORK WITH TEMPORAL FEATURE FUSION FOR ELECTRICITY THEFT DETECTION IN SMART GRIDS*	*613*
Muhammed Fatih GUR *Prof. Dr. Hakan KUTUCU*	*COMPARING CLASSICAL REGRESSION, DENSITY-MAP CNNS AND TRANSFER-LEARNING ENSEMBLES FOR INDOOR CROWD COUNTING*	*625*
Berna KIRAN BULGURCU *Sumaya ALTORK*	*QUANTITATIVE APPROACH IN DECISION-MAKING: THE CILOS METHOD*	*627*
Prof. Dr. Ramazan KATIRCI *Kubra CELIK DURAN* *Zeliha Elif CUBUK*	*BIT-PHASE FLIP QUANTUM ERROR CORRECTION AND ANALYSIS*	*629*
Ravana GULIYEVA *Nigar ALIYEVA* *Xeyale ABDUNOVA* *Aydan RASHIDOVA* *Aygun BABAYEVA*	*PEDAGOGICAL INNOVATION IN THE DIGITAL AGE: REDEFINING THE ART AND SCIENCE OF TEACHING*	*635*
Ravana GULIYEVA *Humira HUSEYNOVA* *Nigar ALIYEVA* *Fidan MAMMADOVA*	*CHEMICAL BIOLOGY AT THE CROSSROADS: NEW FRONTIERS IN MOLECULAR DIAGNOSTICS AND THERAPEUTIC DESIGN*	*636*
Bui Thi NAM	*EXPLOITING FOLK PAINTING MATERIALS TO DEVELOP MULTIMEDIA DESIGN COMPETENCE FOR STUDENTS AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF ART EDUCATION*	*637*
Bui Thi NAM	*EXPLOITING DONG HO FOLK PAINTINGS TO DEVELOP DESIGN AND TEACHING-ORGANIZATION COMPETENCE FOR ART EDUCATION STUDENTS THROUGH DIGITAL PROJECT-BASED LEARNING*	*638*
Chi Nguyen NGUYEN *Tuyet Minh QUACH* *Anh Kiet NGUYEN* *Minh Man LE* *Thi Viet Thuan NGUYEN*	*DEVELOPING SELF-STUDY COMPETENCE IN TEACHING INFORMATIONAL TEXT WRITING FOR 10TH-GRADE STUDENTS USING THE FLIPPED CLASSROOM MODEL*	*646*
Ghina EL ZEIN	*BRIDGING THE PEDAGOGICAL GAP: AN AI-BASED SUBJECT IMPROVEMENT PLAN (AI-SIP) FOR REMEDIATION OF GENETICS MISCONCEPTIONS IN BEIRUT PUBLIC SCHOOLS*	*660*
Dr. Soufiane ZIANI *Soufiane BEN MBAREK*	*ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A PEDAGOGICAL SIMULATION TOOL FOR*	*661*

	MAJOR RISK EDUCATION: TOWARD A NEW APPROACH TO PREVENTIVE EDUCATION IN LIFE AND EARTH SCIENCES (SVT)	
Hau Phuong Ngan NGUYEN *Tuyet Minh QUACH* *Chi Nguyen NGUYEN* *Thanh Luan NGUYEN*	*THE ART OF CHARACTER CONSTRUCTION THROUGH PHYSICAL DESCRIPTION IN LU XUN'S SHORT STORIES*	*662*
Nissrine HARIBOU *Prof. Dr. Kawtar NFISSI*	*LEGAL CONTROL OF ENVIRONMENTAL HARM IN MOROCCO: EFFECTIVENESS AND LIMITATIONS*	*671*
Asst. Prof. Dr. Kastriote VLAHNA *Prof. Dr. Hajredin KUCI*	*DIGITALIZATION OF INHERITANCE LAW: LEGAL CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE PROTECTION OF PROPERTY RIGHTS*	*672*
Muratcan ISILDAK	*THE INFLUENCE OF OTTOMAN, SOCIALIST, AND EUROPEAN UNION LEGAL TRADITIONS ON CONTEMPORARY LEGAL SYSTEMS IN BALKAN COUNTRIES*	*673*
Dafina VLAHNA	*CRYPTOCURRENCY REGULATION AND FINANCIAL STABILITY: CHALLENGES FOR WESTERN BALKAN COUNTRIES*	*690*
Asst. Prof. Dr. Sareh LARIJANI *Hajar EHSANI*	*GENDER POLICIES OF THE ISLAMIC REPUBLIC OF AFGHANISTAN IN IMPLEMENTING UNITED NATIONS SECURITY COUNCIL RESOLUTION 1325: THE ROLE OF THE MINISTRY OF WOMEN'S AFFAIRS*	*691*
O. V. ADEYEMO	*MONITORING OF STRUCTURAL DEFORMATION USING TOTAL STATION AND GPS TECHNOLOGY: A CASE STUDY OF ENTREPRENEURSHIP BUILDING FEDERAL POLYTECHNIC ILARO*	*693*
P. H. NAJAFGULIYEVA	*ADVANCES AND CLINICAL PERSPECTIVES IN BARIATRIC AND METABOLIC SURGERY*	*694*
Major Gheorghe GIURGIU *Prof. Dr. Manole COJOCARU*	*THE GUT-BRAIN-SKIN AXIS IN ACNE: IMPACT OF POLENODERM*	*695*
Muhammad ADIL	*ALOE VERA IN DIABETES MELLITUS: ADVANCES IN THERAPEUTIC APPLICATIONS AND MECHANISTIC INSIGHTS*	*696*
Dr. Viorica RARINCA *Malina VISTERNICU* *Catalina IONESCU* *Prof. Dr. Alin CIOBICA*	*SALIVARY IL-6 AND TNF-ALPHA LEVELS AS NON-INVASIVE BIOMARKERS FOR PERIODONTAL DISEASE DIAGNOSIS AND MONITORING*	*697*
Asst. Prof. Dr. Maria Fareed SIDDIQUI *Umar RAEES* *Aiman MAHMOOD*	*ROLE OF OXIDATIVE STRESS AND INFLAMMATORY BIOMARKERS IN DIABETIC KIDNEY DISEASE*	*698*
Ibrahim Sani DIKKO	*NUTRACEUTICALS AS EMERGING TOOLS FOR PRECISION MEDICINE: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES*	*699*
Zineb KHADRANE *A. BELMOUDDEN* *F. BAZI* *B. MOUNIR*	*BOX-BEHNKEN DESIGN-DRIVEN OPTIMIZATION OF AN HPLC METHOD FOR THE SIMULTANEOUS DETERMINATION OF A COX-2 INHIBITOR AND ITS STRUCTURALLY RELATED IMPURITIES*	*701*

Vjollca BERISHA *Sevdije GOVORI*	*SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND ANTIPROLIFERATIVE ACTIVITY OF IRON(III), COBALT(II), NICKEL(II), AND COPPER(II) COMPLEXES WITH A HETEROCYCLIC SCHIFF BASE LIGAND*	*702*
Soukaina EL BOURACHDI *Mahdi LECHHEBB* *Ali Raza AYUB* *Abdelhay EL AMRI* *José Alberto HERRERA-MELIÁN* *Amal LAHKIMI*	*GREEN SYNTHESIS INSPIRED BY THE CIRCULAR ECONOMY OF HIGH–SURFACE-AREA ZNO NANOPARTICLES USING ARGANIA SPINOSA CAKE EXTRACT*	*703*
Lamiaa HABRAJI *Souhayla LATIFI* *Douae TOUAREB* *Sarah SAOIABI* *Sanaa SAOIABI*	*SURFACE ENGINEERING OF WASTE-DERIVED HYDROXYAPATITE VIA ZNO DOPING FOR HIGH-PERFORMANCE ANIONIC DYE REMOVAL*	*705*
Youssef ADNAN *Hassan OUACHTAK* *Abdelaziz AIT ADDI*	*STUDY OF THE INHIBITION OF CORROSION OF MILD STEEL IN MOLAR HYDROCHLORIC ACID MEDIUM BY TWO NEW SYNTHESIZED PYRAZOLONE DERIVATIVES*	*707*
Elijah Yanda SHABA	*EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF SILICA (SIO2) NANOPARTICLES SYNTHESIZED FROM KAOLIN*	*708*
Mohammed NAJI	*ADVANCING SOLID-STATE HYDROGEN STORAGE: MECHANISMS AND INNOVATIONS IN METAL HYDRIDES*	*720*
Mariami MANAGADZE	*THE PROBLEM OF MICROPLASTICS IN ENVIRONMENTAL MEDICINE*	*721*
Dr. Ayesha BATOOL *Hafsa NAEEM* *Asst. Prof. Dr. Farkhanda ANJUM* *Zainab FATIMA* *Muneeb* *Dr. Shafiq-ur-Rehman ZIA*	*GLACIAL RETREAT, FRESHWATER AVAILABILITY, AND WATER INSECURITY IN MOUNTAIN-DEPENDENT COMMUNITIES: A CLIMATE CHANGE PERSPECTIVE*	*723*
Hanae EL MANSSOURI *A. AKOUIBAA* *S. MORDANE*	*CO@AU HYBRID NANOSTRUCTURES FOR NANOMEDICINE: MODELLING OF PHOTOTHERMAL DYNAMICS AND GEOMETRIC REGULATION OF HEAT*	*724*
Manel DJEBAILI	*ANALYTICAL MODELING OF A FRACTIONAL EVOLUTION SYSTEM*	*725*

HEMŞİRELİK EĞİTİMİNDE YARATICI DRAMANIN KULLANIMI

Arş. Gör. Şeyma Nur HEPOKUR YILDIRIM
Gazi Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8953-1016
Arş. Gör. Sümeyra YILMAZ
Gazi Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3042-3069
Prof. Dr. Yeter KİTİŞ
Gazi Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9246-8131

ÖZET

Geleneksel öğretim yöntemleri, hemşirelik öğrencilerinin teorik bilgilerini pratiğe dökmeleri için bazen yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, öğrencilerin çok boyutlu bakım süreçlerini deneyimleyerek öğrenmelerini sağlayan simülasyon ve drama gibi yenilikçi yöntemlere dayalı bir eğitim yaklaşımına ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, yaratıcı drama, öğrencilerin "yaparak ve deneyimleyerek" öğrenmelerini sağlayan, tüm duyulara hitap eden ve kalıcı davranış değişikliğini hedefleyen etkili bir öğretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Yaratıcı drama, öğrencilere gerçek bir klinik ortamın riskleri veya hata yapma korkusu olmadan, "sanki" senaryoları aracılığıyla güvenli bir ortamda zorlu durumları deneyimleme fırsatı sunar. Uygulama sürecinde, lider, grup, mekan ve konu bileşenlerinden oluşan drama, hazırlık-ısınma, canlandırma ve değerlendirme aşamalarını takip eder. Doğaçlama ve rol yapma teknikleri kullanılarak, öğrenciler sadece bir hemşirenin rolünü değil, aynı zamanda bir hastanın veya hasta yakınının rollerini de deneyimlemeye teşvik edilir. Literatür, bu yöntemin öğrencilere dört temel alanda katkıda bulunduğunu vurgulamaktadır: hasta deneyimini anlama (empati), mesleki kimlik gelişimi, iletişim becerilerinin geliştirilmesi ve eleştirel düşünme yeteneğinin kazanılması. Öğrenciler, olayları iki farklı bakış açısından görebilir ve hem gerçek hem de kurgusal dünyaları aynı anda akıllarında tutarak derinlemesine düşünebilirler. Sonuç olarak, yaratıcı drama, hemşirelik öğrencilerinin bilişsel ve duygusal becerilerini bütünleştiren ve onları meslek hayatına hazırlayan güçlü bir eğitim aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, bu inceleme, hemşirelik eğitiminde yaratıcı dramanın kullanımını incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: derleme, hemşirelik eğitimi, yaratıcı drama

THE USE OF CREATIVE DRAMA IN NURSING EDUCATION

ABSTRACT

Traditional teaching methods can sometimes be insufficient for nursing students to translate their theoretical knowledge into practice. Therefore, there is a need for an educational approach based on innovative methods, such as simulation and drama, that enable students to learn by experiencing multidimensional care processes. In this regard, creative drama stands out as an effective teaching method that enables students to learn "by doing and experiencing," appeals to all senses, and aims for lasting behavioral change. Creative drama offers students the opportunity to experience challenging situations in a safe environment through "as-if" scenarios, without the risks of a real clinical setting or the fear of making mistakes. In the application process, drama, consisting of leader, group, space, and subject components, follows the preparation-warm-up, enactment, and evaluation phases. Using improvisation and role-playing techniques, students are encouraged to experience not only the role of a nurse but also the roles of a patient or a patient's relative. The literature emphasizes that this method contributes to students in four key areas: understanding the patient experience (empathy), professional identity development, improved communication skills, and the acquisition of critical thinking ability.

Students can view events from two perspectives and reflect deeply by simultaneously holding both the real and the fictional worlds in mind. As a result, creative drama stands out as a powerful educational tool that integrates the cognitive and affective skills of nursing students, preparing them for professional life. Accordingly, this review aims to examine the use of creative drama in nursing education.

Keywords: creative drama, nursing education, review

ANİMASYON SİNEMASINDA KÖTÜLÜĞÜN TEMSİLİ: KANTÇI ETİK BİR PERSPEKTİF[1][2]

Gülistan ARAS

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Sanat ve Tasarım Bölümü,

Tuşba, Van, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-3882-4709

Assoc. Prof. Dr. Nergiz KARADAŞ TOKTAŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Radyo, Televizyon ve Sinema Bölümü

Tuşba, Van, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8910-8039

ÖZET

Sinema, toplumsal değerlerin, kültürel kodların ve ahlaki normların yeniden üretildiği güçlü bir temsil alanıdır; bu nedenle özellikle çocuklara yönelik içeriklerde pedagojik ve etik açıdan dikkatle ele alınmayı gerektiren bir konumdadır. Görsel ve işitsel anlatı olanaklarını aynı zeminde buluşturabilen sinema, çocuk izleyicinin dünyayı anlamlandırmasında, toplumsal normları kavramasında ve ahlaki kavramları yorumlama biçiminde belirleyici bir etkiye sahiptir. Çocuk filmlerinde sıklıkla karşılaşılan iyilik-kötülük karşıtlığı, basit bir dikotomi olmanın ötesinde, karakterlerin ahlaki seçimleri ve değer çatışmaları üzerinden daha karmaşık bir anlatı düzleminde inşa edilmektedir. Bu bağlamda, anlatı içerisinde kötülüğün nasıl temsil edildiği önemli bir tartışma alanı oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, çocuk filmlerinde kötülüğün temsil edilme biçimlerini Immanuel Kant'ın ahlak felsefesi çerçevesinde incelemektir. Kantçı etik ilkelerin çocuk sineması bağlamında ele alınan bu çalışmada; literatürde çocuk filmlerindeki kötülük temsillerine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunması, çalışmaya özgün bir boyut kazandırmaktadır. Çalışma kapsamında ulaşılan bulgular, çocuklara yönelik içerik üreten sinemacılara, eğitimcilere ve ebeveynlere rehberlik edecek; çocukların medya içeriklerini eleştirel bir gözle değerlendirmelerine katkı sunacaktır. Ayrıca çalışma, çocuk sinemasında ahlaki temsiller üzerine politika önerilerine ve medya okuryazarlığı programlarına teorik zemin hazırlayarak akademik ve toplumsal düzeyde katma değer yaratmayı hedeflemektedir. Araştırmada, Kant'ın 'iyi isteme', 'ödev', 'özgürlük', 'ahlak yasası', 'otonomi' ve 'heteronomi' kavramları analitik bir çerçeve olarak kullanılmıştır. Nitel araştırma yöntemine dayanan çalışmada, betimsel analiz tekniği benimsenmiş; amaçlı örneklem doğrultusunda 2010 yılında gösterime giren *"Çılgın Hırsız"* (Pierre Coffin & Chris Renaud) filmi inceleme nesnesi olarak seçilmiştir. Film, geniş izleyici kitlesine ulaşması ve karakter değişimi süreçlerini görünür kılan anlatı yapısı nedeniyle tercih edilmiştir. Analiz sonucunda, filmde yer alan iki karakter başlangıçta kötülük ekseninde konumlandırılmıştır. Ancak anlatının ilerleyen sürecinde karakterlerden birinin özgür irade temelinde gerçekleştirdiği seçimler doğrultusunda dönüşüme açık bir biçimde kurgulandığı ve sabit bir karakter olarak sunulmadığı gözlemlenmiştir. Karakterin ahlaki dönüşümünü, Kant'ın 'iyi isteme' ve 'özgürlük' kavramlarıyla ilişkilendirmek mümkündür. Buna karşılık diğer karakterin değişime kapalı bir yapı sergileyerek kötülük eksenindeki konumunu sürdürdüğü görülmektedir. Film, karakterlerin tercihleri, niyetleri ve eylemleri üzerinden aktarılan ahlaki kavramlarla çocuk izleyiciye, bireyin kendi iradesi doğrultusunda ahlaki yeniden konumlanmanın mümkün olduğuna dikkat çekmektedir. Kötülüğün karakterler üzerinden sabit ve değişken olarak iki farklı şekilde konumlandırılmış olması izleyicinin ahlaki farkındalık geliştirmesine zemin hazırlamakta ve izleyiciye etik değerlendirme imkânı tanımaktadır. Bu bağlamda kötülük, yalnızca karşıt bir unsur olarak değil, aynı zamanda ahlaki uslamlama süreçlerini harekete geçiren dinamik bir anlatı bileşeni olarak konumlandırılmaktadır.

[1]Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından SYL-2025-11988 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

[2]Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat ve Tasarım Anasanat Dalı'nda Doç. Dr. Nergiz KARADAŞ TOKTAŞ danışmanlığında Gülistan ARAS tarafından yazılan ''Kant'ın Ahlak Felsefesi Bağlamında Çocuk Filmlerinde Kötülük'' başlıklı Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kant Etiği, Kötülük Temsili, Ahlaki Dönüşüm, Animasyon Sineması, Çocuk Filmleri.

THE REPRESENTATION OF EVIL IN ANIMATION CINEMA: A KANTIAN ETHICAL PERSPECTIVE [1] [2]

ABSTRACT

Cinema constitutes a powerful site of representation in which social values, cultural codes, and moral norms are reproduced; for this reason, content directed at children in particular requires careful pedagogical and ethical consideration. By bringing visual and auditory narrative possibilities together within a single medium, cinema exerts a decisive influence on how child viewers make sense of the world, comprehend social norms, and interpret moral concepts. The good-versus-evil opposition frequently encountered in children's films is constructed not merely as a simple dichotomy but through a more complex narrative plane shaped by characters' moral choices and value conflicts. In this context, how evil is represented within the narrative constitutes an important area of discussion. The aim of this study is to examine the ways in which evil is represented in children's films within the framework of Immanuel Kant's moral philosophy. The study employs Kant's concepts of "good will," "duty," "freedom," "moral law," "autonomy," and "heteronomy" as an analytical framework. Adopting a qualitative research method, the study uses descriptive analysis; in line with purposive sampling, Despicable Me (Pierre Coffin & Chris Renaud, 2010) was selected as the object of analysis. The film was chosen for its broad audience reach and for a narrative structure that renders processes of character change visible. The analysis shows that two characters in the film are initially positioned within the axis of evil. As the narrative progresses, however, one of the characters is constructed as open to transformation through choices made on the basis of free will, rather than being presented as a fixed character. This character's moral transformation can be related to Kant's concepts of "good will" and "freedom." The other character, by contrast, exhibits a structure closed to change and retains its position within the axis of evil. Through the moral concepts conveyed via the characters' choices, intentions, and actions, the film draws the child viewer's attention to the possibility of moral repositioning on the basis of the individual's own will. The fact that evil is positioned in two different ways through the characters — as fixed and as variable — lays the groundwork for the viewer's development of moral awareness and offers the viewer an opportunity for ethical evaluation. In this context, evil is positioned not merely as an oppositional element but also as a dynamic narrative component that sets moral reasoning processes in motion.

Keywords: Kantian Ethics, Representation of Evil, Moral Transformation, Animation Cinema, Children's Films.

GİRİŞ

İnsanoğlu, yüzyıllar boyunca varoluşunu anlamlandırma çabası içinde olmuş; bu arayış hem felsefi hem de teolojik tartışmaların temel meselelerinden biri olmuştur. Söz konusu süreç; Ben kimim? Hayatın amacı nedir? Bir yaratıcı var mıdır? gibi birçok soruyu beraberinde getirmiş olmasına karşın sorgulamanın odak noktasını; Tanrı'nın varlığına ve evrendeki iyilik ve kötülüğün kökenine ilişkin tartışmalar oluşturmaktadır. Bireyin kötülükle ilişkisi ve bu kapsamdaki ahlaki yükümlülükleri farklı düşünürler ve yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmıştır. Böylece, kötülük problemi metafizik ve teolojik tartışmaların odağında olmanın yanı sıra bireyin eylemlerinin şekillenmesinde önemli rol oynayan ahlaki bir boyut olarak da karşımıza çıkmaktadır. Kötülük probleminin daha iyi anlamlandırılması ve

[1]This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Van Yüzüncü Yıl University within the scope of project no. SYL-2025-11988.

[2]This study was prepared by benefiting from the Master's thesis titled "Evil in Cinematic Narratives For Children: An Evaluation From A Kantian Ethical Perspective", written by Gülistan Aras under the supervision of Assoc. Prof. Dr. Nergiz Karadaş Toktaş at the Department of Art and Design, Institute of Social Sciences, Van Yüzüncü Yıl University.

değerlendirilebilmesi için kavrama ilişkin yapılmış olan tanım ve yaklaşımların ele alınması önem arz etmektedir.

Farklı disiplinlerde ele alınan temel problemlerden biri olan kötülük kavramı; felsefi, sosyolojik, teolojik ve edebi bağlamlarda farklı şekillerde yorumlanmış, çeşitli yaklaşımlar ve tanımlarla açıklanmaya çalışılmıştır. Böylece disiplinlerarası bir araştırma ve tartışma konusu olan kötülük, çok boyutlu yaklaşım ve tanımlamaların etkileşimiyle kapsamlı bir düşünsel zemin oluşturmuştur.

Kötü kelimesi lügatta, ‘’amaca uygun olmayan, kusurlu istenilen ve beğenilen nitelikte olmayan, iyi karşıtı, zararlı, tehlikeli, endişe veren, yetersiz, mutluluğa, ideallere, amaçlara ulaşmayı engelleyen durum veya oluşum için kullanılan bir niteleme’’ olarak betimlenmektedir. (Cevizci, 1999: 524) Kötülük ise ‘’doğadan gelen ya da bilinçli insan eyleminin sonucu olan ve insan varlığına bu dünyadaki yaşamında büyük zarar veren durum, oluşum’’ olarak tanımlanmaktadır. (Cevizci, 1999:524) Kötülük kavramının etimolojik kökeni incelendiğinde, Arapçada ‘’şer ve sü’’, İngilizcede ‘’evil ve wickedness’’, Almancada ‘’das Böse’’, Fransızcada ise ‘’mal’’ terimleriyle, Latince kökü malum; felaket, musibet, hastalık, ağrı, mutsuzluk’’ anlamlarına gelmektedir. (Hançerlioğlu, 1989: 225)

İnsanlık tarihi, insanı doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen pek çok kötü olaya tanıklık etmiştir. Bu tanıklık, insanları kötülüğün kaynağı ve kötülük-Tanrı arasındaki ilişki üzerine düşünmeye ve sorgulamaya yöneltmiştir. Nitekim kötülük problemi, her dönemin kültürel, felsefi ve sosyolojik bağlamları doğrultusunda farklı formlarda ele alınmış ve yorumlanmıştır. Bu kapsamda düşünürler arasında fikir ayrılıkları yaşanmış; bazıları kötülüğü teolojik açıdan, bazıları ontolojik olarak, bazıları epistemolojik çerçevede, bazıları ise ahlaki yaklaşım doğrultusunda tanımlamaya çalışmıştır. Dolayısıyla kötülük kavramının tanımlanışı da dönemin egemen düşünce yapısı ve toplumsal dinamiklerinden etkilenmiş; zaman zaman yaratıcıya, zaman zaman bilgiye, zaman zaman ise insana dayandırılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak, hiçbir tanımlama ve yaklaşım, problemi nihai ve kalıcı bir sonuca ulaştıramamıştır. Bu doğrultuda, sınırları net olarak çizilmiş evrensel bir tanımdan söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle kötülük, çeşitli olgu ve olaylar temelinde kavramsal bir perspektifle ele alınmaktadır. Buradan hareketle, düşünürlerin kötülüğe ilişkin yapmış oldukları yorum ve tanımlamalara değinilmesinin, kavramın felsefi arka planının daha iyi anlaşılmasına katkı sunacağı düşünülmektedir.

Bilgiyi erdem olarak kabul eden Sokrates’e göre, bilginin yoksunluğu kişiyi kötülüğe veya günaha yöneltmektedir. Düşünür bu nedenle kötülüğün, bilgi eksikliğinden kaynaklandığını öne sürmektedir. (Taşabat, 2021: 44) Benzer şekilde Platon, kötülüğü bilgisizlik olarak tanımlamaktadır ve şu cümleleri ile ifade etmektedir:

“Hiç kimse bile bile kötülük etmez. Kötüler, vücutları kötü olduğu, kötü eğitildikleri için kötüdürler. Ama insan, bütün gücüyle, tahsil ve terbiyesiyle, yaşayışıyla kötülükten kaçmaya, onun zıttı olan erdeme (iyiliğe) varmaya çalışmalıdır. İyi olan her şey güzeldir. Güzel de hiçbir zaman orantısız olmaz. O halde, bir canlı, güzel olabilmek için tam bir orantı içinde bulunmalıdır” (Öktem, 2018: 652-653).

Konuya ilişkin dikkat çeken bir diğer yaklaşım Herakleitos tarafından ortaya konulmuştur. Düşünür, iyi ve kötünün karşılıklı bir ilişki içinde birbirini beslediğini ve bu iki kavramdan birinin diğerinin varlığı üzerinden anlam kazandığını şu cümleleri ile ifade etmiştir: “hastalık sağlığı hoş kılar, açlık tokluğu, yorgunluk dinlenmeyi’’ ‘’…Tanrı için bütün şeyler güzel, iyi ve hakçadır, insanlar ise birtakım şeyleri haksız buluyorlar birtakımlarını ise hakça.’’ ‘’… haksız şeyler olmasaydı hak adını bilmezlerdi” (Raven’dan aktaran Yasa, 2014: 51). Kötülük problemini, kötülük-Tanrı ilişkisi bağlamında bir problem olarak ele alan ve bunu mantıksal bir çerçevede formülleştirmeye çalışan ilk düşünürün Epikuros olduğu genel kabul görmektedir. Epikuros kötülük problemini şöyle ifade etmektedir:

‘’Tanrı, kötülükleri, dünyamızdan ya atmak istiyor da atamıyor, ya atabiliyor da atmak istemiyor, ya ne atabiliyor ne de atmak istiyor. Bu konuda başka bir durum olamaz. Atmak istiyor da atamıyorsa bu kötülüktür ki Tanrılığa yakışmaz. Ne atabiliyor, ne de atmak istiyorsa bu hem güçsüzlük, hem kötülüktür ki, Tanrılığa hiç yakışmaz. Atabiliyor ve atmak istiyorsa – ki Tanrılığa yakışan budur- acaba niçin atmıyor?’’ (Hançerlioğlu, 1989:225)

Kötülük problemine yönelik dikkat çeken yaklaşımlardan biri de Saint Augustinus tarafından ileri sürülmüştür. Düşünür; Tanrı'nın, varlıkları ilim ve kudretinin gerektirdiği en etkin biçimde var ettiği görüşünü benimsemiştir. Bu nedenle gerçek bir kötülükten söz etmenin mümkün olmayacağını ve kötülüğü iyiliğin noksanlığı, iyilikten sapma veya iyiliğin bozulma hali olarak ifade etmiştir. (Taşabat, 2021: 45) Alman düşünür G.W. Friedrich Hegel de kötülük problemine kayıtsız kalmamıştır. Hegel, ''kötüyü iyinin karşıtı olarak kabul eder''(Hegel'den aktaran Şahin, 2004: 72). Ona göre, iyi kötü olmadan, kötü de iyi olmadan fark edilemez. İki kavram da birbirinin varlığı ile anlam kazanır.

Kötülük problemine, İslam düşünürleri de kayıtsız kalamamış ve bu konuya ilişkin açıklamalarda bulunmuşlardır. İslam düşünürlerinden olan Gazzâlî, ilim, güç ve kudret vasıflarına sahip olan Yaratıcı'nın, muhtemel evrenler arasında en iyi olanı yarattığını ifade eder. (Taşabat, 2021: 52)

İbn Meymûn ise kötülük konusunu farklı bir perspektiften değerlendirmiş ve şu şekilde açıklamaktadır:

"Kötülüklerin bütünüyle yokluk olduğu ifade edilir. Bunun insandaki örneği şudur: İnsanın yok olması olan ölümü, kötülüktür, insanın hastalığı, fakirliği, bilgisizliği de böyledir..."“Tanrı'nın eylemleri bütünüyle iyidir; çünkü O, yalnızca var olanı yaratır; her var olan da iyidir…" "… yukarıdan kötülük yağmaz…" (Yasa, 2014: 13-14).

Kendinden önceki düşünürlerden farklı olarak Immanuel Kant, Tanrı'nın varlığını teorik olarak açıklamanın mümkün olamayacağını ileri sürmüştür. Kötülük problemini teolojik çerçevenin dışına taşıyarak kötülüğe insan aklı, özgürlük ve ahlak temelinde antropolojik bir perspektiften yaklaşmıştır. Kant'a göre kötülük, bireyin özgür iradesine dayanarak ahlaki yasaya aykırı ilkeleri bilinçli biçimde gerçekleştirmesiyle ortaya çıkan bir eğilim biçimidir.

Felsefi literatürde kötülük çeşitleri, doğal (fiziksel), metafiziksel ve ahlaki (moral) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Doğal kötülüğe ilişkin şu değerlendirmeye yer verilmektedir: ''doğaüstü güçlerin yol açtığı her türlü acılarla bizzat insanların hastalıklara bağlı çekmiş olduğu ıstıraplar bu tip kötülüklere örnek olarak verilebilir" (Küçükyavuz, 2019:12). Deprem, sel, kuraklık, açlık veya hastalık gibi kötülükler doğal kötülük türüdür. Metafizik kötülük, ''bir şeyin formunun tamlıktan yoksun olması, yani varlığı itibariyle yetkinliğinin eksik olması'' olarak tanımlanmaktadır. (Özdemir, 1998: 17) Bu kavramı ilk defa Leibniz kullanmıştır. Ona göre metafiziksel kötülük, "evrendeki sonlu varlıkların eksik oluşları ya da yetkin olamayışlarıdır" (Leibniz'den aktaran Urhan, 2002). İnsanın özgür iradesi sonucunda gerçekleştirdiği eylemler ise ahlaki kötülük olarak tanımlanmaktadır. Bireyin davranışları sonucunda hem kendine hem de başkalarına zarar veren eylemler olarak ele alındığında, cinayet, adam öldürme, yalan ve hırsızlık gibi pek çok olgu ahlaki kötülüğe örnek gösterilebilir.

KANT'IN AHLAK FELSEFESİ

Kant düşüncesinde; teorik akıl çerçevesinde bilginin sınırları, pratik akıl çerçevesinde ise ahlaki eylemin ilkeleri araştırmanın temel öğelerini oluşturmaktadır. Kötülük kavramına ilişkin görüşleri, Kant'ı kendinden önceki düşünürlerden farklı kılmaktadır. Kendinden önceki düşünürlerin aksine Kant, kötülük konusunda Tanrı merkezli bir eksenden ziyade insan ve insan eylemlerini merkeze alan bir yaklaşım benimsemiştir. Kant, her bireyin kötülüğe doğuştan gelen bir eğilimi olduğunu ileri sürmüştür ve bu eğilimi radikal kötülük olarak kavramsallaştırmıştır. Bu kavramı, insanın ahlaki eylemlerden uzaklaşmasına neden olan evrensel ve insanın doğasına ait bir eğilim olarak açıklamaktadır. Akıl sahibi ve özgür iradeye sahip birey, kötülüğün ana kaynağıdır. Çünkü kötülük, bireyin ahlak yasasına rağmen eğilim ve isteklerini önceliediği durumda ortaya çıkmaktadır. Fakat insan doğuştan sahip olduğu bu eğilime, özgür iradesi ile karşı koyabilir. (Canpolat, 2023: 23-24)

Kötülüğün temelinde insan eylemlerinin olduğunu öne süren Kant, ''Neyi bilebilirim?'', ''Ne yapmalıyım?'', ''İyi nedir ve neye iyi denir?'' sorularına yanıt aramaktadır. Bu soruları cevaplayabilmek için Kant'ın ahlak felsefesi ve temel kavramlarını bilmemiz gerekmektedir.

İyi İsteme (İyi Niyet)

Bir eylemin ahlaki çerçevede değerlendirilebilmesi, eylemin öznesi tarafından iyi istemeye dayanarak gerçekleştirilmiş olmasıyla ilişkilidir. İyi isteme, belirli bir dış koşula bağlı olmaksızın, mutlak anlamda iyi kabul edilen tek koşuldur. ‘’İyi isteme, etkilerinden ve başardıklarından değil, konan herhangi bir amaca ulaşmaya uygunluğundan da değil, yalnızca isteme olarak yani kendi başına iyidir...’’ (Kant, 2002: 9). Söz konusu kavram, tesadüften veya öznenin eğilimlerinden bağımsız, bütünüyle öznenin akıl aracılığıyla koyduğu yasaya ödevden dolayı uygun eylemlerde bulunmasıdır. Bu da, iyi veya kötü olarak değerlendirilecek olan, eylemin sonucu veya eylemi gerçekleştirirken öznenin duyduğu haz değil, eylemin kendisinde var olan istemin ilkesidir. İradenin hangi koşullarda iyi irade olarak ifade edildiğinin anlaşılabilmesi için Kant’ın ahlak felsefesindeki ödev kavramıyla birlikte incelenmesi gerekmektedir.

Ödev

Bir eylemin ahlaki değerini belirleyen ölçütlerden biri de ödevdir. Kant’a göre, bir eylemin ahlaki değeri o eylemin gerçekleştirildiği amaç veya sonuçlarına göre belirlenemez. Bir eylemin ahlaki ölçütlerinden biri de eylemin yalnızca ödev olduğu için yerine getirilmiş olmasıdır. Kant, iyi isteme ile ödev arasındaki ilişkiyi eylemleri, ödeve aykırı ve ödeve uygun olan eylemler şeklinde sınıflandırarak açıklamıştır. Bir çıkar ya da amaç doğrultusunda gerçekleştirilen eylemler herhangi bir amaca yararlı olsalar bile ödevle çeliştiğinden ahlaki değere sahip değildir. Kant, bu eylemleri ödeve aykırı eylemler olarak adlandırmıştır. Düşünüre göre, ödeve uygun bir eylemin, ahlak yasasına duyulan saygıdan mı yoksa kişisel eğilim sonucunda mı gerçekleştiğinin tam olarak bilinmesi mümkün değildir. Kant bu olguyu şu şekilde örneklendiriyor: Bir bakkalın tüm müşterilerine aynı fiyatı uygulaması hatta bir çocuğun bile güvenle alışveriş yapabilmesi ödeve uygun bir eylemdir. Ancak bu eylemin temelinde dürüstlük olabileceği gibi, çok müşteri çekmek için yapılan ticari çıkarın da söz konusu olabilir. Bu noktada önemli olan, eylemi gerçekleştirmeye karar verdirten öznel ilkedir. (Kant, 2002: 12-16)

Özgürlük (Özgür İrade)

Kant felsefesinde, insanın hem fenomenal (duyulur) hem de numenal (düşünülür) bir varlık olması neticesinde özgürlük ve doğa yasaları arasında çatışma söz konusudur. İnsan, fenomenal boyutuyla doğaya aittir ve doğadaki her şey bir nedene dayandığı için, insan da bu doğa nedenselliği yasalarına tabidir. Kant’a göre özgürlük, fenomenal dünyanın doğa nedenselliğinden bağımsız olmasıyla gerçekleşmektedir. Çünkü insan, rasyonel bir varlık olarak numenal dünyaya aittir ve pratik akıl aracılığıyla eylemlerini özgürce seçebilme gücüne sahiptir. Kant, bir eylemin ahlaki niteliğinden söz edebilmek için hem doğa nedenselliğinin hem de pratik aklın bir arada bulunması gerektiği görüşünü benimsemektedir.
Çünkü eylem sadece doğa yasaları kapsamında gerçekleşirse zorunluluktan söz edilir, sadece pratik akılla gerçekleşirse bir seçimden söz edilemez. Özgürlük, insanın hem fenomenal hem de numenal yönünün birleştiği noktada, aklın iradeyi yönlendirmesidir. (Güneş, 2024: 5-11)

Kantçı düşüncede iradenin otonomi (özerklik) ve heteronomi (yaderklik) arasındaki belirleyici fark, iradenin ne tarafından şekillendiği ve hangi dünyaya ait olduğu ile bağlantılıdır. İradenin otonomisi, eylemlerin dış etken ve eğilimler doğrultusunda ortaya çıkması değil, bireyin aklı aracılığıyla kendi koyduğu yasalara uymasıdır. Bunun aksine heteronomi, bireyin doğa nedenselliği yasalarına ve eğilim gibi dışsal etkilere tabi olması durumudur. Bu bağlamda otonomi, aklın irade üzerindeki üstünlüğü ve özgürce yasa koymasıyken; heteronomi, iradenin doğa yasalarına bağımlı kalmasıdır. (Canpolat, 2023: 35-37)

Ahlak Yasası

Kant’a göre bir eylemin ahlaki değer taşımasının temel ölçütü, eylemin herhangi bir dışsal amaç, çıkar veya sonuca dayandırılmaksızın, doğrudan ahlak yasasınca belirlenmiş olmasıdır. Bir eylemin ahlaki boyutu, bir amaca ulaşmanın aracı (koşullu buyruk) olarak değil, ödev olarak yerine getirilmesiyle

ilişkilidir. Eylem sadece araç olarak iyi ise, bu eylemi belirleyen ilke koşullu bir buyruktur ve ahlaki bir değeri yoktur. Ahlak yasasında önemli olan eylemin hangi ilke doğrultusunda gerçekleştirildiğidir. Eylemin dayandığı ilke (maksim), evrensel bir yasa olabilecek nitelikte olmalıdır. Bir eylem, sonucu gözetilmeksizin, sadece ödev olduğu için ve evrensel yasa haline gelebilecek bir maksim esas alınarak gerçekleştirildiğinde ahlaki değer taşır. (Akarsu, 1999: 101-105)

Kant'ın ahlak felsefesinin bu temel kavramları, çalışmanın analitik çerçevesini oluşturmaktadır. Belirlenen bu teorik perspektifin, bir animasyon filmi üzerinden nasıl somutlaştırılacağı ve hangi tekniklerle analiz edileceği 'Yöntem' bölümünde ele alınmıştır.

YÖNTEM

Mevcut çalışmada, nitel araştırma yöntemlerinden betimsel analiz yaklaşımı esas alınarak, amaçlı örneklem tekniği kapsamında belirlenen *''Despicable Me''* (*Çılgın Hırsız*) animasyon filmi incelemenin nesnesi olarak seçilmiştir. *Çılgın Hırsız* filmi, geniş izleyici kitlesine ulaşmış popüler bir animasyon filmi olması, kötülük figürünü merkezî anlatı unsuru hâline getirmesi ve ana karakterin ahlaki dönüşümünü görünür kılması nedeniyle amaçlı örneklem doğrultusunda seçilmiştir. Araştırma nesnesi olan film, Immanuel Kant'ın ahlak felsefesinin temel ilkeleri kapsamında sistematik biçimde çözümlenmiştir. Çözümleme sürecinde, filmdeki kötülük temsillerinin hangi karakterler, tutum ve davranış örüntüleri ve anlatı öğeleri çerçevesinde kurgulandığı analiz edilmiş; elde edilen verilerin Kantçı ahlak anlayışıyla nasıl bağdaştırıldığı yorumlanmıştır. Çözümleme sonucunda elde edilen bulgular, 'kötülüğün temsili', 'ahlak ilkelerinin ihlali', 'insanın araçsallaştırılması', 'ödev ahlakına aykırı davranışlar', 'otorite ve itaat ilişkisi', 'ahlaki özerklik eksikliği' ve 'ahlaki dönüşüm ve iyi isteme' temaları çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Bu çerçevede, çocuk filmlerinde kötülük temsiline yönelik bileşenler felsefi bir perspektiften ele alınarak, bu içeriklerin çocukların ahlaki gelişim evreleri üzerindeki olası etkilerine ilişkin kapsamlı bir çözümleme amaçlanmıştır.

ÇILGIN HIRSIZ FİLMİNDE KÖTÜLÜĞÜN TEMSİLİ

Yapımcılığını Chris Meledandri, Janet Healy ve John Cohen'in üstlendiği *Çılgın Hırsız* özgün adıyla Despicable Me, 2010 yılında vizyona girmiştir. 6 filmden oluşan bir serinin ilk filmi olan *Çılgın Hırsız*, ana karakter Gru'nun süper kötü bir karakterden babalığa geçen öyküsünü ele almaktadır. Bu filmde Kant'ın ahlak felsefesi perspektifinden kötülük temsilleri; mekân tasarımları, karakterler, sahne ve olay örgüsü olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır.

Mekân Tasarımı

Gru'nun evi, pastel tonların baskın olduğu, bakımlı, düzenli ve birbirinin aynısı olan evlerin arasında koyu renk temasının baskın olduğu gotik mimarisiyle çevredeki diğer evlerden belirgin bir biçimde ayrılmaktadır. Gru'nun evi, görsel anlatımda keskin bir karşıtlık oluşturarak karakterin toplumsal normlara aykırı duruşunu imgesel olarak görünür kılmaktadır. Bu mimari, karakterin ''aykırı'' ve ''kötü'' olarak betimlenen kimliğine dair veri sunmaktadır. İç mekânda ürkütücü hayvan figürlerinden oluşan eşya ve aksesuarların bulunması, duvarda yılın kötü adamına ilişkin haberlerin asılı olması, mekânın ürkütücü, soğuk, karanlık ve mekanik atmosferini destekleyen unsur olarak ön plana çıkmaktadır. Kant'ın ahlak felsefesi perspektifinde ele alındığında, Gru'nun evi karakterin ahlaki ve duygusal dönüşümünü yansıtan metaforik bir mekân olarak kullanılmaktadır.

Gru'nun evinden geçiş yapılan 'yeraltı laboratuvarı' sıradan ve toplumsal normlara uyumu temsil eden yaşam alanlarının aksine yeraltına yerleştirilmiş olmasıyla 'gizli', 'sıra dışı' ve 'toplumsal denetimden uzak' bir mekân olarak kurgulanmıştır. Kötü eylemlerin planlandığı ve bu planlar doğrultusunda teknolojilerin geliştirildiği bir yer olan laboratuvar, kötülüğün mekânsal temsiline dönüşmektedir. Kant'ın ahlak felsefesi bağlamında değerlendirildiğinde laboratuvarın, iyi isteme kullanımından sapılarak araçsallaştırıldığı görülmektedir. Bu mekânda geliştirilen teknolojik ve mekanik sistemlerin, kişisel çıkarlara hizmet etmesi ve eğilimlere bağlı olarak şekillenmesi, Kant'ın evrensel ahlak yasası ve

ödev kavramlarıyla örtüşmemektedir. Bu eksende laboratuvar, özgür iradeden uzak bir düzlemde heteronom ahlak anlayışının baskın olduğu bir mekân olarak sergilenmiştir.

Çocuk yurdu, sıcak ve güvenli bir aile ortamından ziyade, soğuk renk tonlarının hâkim olduğu, disiplin ve denetim duygusunu öne çıkaran bir mekân olarak betimlenmiştir. Bayan Hattie'nin Kız Yurdu (Miss Hattie's Home for Girls), duvarlarında mutsuz çocuk fotoğraflarının yer aldığı, duygusal yoksunluk ve kurumsal disiplinin iç içe geçtiği bir mekân olarak tasvir edilmiştir. Tekdüze, sınırlı ve işlevsel eşyaların varlığıyla soğuk ve aidiyet duygusundan uzak atmosfer sunmaktadır. Bu özellikleriyle yurt, çocukların duygusal ve ahlaki gelişimlerine katkıda bulunması gerekirken aksine çocukların yalnızca barınma ihtiyaçlarını karşılayan bir yapı olarak tasvir edilmiştir. Kantçı perspektiften değerlendirildiğinde yurt, çocukların bireysel istekleri, duygusal ihtiyaçları ve özgür iradeleri göz ardı edilerek, onları kurallar çerçevesinde pasifleştiren bir sistem olarak tanımlanabilir. Bu da, bireyin amaç olmaktan uzaklaştırılıp araçsallaştırıldığını, özerkliğin göz ardı edildiğini ve heteronom bir düzenin varlığını simgelediğini söylemek mümkündür.

Gru'nun planını hayata geçirebilmek için Kötülük Bankası'nda kredi başvurusu yapar. Kötülük Bankası ilk başta sıradan, dış görünüşüyle çevreye uyum sağlayan bir mimari yapı olarak sahnelenir. Fakat bankaya giriş, lavaboda bulunan göz tarama sistemiyle açılan gizli bir geçitle gerçekleşmektedir. Bankanın keskin geometrik formu, devasa yüksekliği ve dış dünyaya kapalı penceresiz mimarisi, mekânın gizli ve tehditkâr doğasını simgelemektedir. Bankanın mimari yapısı, çalışma sistemi ve yansıttığı değerler çerçevesinde, kötülüğün kurumsallaşmış ve meşrulaştırılmış bir yapıya dönüştürüldüğünü göstermektedir. Kantçı perspektiften değerlendirildiğinde Kötülük Bankası'nın, Kant'ın insanı amaç olarak görme ilkesinden noksan olduğunu görmekteyiz. Çünkü bireyler, sistemin sürekliliğine hizmet eden araçlar olarak konumlandırılmış ve irade, özgürlük ve ahlaki özerkliğin yerini kurumsal hedeflere bağlı heteronom iradenin yer aldığı bir düzeni simgelemektedir.

Vektör'ün evi, beyaz ve steril bir görünüme sahip, modern ve ileri düzey teknolojik altyapısıyla geleneksel konut anlayışından uzak futuristik bir mekân olarak kurgulanmıştır. Yüksek ve geometrik mimari yapısı ve yüksek güvenlikli giriş sistemi, güç ve kontrolü simgelemektedir. Bu oluşumlar aynı zamanda evi, aidiyet duygusundan yoksun sadece işlevselliğin temel alındığı bir yapı olarak öne çıkarmaktadır. Vektör'ün evinin teknolojik altyapısı ve sistematik işleyişi, araçsal aklın hâkim olduğu düzeni yansıtmaktadır. Çünkü araçsal akıl, ahlaki ve etik değerlerden uzak sadece sonuca, başarıya ve verimliliğe odaklanarak güç, bireysel başarı ve üstünlük arzusuna hizmet eden bir araç haline gelmiştir.

Gru ve Vektör'ün evleri, filmde kötülüğün iki farklı tezahürünü yansıtmaktadır. Başlangıçta koyu renklerin hâkim olduğu, gotik mimarisiyle toplumsal normlardan kopuk betimlenen Gru'nun evi, karakterin eylemlerindeki iyi istemeye yönelen ahlaki dönüşümüyle eş zamanlı olarak mekânsal bir değişim de söz konusudur. Bu noktada ev, dönüşüm sürecine eşlik eden simgesel yapı olarak işlev görmektedir. Bunun aksine süreç içerisinde Vektör'ün evi, modern, steril ve ileri düzey teknolojik altyapısından ödün vermeyerek heteronom bir yapıyı temsil etmeye devam etmektedir. Gru'nun evi, zaman içerisinde sıcaklık, aidiyet, güven duygularının hissedildiği bir yaşam alanına dönüşürken Vektör'ün evinin, duygusal bağlardan arınmış bir yapı olarak sabit kaldığı gözlemlenmektedir.

Lunapark sahnesi, Gru'nun ciddi, otoriter ve kontrolcü dünyasına karşılık çocukluk, masumiyet, eğlence, sevgi, duygusal ve güven bağının izleyiciye yansıtıldığı anıtsal ve duygusal bir işlev üstlenmektedir.

Filmde kötülüğün mekânsal temsilleri, karakterlerin duygusal evreleri ve ahlaki konumlanışlarıyla doğrudan bir paralellik sunmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu mekânlardaki öznelerin fiziksel ve karakteristik özellikleri, Kantçı etik perspektifindeki dönüşümün anlaşılması açısından belirleyici bir rol oynamaktadır.

Karakterler

Gru, uzun ve ince bacakları, yapılı bedeni, solgun gözleri, sivri ve belirgin burnu, kambur duruşu ve kel görünümüyle kötü karakter estetiğini çağrıştıracak şekilde betimlenmiştir. Genellikle siyah ve gri renklerin hâkim olduğu koyu tonlarda kıyafet tercihi karakterin karanlık, dış dünyaya karşı mesafeli ve

duygusal olarak kapalı bir kişiliği olduğunu görsel düzlemde desteklemektedir. Sert bakışları, soğuk yüz ifadesi ve gülüşündeki rahatsız edici tonlama karakterin ürkütücü ve toplumdan uzak bir özne olarak yansıtılmasına yardımcı olmaktadır. Karakterin kötülüğü, salt bir yıkıcılık ya da nefretten değil; tanınma arzusundan ve hedeflerine ulaşmak için başkalarının duygularını ve varlığını yok saymasıyla şekillenen bir kimliktir. Başlangıçta kötülük ekseninde konumlandırılan ana karakter süreç içerisinde duygusal bağ geliştirerek eylemlerini iyi isteme çerçevesinde yeniden inşa eden bir özneye dönüşmüştür.

Vektör, turuncu tonlarındaki dikkat çekici kıyafetleri, iri burnunun üstüne konumlandırılmış geniş gözlükleri ve minyon fiziksel görünümü ile enerjik bir karakter olarak betimlenmiştir. Vektör, Gru'nun aksine parlak renkleri tercih eden, dikkat çekmeyi seven, gösterişçi, rekabetçi ve görünür başarı üzerine kurgulanmış bir karakterdir. Film boyunca kendini birilerine kanıtlama ihtiyacı duyması, karakterin içsel bir derinlikten yoksun olduğunu göstermektedir. Renkli görünümü, çocuksu tavırları, hızlı ve sürekli hareket halinde oluşu, karakterin kontrolsüzlüğü, bencilliği ve narsistik davranışlarıyla ironik tezat oluşturmaktadır. Vektör'ün kötülüğün modern ve kibirli yüzünü temsil ettiği söylenebilir. Film boyunca karakterde, ahlaki bir ilerleme ve evrensel ahlak yasasına uygun eylemler gözlemlenmemiştir. Bu nedenle Vektör'ün ahlaki açıdan durağan bir karakter olduğu söylenebilir.

Minyonlar, sarı tenli, kısa ve oval yapılı, tek ya da çift gözlü küçük karakterlerdir. Mavi tulumları ve büyük gözlükleriyle birbirlerine benziyor olsalar da saç biçimleri, göz sayıları ve bedenlerindeki küçük farklılıklar karakterlere farklı kimlikler kazandırmaktadır. Kötü planlara, eylemlere sorgulamadan katılmaları, onları araçsal aklın hâkim olduğu sistemin bir parçasına dönüştürmektedir. Bireysel bilinçten uzak kolektif hareket eden, otoriteye koşulsuz bağlılık gösteren minyonlar, Kantçı perspektiften değerlendirildiğinde, yönlendirilmeye açık, heteronom ve otoriteye bağlı kolektif figürler olarak betimlenebilir. Zaman zaman sevgi, sadakat ve dayanışma gibi olumlu davranışlarda bulunmaları, minyonların salt kötü karakterler olmadığını göstermektedir.

Margo, Edith ve Agnes birbirinden farklı fiziksel özellikler ve karakter yapılarıyla tasarlanmıştır; böylelikle birbirinden farklı çocukluk temsilleri aktarılmak istendiği söylenebilir. Margo, uzun saçları, gözlüğü ve sade kıyafetleriyle olgun, korumacı ve kontrollü bir karakter olarak kurgulanmıştır. Edith, başından hiç çıkarmadığı pembe şapkası ve kimi zaman sert kimi zaman da alaycı mimikleriyle cesur ve asi bir karakter olarak kurgulanmıştır. Agnes ise yuvarlak yüz hatları, küçük bedeni ve renkli kıyafetleriyle masum bir çocuk olarak kurgulanmıştır. Kant'ın ahlak felsefesi kapsamında ele alındığında, bu üç kız karakterin amaç olarak insan ilkesine uygun karakterize edildiği gözlemlenmektedir. Margo'nun koruyucu yaklaşımının, Agnes'in koşulsuz sevgisinin ve Edith'in aidiyet duygusunun baskın olması, aralarında çıkar ilişkisinden uzak samimi bir bağ geliştirdiklerini göstermektedir. Kızlar, dönüşümü başlatan görevi üstlenmektedir. Sevgi, güven, aidiyet, masumiyet gibi olumlu özellikler barındıran bu karakterler, Gru'nun ahlaki dönüşüm sürecine öncülük etmiştir.

Dr. Nefario, ileri yaşta, kısa boylu, beyaz ve dağınık saçlarıyla dikkat çekici bir karakterdir. Dr. Nefario'ya kalın gözlükleri ve beyaz önlüğüyle görsel düzlemde bilim insanı kimliği kazandırılmıştır. Dr. Nefario, yeraltı laboratuvarında sürekli deneyler yapması, toplumdan ve aidiyet, sevgi, güven duygularından uzaklaşmış bir figür olarak betimlenmiştir. Zekâsı ve bilimsel bilgi birikimiyle Gru'nun planlarını destekleyen, bu doğrultuda teknolojik araçlar üreten, stratejik düşünen ve pratik çözümler üreten bir karakter olarak karşımıza çıkmaktadır. Karakterin, eylemlerini büyük ölçüde Gru'ya bağlılık ve başarma arzusu bilincinde gerçekleştirdiği için heteronom motivasyonla hareket eden bir özne olduğu söylenebilir.

Miss Hattie; sert yüz hatları, abartılı mimikleri, toplu saçları, orantısız vücut hatları ve keskin bakışlarıyla otoriter ve mesafeli bir karakter olarak betimlenmiştir. Çocuklarla iletişimindeki fiziksel ve duygusal mesafe, karakterin dış görünüşüyle de desteklenmiştir. Çocukları sistemin bir parçası olarak görmesi, Miss Hattie'nin Kant'ın insanı amaç olarak görme ilkesinden yoksun olduğunu göstermektedir. Çocukların duygusal ihtiyaçlarını göz ardı ederek, sadece düzen ve disiplin odaklı otoriter bir figür olması heteronom anlayışı merkeze aldığını göstermektedir.

Mr. Perkins, Vektör'ün babası ve Kötülük Bankası'nın yöneticisi olarak tanımlanan otoriter ve çıkarcı bir karakterdir. Kısa boyu, iri bedeni ve sert mimikleriyle baskıcı ve ürkütücü bir karakterdir. Daima ciddi ve mesafeli duruş sergileyişiyle güçlü ve kontrolcü kişiliği vurgulanmaktadır. Mr. Perkins'in

kararları, çıkar, başarı ve güç ilişkisi doğrultusunda şekillendiği için araçsal aklı ve heteronom yaklaşımı temsil ettiği söylenebilir. Bu yönüyle Kant'ın insanı amaç olarak görme ilkesinden noksandır. Banka yöneticisi kimliğiyle bireysel kötülüğü ileri bir boyuta taşıyarak kötülüğün kurumsallaşmış formunu temsil ettiği söylenebilir.

Marlena Gru, Gru'nun annesidir. İnce yapılı dış görünüşü, abartılı makyajı, gösterişli kıyafetleri ve daima ciddi bir duruş sergilemesiyle mesafeli bir anne figürü olarak sunulmaktadır. Oğlu Gru'nun duygusal ihtiyaçlarını göz ardı etmesi; başarı, güç ve toplumsal statüyü temel almasından dolayı heteronom yaklaşımı temsil ettiği söylenebilir.

Kimlikleri ve motivasyonları betimlenen bu karakterlerin ahlaki tutumları, anlatı boyunca durağan kalmamakta; olay örgüsü içerisindeki eylemleri ve seçimleri üzerinden dinamik bir sürece evrilmektedir. Gru'nun bir 'süper kötü'den bir 'baba'ya dönüşüm yolculuğu, sahne ve olay örgüsü üzerinden Kantçı ilkelerle temellendirilebilir.

Sahne ve Olay Örgüsü

Gru'nun ahlaki gelişimi, Kantçı çerçevede dört aşamalı bir kuramsal yapı içinde analiz edilebilir. Başlangıç evresinde Gru'nun eylemleri çıkar, tanınma ve güç arzusuna dayanmaktadır; piramidin çalınması, günlük yaşamındaki kötülükler ve kızları evlat edinme kararı örnek gösterilebilir. Kırılma noktasını, lunapark sahnesinde Agnes için verdiği mücadele oluşturmaktadır; bu sahne, Gru'nun kızları bir araç olarak görme tutumunu zayıflatmaktadır. Dönüşüm evresinde Agnes'in mutluluğu ve kızların güvenliği, Gru'nun karar ve eylemlerinin temel belirleyicisi olarak öne çıkmakta ve önceliklerinde köklü bir değişim gözlenmektedir. Sonuç evresinde ise Gru, Ay'ı çalma ve 'en büyük kötü' olma hayalinden uzaklaşarak iyi isteme doğrultusunda seçim yapmaktadır. Bu dönüşüm sürecinin filme nasıl yansıdığı, sahneler ekseninde ele alındığında daha belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

Film, Mısır Piramitlerinden birinin çalındığı haberi ile başlar ve evrensel bir yankı uyandırır. Bu sahne, kötülüğün yalnızca maddi bir kazanç ve yasa dışı bir eylem çerçevesinde gerçekleşmediğini, bununla birlikte güç ve üstünlük kurma isteğinin bir yansıması olarak gerçekleştirildiğine dikkat çekmektedir. Küresel ölçekte bilinen tarihi ve kültürel bir sembolün çalınması toplumsal düzlemde hayranlık uyandırmak, beğeni ve saygı kazanmak ve en üstün kötü olma gayesiyle gerçekleştirilmiştir. Medya ve toplum tarafından yoğun ilgi gören bu durum, kötülüğün başarı göstergesi olarak algılanmasına, üstünlük ve görünürlük kazanmasına zemin hazırlamaktadır. Kant'a göre bir eylemi ahlaki yapan şey, eylemin evrensel ahlak yasasına uygunluğuna ve hangi niyet ya da maksim doğrultusunda gerçekleştirildiğine dayanmaktadır. Bu bağlamda eylem, 'ödev ahlakı' ya da 'iyi isteme' doğrultusunda değil; bireysel kazanç ve benmerkezci bir maksime dayanmaktadır. Kültürel değer, kişisel çıkarlar doğrultusunda araçsallaştırılmıştır. Bu durum Kant'ın insanı amaç olarak görme ilkesiyle örtüşmemektedir.

Filmde, Gru'nun günlük yaşamında insanları korkutmayı eğlence unsuru olarak görmesinin, kötülüğü sıradanlaştırarak bir yaşam biçimi haline getirdiği vurgulanmaktadır. Gru, yolda dondurmasını düşürüp ağlayan bir çocukla karşılaşır ve çocuğa bir balon verir, fakat ardından balonu patlatır. Ardından kahve kuyruğundaki insanları dondurarak sıra beklemeden kahvesini alır. Gru'nun çocuğun anlık mutluluğunu kasıtlı olarak olumsuz bir deneyime dönüştürmesi, karakterin başkalarının duygularını araçsallaştıran bir davranışı benimsediğini göstermektedir. Karakterin kahve kuyruğunda insanları dondurması ise toplumsal düzeni, kuralları ve diğer bireylerin özgürlük alanlarını yok sayan benmerkezci yönüne dikkat çekmektedir. Gru'nun eylemlerinin 'ödev bilinci' veya 'iyi isteme' doğrultusunda değil; kişisel çıkar, haz ve ego temelinde kurgulanmış olması, Kant perspektifinden okunduğunda, 'evrensel ahlak yasası' ve 'insanı amaç olarak görme' ilkelerinin ihlal edildiği davranış örnekleri sunmaktadır. Bu çerçevede film, karakterin başlangıçtaki ahlaki noksanlığını belirginleştirmekte ve ahlaki dönüşüm sürecine bir altyapı sunmaktadır.

Piramidin çalındığını duyan Gru'nun annesi, Gru'yu arar ve piramidi çaldığı için onu tebrik eder. Fakat piramidi çalanın kendi oğlu olmadığını duyunca, ''Başarılı olan bir başka kötü mü?'' diye dalga geçer. Bunun üzerine Gru, çok önemli bir şey yapacağını ve annesinin onunla gurur duyacağını söyler. Gru

piramidin çalınmasının ardından tüm zamanların en büyük kötüsü olma amacıyla Ay'ı çalmayı planlamaktadır. Ay'ı çalma planına finansal destek sağlamak amacıyla Kötülük Bankası'na kredi başvurusunda bulunur. Banka müdürü Mr. Perkins, Gru'nun geçmişte gerçekleştirdiği kötülükleri kayda değer bulmaz; ancak küçültme ışınına sahip olması durumunda projeye destek vereceğini şart koşar. Böylece Gru ile Vektör arasında, küçültme ışınını elde etmeye yönelik üstünlük yarışı başlar. Yarışı Vektör kazanır. Bunun üzerine Gru, küçültme ışınını Vektör'den geri alabilmek için Vektör'ün evine çeşitli yöntemlerle girmeyi dener. Ancak ileri teknolojiyle donatılmış yapıya giriş çabaları birçok denemeye rağmen başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Tam bu sırada Gru, kızların kurabiye satışı gerekçesiyle Vektör'ün evine hiçbir engelle karşılaşmadan girebildiklerini gözlemler. Bunun sonucunda Gru, kızları evlat edinmenin kendisini küçültme ışınına ulaştıracağını düşünerek bu kararı verir. Filmde Kötülük Bankası, kötülüğün bireysellikten uzaklaşarak kurumsallaşmış bir düzene dönüştüğünü yansıtmaktadır. Kant çerçevesinde değerlendirildiğinde, ahlaki eylem bireyin özgür iradesi sonucunda evrensel yasayla paralellik göstermelidir. Fakat bu noktada eylemler, heteronom iradenin temsilidir. Çünkü eylemler, ahlaki yasaya göre değil; güç, statü, başarı ve çıkar doğrultusunda banka tarafından şekillendirilmiştir. Gru'nun Margo, Edith ve Agnes'i Vektör'ün evine erişim sağlayacak bir araç olarak görerek evlat edinmesi, Kant'ın 'insanı araç olarak değil amaç olarak görme' kavramıyla örtüşmemektedir. Fakat evlat edinme eylemi, karakterin ahlaki dönüşüm sürecine zemin hazırlayan kırılma noktası niteliğindedir.

Gru'nun, kızları eve getirdikten sonra onlar için su, yiyecek ve lavabo gibi günlük gereksinimlerini karşılayabilecekleri, ancak duygusal aidiyet hissinden yoksun bir alan düzenlediği görülmektedir. Aynı zamanda, belirli saatlerde uyumayı, kendisi çalışırken rahatsız edilmemeyi, ağlama ve gülmenin yasak olduğu katı kuralları açık bir şekilde ifade eder. Gru'nun, çocukların bireysel ihtiyaç ve aidiyet duygusundan çok itaat ve kontrol anlayışını esas aldığı görülmektedir. Aidiyet ve duygusal bağlılığı temsil eden ev kavramı bu noktada işlevsellik ve disiplin ekseninde inşa edilmiş bir mekân olarak karşımıza çıkmaktadır. Çocukların davranışlarını belli kurallar ekseninde sınırlandıran Gru'nun otoriter bir tutum sergilediği görülmektedir. Gru'nun tek taraflı otoriter tutumu, çocukların özgür iradesini yok saymaktadır. Bu durum Kant'ın ahlak felsefesi ekseninde, 'özerklik' ve 'bireyi amaç olarak görme' ilkeleriyle örtüşmemekte aksine 'heteronom' bir yaklaşımı kanıtlar niteliktedir.

Gru, çocukları planına ulaşmak için bir araç olarak görmektedir. Lunapark sahnesinde Gru, işlevlerini yerine getiren çocuklardan kurtulma motivasyonu ile lunaparka girmiştir. Lunaparkta Agnes'in unicorn oyuncağını istemesi ve Gru'nun oyuncağı kazanmak için mücadele ederken oyun alanına zarar vermiş olması Gru'nun ahlaki dönüşümünün başlangıç noktasıdır. Lunaparkta yaşanan süreç Kant ahlakı çerçevesinde değerlendirildiğinde, 'insanı araç değil amaç olarak görme', 'iyi isteme', 'niyet' ve 'ahlaki değer' kavramları dikkat çekmektedir. Gru'nun unicorn için mücadele etmesinin, çocukların duygusal beklentilerini önceliğini göstermektedir. Bu bağlamda, çocuklar karakter için araç olmaktan uzaklaşarak, duygusal bağ kurulan bireylere evrilmektedir. Bu değişim Kant ahlakında, insanı araç olarak değil amaç olarak görme ilkesinin bir örneğini ortaya koymaktadır. Gru'nun Agnes'i mutlu etmek için verdiği mücadele Kantçı etik bağlamda 'iyi isteme'nin ilk izleri olarak tespit edilmektedir. Unicorn mücadelesi sırasında oyun alanında tahribata neden olan Gru'nun bu davranışı, üstünlük kurma, çıkar sağlama veya gösteriş yapma güdüsünden değil, Agnes'i mutlu etme güdüsünden kaynaklandığı için Kantçı yaklaşımda 'niyet' ve 'ahlaki değer' kavramlarıyla paralellik göstermektedir. Çünkü Kant'a göre bir eylemin ahlaki değeri sonucundan ziyade, eylemin hangi niyet ekseninde gerçekleştirildiği ile ilişkilidir.

Vektör filmin diğer kötü karakteridir. Fakat iki kötü arasında temel bir fark vardır: Gru ahlaki bir dönüşüm yaşarken, Vektör'ün eylemlerinde haz, çıkar, şöhret, üstünlük kurma arzusu ve kişisel tatmin söz konusudur. Vektör'ün piramidi çalması kolektif bir değerin kişisel çıkar ve ün kazanma amacıyla bir araç olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu durum, evrensel bir değer olan piramidin kişisel çıkarlara bağımlı kılındığını ve ahlaki değerin göz ardı edildiğini göstermektedir. Bu da Kant'ın ahlak anlayışındaki 'ahlaki değer' ve 'sorumluluk' kavramlarıyla ilişkilendirilebilir. Kant yaklaşımında, bir eylem haz ve çıkar duyguları temelinde gerçekleştiriliyorsa bu eylem ödev bilinci ile gerçekleştirilmediği için ahlaki yasaya uygun değildir. Film boyunca Vektör'ün eylemleri Gru'ya karşı üstünlük kurma mücadelesi çerçevesinde şekillenmiştir. Kant ahlakında değerlendirildiğinde, 'amaç ilkesi' ihlaline bir örnektir. Çünkü amaç ilkesi, bireyleri bağımsız ve değerli özneler olarak tanımlamaktadır. Fakat bu noktada karakter, bireyleri birer rekabet nesnesi olarak görmektedir.

Eylemlerinin kaynağı ödev ahlakı değil, haz ve ego temelli güdülerdir. Vektör, filmin sonlarına doğru Gru'nun davranışlarını kontrol altında tutabilmek için kızları kaçırır. Vektör'ün bu eylemindeki amacı, Gru'yu zor durumda bırakmak olduğu için Kantçı yaklaşımda 'niyet', 'ahlaki değer' ve 'insanı amaç olarak görme' ilkelerinden söz etmek mümkündür. Çünkü Vektör için kızlar sadece birer araçtır ve onların güvenliğini, mutluluğunu ve duygularını önemsemez.

Filmin son sahnesinde, Gru sonunda Ay'ı çalar fakat Vektör kızları kaçırır. Vektör, kızlara karşılık Ay'ı ister. Gru, kızları önceler. Gru, kızları kurtarmak için Ay'ı verir. Böylece dünyanın en büyük kötüsü olma hayalinden vazgeçer. Gru'nun Ay'ı vermesi Kant felsefesinde güç, ün ve çıkar duygusundan arındığını gösterir. Bu arınma, ahlaki açıdan doğru olan eylemi gerçekleştirdiği için 'iyi isteme'; kızları araç olarak görmemesi, onların iyiliğini ve güvenliğini önemsemiş olmasıyla da 'insanı amaç olarak görme' kavramlarıyla doğrudan ilişkilidir.

SONUÇ

Bu çalışma, *Çılgın Hırsız* filminde kötülüğün tek boyutlu ve değişmez bir karşıtlık olarak değil, karakterlerin niyetleri, seçimleri, eylem ilkeleri ve dönüşüm kapasiteleri üzerinden kurulan dinamik bir temsil alanı olarak yapılandırıldığını ortaya koymaktadır. Kant'ın ahlak felsefesi çerçevesinde değerlendirildiğinde filmde kötülük bireyin özgür iradesini ahlak yasası doğrultusunda değil, kişisel çıkar, haz, güç, rekabet ve tanınma arzusu doğrultusunda kullanmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda kötülük, yalnızca dışsal bir tehdit ya da cezalandırılması gereken bir davranış biçimi olarak değil, bireyin ahlaki sorumluluktan uzaklaşmasının ve başkalarını kendi amaçları için araçsallaştırmasının sonucu olarak anlam kazanmaktadır.

Filmde iyilik ve kötülük karşıtlığı, klasik anlatılarda sıkça görülen keskin ve değişmez karakter ayrımlarının ötesinde, ahlaki tercihlerin belirleyiciliği üzerinden kurulmaktadır. Bu yönüyle anlatı, kötülüğün sabit bir öz ya da doğuştan gelen değişmez bir nitelik olarak değil, bireyin hangi ilkelere göre eylemde bulunduğuyla ilişkili bir ahlaki konum olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Kantçı etik açısından bakıldığında, ahlaki değeri belirleyen temel unsur eylemin sonucu değil, eylemin hangi niyet ve ilke doğrultusunda gerçekleştirildiğidir. Dolayısıyla filmde karakterlerin ahlaki konumları, sahip oldukları güç ya da başarıyla değil, başkalarının varlığını nasıl anlamlandırdıkları ve kendi iradelerini hangi amaçlar doğrultusunda kullandıklarıyla belirlenmektedir.

Bu değerlendirme çerçevesinde film, ahlaki dönüşümün mümkünlüğüne ilişkin önemli bir anlatı zemini sunmaktadır. Ahlaki dönüşüm, bireyin yalnızca davranışlarını değiştirmesiyle sınırlı değildir aynı zamanda başkasını araç olarak görmekten vazgeçerek onu kendi başına değerli bir amaç olarak kabul etmesiyle gerçekleşmektedir. Bu yönüyle film, Kant'ın iyi isteme, ödev, özgürlük ve insanı amaç olarak görme ilkeleriyle ilişkilendirilebilecek etik bir dönüşüm fikrini görünür kılmaktadır. Buna karşılık dönüşüme kapalı kötülük temsili, bireyin kendi çıkarlarını, hazlarını ve üstünlük arzusunu ahlaki sorumluluğun önüne koyduğu durumda ortaya çıkan heteronom iradeyi temsil etmektedir.

Çalışmanın ulaştığı temel sonuçlardan biri, animasyon sinemasında kötülük temsilinin çocuk izleyici açısından yalnızca dramatik çatışma yaratan bir unsur olmadığıdır. Kötülük, anlatı içerisinde karakterlerin eylemlerini sorgulamaya açan, iyi-kötü ayrımını düşünsel bir zemine taşıyan ve etik muhakeme sürecini harekete geçiren bir yapı olarak işlev görmektedir. Bu nedenle *Çılgın Hırsız,* çocuk izleyiciye doğrudan ve didaktik bir ahlak öğretisi sunmaktan ziyade, karakterlerin özgür iradeye dayalı ahlaki seçimleri ve dönüşüm süreçleri üzerinden 'ödev bilinci', 'iyi isteme' ve 'insanı amaç olarak görme' gibi temel etik ilkeleri sorgulama imkânı tanımaktadır. Bu yönüyle çocuk izleyici, pasif bir alıcı konumundan çıkarak kendi ahlaki muhakeme süreçlerini etkin biçimde yapılandırabilmekte; karakterlerin eylemlerini etik açıdan değerlendirerek iyi-kötü arasında mantıksal çıkarımlar yoluyla bir yargı geliştirebilmektedir. Böylece film, çocuklara yönelik animasyonların yalnızca eğlence odaklı yapımlar olmadığını, aynı zamanda değerler, sorumluluk, özgür irade ve başkasının varlığını tanıma gibi etik meseleleri tartışmaya açabilen pedagojik ve dinamik birer anlatı süreci olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak *Çılgın Hırsız*, kötülüğün Kantçı etik bağlamında yalnızca cezalandırılması gereken bir karşıtlık olarak değil, özgür irade, iyi isteme, ödev bilinci ve ahlaki dönüşüm kavramları üzerinden

tartışılabilecek çok katmanlı bir temsil alanı sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, çocuklara yönelik animasyon filmlerinde kötülük, etik temsil ve ahlaki dönüşüm ilişkisini tartışmaya açarak hem çocuk sineması çalışmalarına hem de medya okuryazarlığı bağlamındaki etik değerlendirmelere katkı sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Akarsu, B. (1999). *Immanuel Kant'ın Ahlak Felsefesi.* (4.Basım). İstanbul: İnkılap Kitabevi.

Canpolat, M. (2023). *Kötülük Felsefesi Bağlamında Kant Felsefesinde Radikal Kötülük Anlayışı.* (Yüksek Lisans Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Cevizci, A. (1999). *Felsefe Sözlüğü.* (3.Basım). İstanbul: Paradigma Yayınları.

Güneş, F. (2024). *Kant'ta Cezanın Amacı Ahlak ve Hukuk Felsefesi Çerçevesinde Bir Soruşturma.* İstanbul: Onikilevha Yayıncılık.

Hançerlioğlu, O. (1989). *Felsefe Sözlüğü* (Geliştirilmiş ve Genişletilmiş Yeni Basım). İstanbul: Remzi Kitabevi.

Kant, I. (2002). *Ahlak Metafiziğinin Temellendirilmesi* (İ. Kuçuradi, Çev.). Türkiye Felsefe Kurumu Yayınları. (Orijinal eser 1785'te yayımlanmıştır).

Küçükyavuz, A. (2019). *Kötülük Problemi ve Modern Dönem Tasarım Delili.* (Yüksek Lisans Tezi). Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü

Öktem, Ü. (2018). *Platon Felsefesinde Kötülük Problemi,* DTCF Dergisi, 58(1), 641-661.

Özdemir, M.(1998). *İslam Kelamı'nda Kötülük Problemi*. (Doktora Tezi). Ankara:Ankara Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Şahin, N. (2004). *Hegel Felsefesinde Kötülük Problemi.* Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi 45(1), 71-83.

Taşabat, M. (2021). *Kötülük ve Kötülük Sorunu Üzerine Kısa Bir Bakış.* Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6(1), 41-55.

Urhan, V. (2002). *Leibniz ve Kötülüğün Kaynağı.* Felsefe Dünyası, 36, 141-145.

Yasa, M. (2014). *Tanrı ve Kötülük.* (2. Basım). Ankara: Elis Yayınları.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

TÜRKİYE MÜZECİLİK TARİHİNDE ARA GÜLER MÜZESİNİN ROLÜ [1] [2]

Bahar GÜVEN

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Bölümü, Van, Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0009000624559548

Doç. Dr. Aslı ERCİYEŞ TOSUN

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Sahne Sanatları Bölümü, Van, Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0000000240007202

ÖZET

Müzeler, toplumların geçmişine ait kültürel değerleri koruyan ve bunları gelecek nesillere aktaran önemli kurumlardır. Türkiye'de müzecilik faaliyetleri uzun yıllar boyunca daha çok arkeoloji ve etnografya alanlarında gelişim göstermiştir. Ancak son yıllarda sanat, fotoğraf ve görsel kültür alanında faaliyet gösteren müzelerin sayısında artış yaşanmaktadır. Bu kapsamda 2018 yılında açılan Ara Güler Müzesi, Türkiye'de fotoğraf merkezli müzecilik anlayışının gelişmesi açısından dikkat çeken kurumlardan biri olmuştur. Müze, yalnızca Ara Güler'in eserlerini sergileyen bir yapı değil; aynı zamanda görsel hafızanın korunmasına katkı sağlayan arşiv merkezi niteliği taşımaktadır. Bu çalışmada, Ara Güler Müzesinin Türkiye müzecilik tarihindeki yeri ve fotoğraf müzeciliğine sağladığı katkılar incelenmiştir. Ayrıca müzenin kültürel mirasın korunması, arşivleme çalışmaları ve görsel belleğin aktarılmasındaki rolünün değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada nitel araştırma yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye'de müzecilik alanında yapılmış akademik çalışmalar ile Ara Güler Müzesi'nin resmî internet sitesinde yer alan bilgiler incelenmiştir. Bunun yanında müzenin sergi anlayışı, dijital arşiv faaliyetleri ve kültürel mirasa yönelik çalışmaları doküman analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada Ara Güler Müzesinin, Türkiye'de fotoğraf sanatının müzecilik alanında daha görünür hale gelmesine katkı sağladığı görülmüştür. Müzenin sahip olduğu fotoğraf arşivi ve dijital koruma çalışmaları sayesinde görsel kültürel mirasın korunmasına destek verdiği anlaşılmıştır. Düzenlenen sergiler ve etkinliklerle farklı disiplinlerden araştırmacıları ve sanatseverleri bir araya getirdiği görülmektedir. Aynı zamanda müzenin çağdaş müzecilik anlayışına uygun uygulamalarıyla Türkiye'de özel müzeciliğin gelişimine katkıda bulunduğu söylenebilir. Sonuç olarak Ara Güler Müzesi, Türkiye'de fotoğraf müzeciliğinin gelişiminde önemli bir yere sahip olan kurumlardan biridir. Müze, yalnızca bir sergi alanı olarak değil; kültürel hafızanın korunması, dijital arşivleme çalışmalarının yaygınlaşması ve görsel kültürün gelecek kuşaklara aktarılması açısından da önemli işlevler üstlenmektedir. Bu yönüyle değerlendirildiğinde Ara Güler Müzesi'nin, Türkiye'de çağdaş müzecilik anlayışı, fotoğraf sanatının kurumsallaşması ve belgesel fotoğrafın gelişimine katkı sağlayan önemli kültürel yapılardan biri olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Müzecilik, Ara Güler Müzesi, Fotoğraf Müzeciliği, Görsel Bellek

[1]Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından SYL-2025-12558 numaralı proje kapsamından desteklenmiştir.

[2]Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat ve Tasarım Anasanat Dalı'nda Doç. Dr. Aslı ERCİYEŞ TOSUN danışmanlığında Bahar Güven tarafından yazılan ''Fotoğraf Arşivleri ve Müzelerdeki Kullanımı: İstanbul Müze Örnekleri'' başlıklı Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

THE ROLE OF THE ARA GÜLER MUSEUM IN THE HISTORY OF MUSEOLOGY IN TURKEY [1] [2]

ABSTRACT

Museums are important institutions that preserve the cultural values belonging to societies' pasts and transmit them to future generations. In Türkiye, museum activities developed for many years mainly in the fields of archaeology and ethnography. However, in recent years, the number of museums operating in the fields of art, photography, and visual culture has been increasing. In this context, the Ara Güler Museum, opened in 2018, has become one of the noteworthy institutions in terms of the development of a photography-centered museology approach in Türkiye. The museum is not only a structure exhibiting Ara Güler's works, but also an important archive center contributing to the preservation of visual memory. This study examines the place of the Ara Güler Museum in the history of museology in Türkiye and its contributions to photography museology. In addition, it aims to evaluate the museum's role in preserving cultural heritage, archival studies, and the transmission of visual memory. A qualitative research method was preferred in the study. Within the scope of the research, academic studies conducted in the field of museology in Türkiye and the information available on the official website of the Ara Güler Museum were examined. In addition, the museum's exhibition approach, digital archive activities, and studies related to cultural heritage were evaluated through the document analysis method. The study found that the Ara Güler Museum contributes to making the art of photography more visible within the field of museology in Türkiye. It was understood that the museum supports the preservation of visual cultural heritage through its photographic archive and digital preservation efforts. Through the exhibitions and events organized, it is seen to bring together researchers and art enthusiasts from different disciplines. At the same time, it can be said that the museum contributes to the development of private museology in Türkiye through practices compatible with the contemporary understanding of museology. As a result, the Ara Güler Museum is one of the institutions that holds an important place in the development of photography museology in Türkiye. The museum functions not only as an exhibition space, but also plays significant roles in the preservation of cultural memory, the dissemination of digital archiving practices, and the transmission of visual culture to future generations. From this perspective, the Ara Güler Museum can be considered one of the important cultural institutions contributing to the contemporary understanding of museology in Türkiye, the institutionalization of the art of photography, and the development of documentary photography.

Keywords: Museology, Ara Güler Museum, Photography Museology, Visual Memory

GİRİŞ

Müzeler, toplumların tarihsel süreç içerisinde oluşturduğu maddi ve manevi kültürel mirası koruyan, araştıran, belgeleyen ve gelecek kuşaklara aktaran önemli kültürel kurumlardır. Günümüzde müzeler yalnızca eserlerin sergilendiği mekânlar değil; eğitim, araştırma ve kültürel iletişim faaliyetleriyle toplumsal hafızanın korunmasını destekleyen kuruluşlar olarak değerlendirilmektedir. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı müzeyi, insanlığın somut ve somut olmayan kültürel mirasını bilimsel yöntemlerle araştıran, koruyan ve sergileyen kamuya açık, kâr amacı gütmeyen sürekli kurumlar olarak tanımlamaktadır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2026). Benzer şekilde ICOM da müzeleri kültürel mirası

[1]This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Van Yüzüncü Yıl University within the scope of project no. SYL-2025-12558.

[2] This study was prepared by benefiting from the Master's thesis titled "Photo Archives and Their Use in Museums: Examples from Istanbul Museums", written by Bahar Guven under the supervision of Assoc. Prof. Dr. Aslı ERCIYES TOSUN at the Department of Art and Design, Institute of Social Sciences, Van Yüzüncü Yıl University.

araştıran, koruyan, yorumlayan ve toplum yararına erişilebilir biçimde sergileyen kurumlar olarak tanımlamaktadır (ICOM, 2022).

Müzeciliğin tarihsel kökenleri koleksiyonculuk faaliyetlerine dayanmaktadır. Tarih boyunca insanlar dini, sanatsal ve tarihsel değere sahip nesneleri koruma eğilimi göstermiş, bu durum zamanla sistemli koleksiyonların ve müzelerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Gökçe, 2024, s. 60). Anadolu'da müzeciliğin ilk örnekleri Selçuklu dönemine kadar uzanmakta, Osmanlı döneminde ise kültürel mirasın korunması daha çok saray koleksiyonları aracılığıyla sürdürülmüştür. Fatih Sultan Mehmet ve Yavuz Sultan Selim dönemlerinde zenginleşen saray koleksiyonları, ilerleyen yıllarda gelişecek müzecilik anlayışının temelini oluşturmuştur (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2026; Süslü ve Çavuşoğlu, 2022).

Türkiye'de modern müzeciliğin başlangıcı 19. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Ahmet Fethi Paşa'nın girişimleriyle 1846 yılında Aya İrini Kilisesi'nde oluşturulan Müzehane-i Hümayun, Osmanlı Devleti'nde kurumsal müzeciliğin ilk örneği olarak kabul edilmektedir (Süslü ve Çavuşoğlu, 2022). Müze kavramı resmî olarak 1869 yılında kullanılmaya başlanmış, Avrupa'daki uygulamalardan etkilenilerek koleksiyonların korunması ve sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Süslü ve Çavuşoğlu, 2022; Shaw, 2003).

Türk müzeciliğinin gelişiminde en önemli isimlerden biri Osman Hamdi Bey'dir. 1881 yılında Müze-i Hümayun müdürlüğüne getirilen Osman Hamdi Bey, arkeolojik eserlerin korunmasına yönelik yasal düzenlemeler gerçekleştirmiş, bilimsel kazıları desteklemiş ve müzeciliğin kurumsal yapısını güçlendirmiştir. Onun çalışmaları sayesinde müzecilik faaliyetleri bilimsel bir nitelik kazanmış ve Osmanlı topraklarındaki kültürel mirasın korunmasına yönelik önemli adımlar atılmıştır (Shaw, 2003; Süslü ve Çavuşoğlu, 2022). Cumhuriyet döneminde ise müzeler, kültürel mirasın korunmasının yanı sıra ulusal kimliğin oluşturulmasında da önemli kurumlar hâline gelmiştir. Atatürk'ün öncülüğünde Topkapı Sarayı'nın müzeye dönüştürülmesi, Ankara Etnografya Müzesi'nin açılması ve Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nin geliştirilmesi gibi önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Süslü ve Çavuşoğlu, 2022; Shaw, 2003).

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren çağdaş müzecilik anlayışı yaygınlaşmış, özellikle 1980 sonrasında özel müzelerin kurulmasıyla müzecilik alanında önemli bir çeşitlilik ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin ilk özel müzesi olan Sadberk Hanım Müzesi bu dönüşümün öncü örneklerinden biridir. Günümüzde dijital arşivleme, eğitim faaliyetleri ve ziyaretçi odaklı uygulamalar müzeciliğin temel unsurları arasında yer almakta; fotoğraf müzeleri ve arşiv merkezleri görsel kültürel mirasın korunmasında önemli roller üstlenmektedir (Gökçe, 2024; ICOM, 2022). Bu gelişmeler doğrultusunda Ara Güler Müzesi, fotoğraf temelli müzecilik anlayışının Türkiye'deki önemli temsilcilerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Fotoğraf, ortaya çıktığı 19. yüzyıldan itibaren yalnızca teknik bir görüntü üretim aracı olarak değil, aynı zamanda toplumsal hafızanın oluşturulması ve kültürel mirasın belgelenmesi açısından da önemli bir araç olarak değerlendirilmiştir. Tarihsel olayların, kentlerin, mimari yapıların ve gündelik yaşamın kayıt altına alınmasına olanak sağlayan fotoğraf, zamanla arşivcilik, sanat tarihi ve müzecilik çalışmalarının önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Yenici, 2020, s. 563). Özellikle belgesel fotoğrafçılık alanında üretilen çalışmalar, toplumların geçmişine ilişkin görsel verilerin korunmasına katkı sağlayarak kültürel belleğin oluşumunda etkili bir rol üstlenmektedir (İsmet, 2021, s. 40).

Fotoğrafın Osmanlı Devleti'ne ulaşması icadından kısa bir süre sonra gerçekleşmiştir. 19. yüzyılın ortalarından itibaren İstanbul başta olmak üzere imparatorluğun çeşitli şehirlerinde fotoğraf stüdyoları kurulmaya başlanmıştır. Özellikle Sébah ve Joaillier gibi stüdyolar, Osmanlı kent yaşamını, mimari yapıları ve toplumsal yaşamı belgeleyen önemli görsel kayıtlar üretmiştir. Bu çalışmalar yalnızca dönemin sosyal ve kültürel yapısını yansıtmakla kalmamış, aynı zamanda Osmanlı coğrafyasının uluslararası alanda tanınmasına da olanak sunmuştur (Middlebury College Museum of Art, 2023).

Türkiye'de fotoğraf, uzun yıllar boyunca tarihsel olayların, toplumsal yaşamın ve kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılan önemli bir görsel kayıt aracı olarak değerlendirilmiştir. Buna rağmen fotoğrafın bağımsız bir müzecilik alanı olarak kurumsallaşması oldukça geç gerçekleşmiştir. Uzun yıllar

boyunca fotoğraf koleksiyonları sanat müzeleri, arşivler ve kültürel miras kurumları bünyesinde korunmuş; fotoğraf eserleri çoğunlukla arkeoloji, sanat tarihi ve çağdaş sanat koleksiyonlarının bir parçası olarak değerlendirilmiştir (Posocco, 2018). Ancak görsel kültür çalışmalarının gelişmesi ve fotoğrafın kültürel belleğin aktarımındaki rolünün daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, fotoğraf odaklı koleksiyonların korunmasına ve sergilenmesine yönelik çalışmalar da artış göstermiştir (Yenici, 2020, s. 563).

Türkiye'de fotoğraf müzeciliğinin gelişiminde İstanbul Fotoğraf Müzesi önemli bir yere sahiptir. Fotoğraf sanatına odaklanan ilk kurumsal yapılardan biri olarak kabul edilen müze, sergiler, eğitim programları, yayın faaliyetleri ve arşiv çalışmaları aracılığıyla Türk fotoğraf tarihinin korunmasına katkı sağlamıştır. Bununla birlikte son yıllarda fotoğrafın yalnızca sanatsal bir üretim alanı değil, aynı zamanda kültürel mirasın belgelenmesi ve görsel belleğin korunması açısından da mühim bir unsur olarak değerlendirilmesi, fotoğraf müzeciliğine yönelik ilgiyi artırmıştır. Bu süreç içerisinde Ara Güler Müzesi gibi kurumlar, fotoğraf arşivlerinin korunması, araştırılması ve gelecek kuşaklara aktarılması bakımından önemli işlevler üstlenmektedir (Ara Güler Müzesi, t.y.).

2000'li yıllardan itibaren Türkiye'de müzecilik alanında yaşanan çeşitlenme, fotoğraf müzeciliğine de yansımıştır. Özellikle özel müzelerin sayısındaki artış, fotoğrafın bağımsız bir kültürel ve sanatsal alan olarak daha görünür hâle gelmesine katkıda bulunmuştur. Bu dönemde fotoğraf arşivlerinin korunması, dijitalleştirilmesi ve araştırmacıların erişimine açılması yönünde çeşitli çalışmalar yürütülmüştür (Posocco, 2018). Böylece fotoğraf yalnızca estetik bir üretim alanı olarak değil, aynı zamanda kültürel mirasın korunmasına hizmet eden önemli bir belge türü olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

Türkiye'de fotoğraf müzeciliğinin gelişiminde Ara Güler Müzesi'nin kurulması dönüm noktalarından biri olmuştur. Türk fotoğrafçılığının en önemli isimlerinden biri olan Ara Güler, 16 Ağustos 1928 tarihinde İstanbul'da doğmuştur. Foto muhabirliği, belgesel fotoğrafçılık ve görsel tarih alanlarında ortaya koyduğu çalışmalar sayesinde yalnızca Türkiye'de değil, uluslararası fotoğraf çevrelerinde de tanınan bir sanatçı hâline gelmiştir (Eryılmaz, 2017, s. 215). Özellikle İstanbul'u konu alan fotoğrafları nedeniyle "İstanbul'un Gözü" olarak anılan Ara Güler, fotoğrafı estetik bir üretimden çok tarihsel ve toplumsal gerçekliğin belgelenmesi aracı olarak değerlendirmiştir (Özdamar Akarçay, 2023, s. 82).

Gençlik yıllarında sinema ve tiyatro ile ilgilenen Güler, gazetecilik mesleğine yöneldikten sonra fotoğrafçılığı profesyonel olarak sürdürmeye başlamıştır. 1950 yılında Yeni İstanbul gazetesinde çalışmaya başlaması, onun foto muhabirliği kariyerinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Eryılmaz, 2017, s. 215). Daha sonraki yıllarda Hayat, Time, Life, Paris Match ve Stern gibi uluslararası yayın kuruluşları için çalışmış, böylece Türkiye'nin uluslararası alanda tanınan ilk foto muhabirlerinden biri olmuştur (Ara Güler Müzesi, t.y.).

Ara Güler kendisini bir sanatçıdan çok foto muhabiri olarak tanımlamıştır. Ona göre fotoğraf, yaşanan olayların ve toplumsal gerçekliğin görsel olarak kayıt altına alınmasıdır. Bu nedenle fotoğraflarında kurgu yerine gerçek yaşamı, gündelik hayatı ve insan hikâyelerini ön plana çıkarmıştır (İsmet, 2021, s. 40). Özellikle İstanbul'un dönüşüm sürecini belgeleyen çalışmaları, kentin kültürel hafızasının oluşmasında kaynak niteliği taşımaktadır (Yenici, 2020, s. 563).

Ara Güler'in fotoğraf anlayışında Henri Cartier-Bresson'un önemli bir etkisi bulunmaktadır. Fotoğraf tarihinde "karar anı" kavramıyla tanınan Bresson'un yaklaşımı, Güler'in fotoğraf üretiminde de etkili olmuştur. Her iki fotoğrafçı da gündelik yaşamın sıradan görünen anlarını toplumsal bir belge niteliğinde değerlendirmiş ve fotoğrafı gerçekliğin doğrudan kaydı olarak görmüştür. Bu anlayış doğrultusunda Ara Güler, fotoğrafın teknik müdahalelerden uzak, doğal ve belge niteliği taşıyan bir yapıda olması gerektiğini savunmuştur (Yenici, 2020, ss. 563-565).

Kariyeri boyunca Türkiye'nin yanı sıra dünyanın farklı bölgelerinde çalışmalar gerçekleştiren Ara Güler; Nemrut Dağı, Afrodisias ve Anadolu'nun çeşitli kültürel miras alanlarını fotoğraflayarak bu değerlerin uluslararası düzeyde tanınmasında etkili olmuştur. Bertrand Russell, Yaşar Kemal, Pablo Picasso, Salvador Dali, Fikret Mualla ve Füreya Koral gibi birçok önemli isimle röportajlar gerçekleştirmiş ve

onların portrelerini fotoğraflamıştır. İstanbul ile özdeşleşen fotoğraflarının yanı sıra Türkiye'nin ve dünyanın farklı coğrafyalarında ürettiği çalışmalarla uluslararası alanda tanınan bir fotoğrafçı hâline gelmiştir. Fotoğrafçılık alanındaki çalışmaları sayesinde çok sayıda ulusal ve uluslararası ödüle layık görülmüş, eserleri dünyanın farklı ülkelerinde sergilenmiştir (Ara Güler Müzesi, t.y.; Ara Güler, 2024).

Belgesel fotoğrafçılığın Türkiye'deki en önemli temsilcilerinden biri olarak kabul edilen Ara Güler, 17 Ekim 2018 tarihinde İstanbul'da hayatını kaybetmiştir. Ardında bıraktığı kapsamlı fotoğraf arşivi ve görsel miras, günümüzde Ara Güler Müzesi ve Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi aracılığıyla korunmakta ve araştırmacıların erişimine sunulmaktadır (Ara Güler Müzesi, t.y.).

Ara Güler Müzesi, Ara Güler ile Doğuş Grubu arasında gerçekleştirilen iş birliği sonucunda kurulmuştur. Müze, Ara Güler'in 90. doğum günü olan 16 Ağustos 2018 tarihinde İstanbul'daki Bomontiada yerleşkesinde, sanatçının da katılımıyla ziyaretçilere açılmıştır (Qatar Museums, 2024). Açılışta düzenlenen Islık Çalan Adam sergisi, Ara Güler'in yaşamı, üretim süreci ve arşiv çalışmalarını ziyaretçilerle buluşturarak müzenin temel yaklaşımını ortaya koymuştur (Ara Güler Müzesi, t.y.).

Müzenin temel misyonu, Ara Güler'in çok yönlü sanatsal kimliğini, yaşam öyküsünü ve zengin arşivini geniş kitlelerle paylaşmaktır. Bu doğrultuda müze; sergiler, yayınlar, kültürel etkinlikler ve uluslararası iş birlikleri aracılığıyla fotoğraf sanatının görsel, toplumsal ve kültürel etkilerini görünür kılmayı amaçlamaktadır. Ara Güler Müzesi, 2022 yılında T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından resmî özel müze statüsü kazanmış ve Uluslararası Müzeler Konseyi (ICOM) üyeliğine kabul edilmiştir (Qatar Museums, 2024).

Müzenin en önemli bileşenlerinden biri olan Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi, Ara Güler ve Doğuş Grubu iş birliğiyle 2016 yılında kurulmuştur. Merkezin temel amacı, Ara Güler'in yaşamı boyunca oluşturduğu arşivi özgün yapısını koruyarak gelecek nesillere aktarmaktır. Arşiv koruma çalışmaları ilk olarak 2017 yılında, Ara Güler'in uzun yıllar yaşadığı ve arşivini muhafaza ettiği Galatasaray'daki Güler Apartmanı'nda başlamıştır. Daha sonra Bomontiada'ya taşınan merkez, çağdaş müzecilik ve arşivcilik standartları doğrultusunda özel olarak tasarlanmıştır (Ara Güler Müzesi, t.y.).

Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi koleksiyonunda fotoğraf arşivinin yanı sıra fotoğraf makineleri, karanlık oda ekipmanları, günlükler, kitaplar, yazışmalar, mektuplar, kişisel eşyalar ve sanat eserleri de bulunmaktadır. Bu nedenle merkez, yalnızca bir fotoğraf arşivi değil, aynı zamanda Türkiye'nin yakın dönem kültürel ve toplumsal tarihine ilişkin önemli veriler barındıran bir araştırma merkezi niteliği taşımaktadır (Ara Güler Müzesi, t.y.). Merkezde yürütülen dijitalleştirme, indeksleme, sınıflandırma, koruma ve restorasyon çalışmaları sayesinde arşiv materyalleri sürdürülebilir biçimde muhafaza edilmektedir. Ayrıca araştırmacıların arşive erişimini kolaylaştırmak amacıyla çevrim içi erişim sistemleri üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi, bu çalışmaları nedeniyle 2018 yılında T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Özel Ödülü'ne layık görülmüştür (Qatar Museums, 2024).

Ara Güler Müzesi yalnızca geçmişe ait bir mirası koruyan kurum olarak değil, aynı zamanda güncel kültürel üretime katkı sağlayan dinamik bir müze olarak faaliyet göstermektedir. Bunun önemli örneklerinden biri, 2024 yılında Katar Müzeleri iş birliğiyle Doha İslam Sanatları Müzesi'nde gerçekleştirilen "Ara Güler'in İzinde: Fotoğrafçının Mirasını Keşfetmek" sergisidir (Qatar Museums, 2024). Söz konusu sergide Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi'nden seçilen 155 fotoğrafın yanı sıra mektuplar, fotoğraf ekipmanları ve çeşitli arşiv materyalleri de sergilenmiştir. Sergi, Ara Güler'in yaklaşık yetmiş yıllık üretim sürecini uluslararası ziyaretçilerle buluşturarak müzenin küresel ölçekte görünürlüğünü desteklemiştir

Türkiye'de fotoğraf uzun yıllar sanat müzeleri ve arşiv kurumlarının bir parçası olarak ele alınmıştır. Ara Güler Müzesi ise fotoğrafı bağımsız bir müzecilik konusu olarak merkeze alan kurumlardan biri olması bakımından farklılaşmaktadır. Müzenin arşiv çalışmaları, araştırma faaliyetleri ve uluslararası sergileri, fotoğrafın yalnızca sanatsal bir üretim alanı değil, aynı zamanda korunması gereken bir kültürel miras unsuru olarak ele alınmasına katkıda bulunmuştur. (Posocco, 2018). Müze, sahip olduğu

arşiv, araştırma faaliyetleri, dijital koruma çalışmaları ve uluslararası iş birlikleri sayesinde yalnızca Ara Güler'in mirasını korumamakta, aynı zamanda Türkiye'nin görsel kültürel belleğinin gelecek kuşaklara aktarılmasında da işlev görmektedir (Qatar Museums, 2024; Ara Güler Müzesi, t.y.).

YÖNTEM

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada veri toplama yöntemi olarak dokümantasyon incelemesi yöntemi kullanılmıştır. Araştırmanın temel veri kaynaklarını akademik çalışmalar ile Ara Güler Müzesi ve Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi tarafından yayımlanan kurumsal dokümanlar oluşturmaktadır. Araştırmada amaca yönelik örneklem yöntemi benimsenmiştir. Bu doğrultuda Ara Güler Müzesi'nin kuruluş süreci, koleksiyon yapısı, arşiv faaliyetleri ve sergileri çalışma kapsamına dâhil edilmiştir. Ayrıca müze koleksiyonunda yer alan fotoğraflar arasından İstanbul, Anadolu, portre ve uluslararası çalışmalar temalarını temsil ettiği düşünülen yedi fotoğraf inceleme kapsamına alınmıştır. Amaca yönelik örneklem yönteminin tercih edilmesinde, araştırma konusuyla doğrudan ilişkili ve bilgi açısından verilerin elde edilmesi etkili olmuştur. Çalışmanın fotoğraf analizi bölümünde Ara Güler'e ait seçilen fotoğraflar; konu, kompozisyon, mekân kullanım ve belgesel değer açısından incelenmiştir. Elde edilen bulgular Türkiye'de fotoğraf müzeciliği çerçevesinde yorumlanmıştır.

ARA GÜLER MÜZESİ KOLEKSİYONUNDA YER ALAN FOTOĞRAFLARIN ANALİZİ

İstanbul

Ara Güler'in fotoğraf arşivinde İstanbul önemli bir yer tutmaktadır. Fotoğrafçı, uzun yıllar boyunca kentin gündelik yaşamını, tarihî dokusunu ve değişen kent kimliğini yansıtan çok sayıda fotoğraf üretmiştir. Bu nedenle Ara Güler, ulusal ve uluslararası çevrelerde sıklıkla "İstanbul'un Gözü" olarak anılmıştır (Ara Güler Müzesi, t.y.).



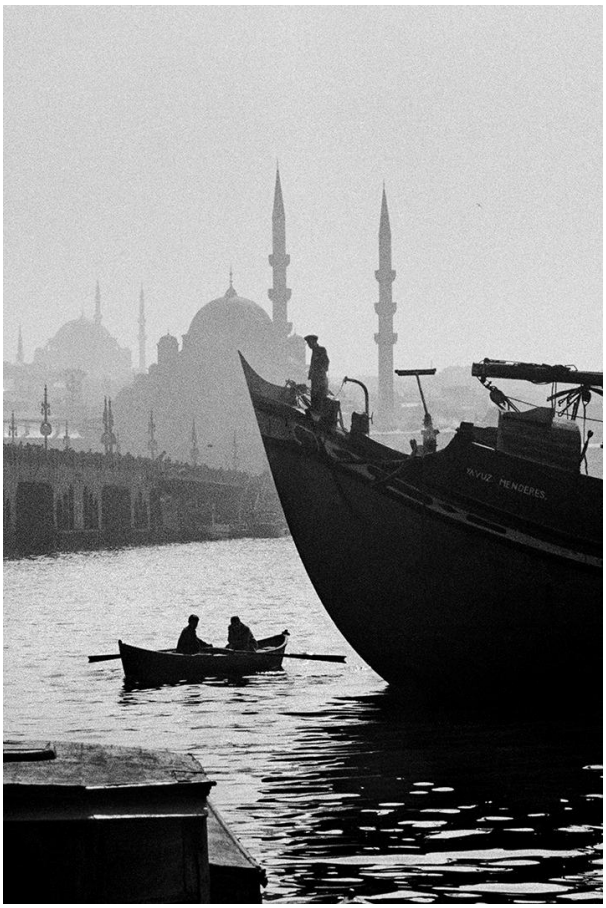
Şekil 1. Karaköy, 1956. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi.

Şekil 1'de yer alan fotoğraf, Ara Güler'in İstanbul'a bakışını yansıtan örneklerden biridir. Fotoğrafta ön planda yürüyen iki insan silueti görüntülenirken arka planda İstanbul'un tarihî kimliğini yansıtan cami ve minareler yer almaktadır. İnsan figürlerinin koyu tonlarda verilmesi ile arka plandaki mimari yapıların sisli atmosfer içerisinde görünmesi, fotoğrafa derinlik kazandırmaktadır.

Fotoğrafın kompozisyonunda insan ve kent unsurları birlikte ele alınmıştır. Ara Güler'in çalışmalarında sıklıkla görülen bu yaklaşım, İstanbul'u yalnızca mimari yapılar üzerinden değil, kentte yaşayan insanlar üzerinden de anlatma çabasını ortaya koymaktadır. Ön plandaki figürlerin hareket hâlinde olması, fotoğrafın durağan bir şehir manzarası olmaktan çıkmasını sağlamakta ve gündelik yaşamın akışını hissettirmektedir.

Siyah-beyaz fotoğraf tekniğinin tercih edilmesi, ışık ve gölge arasındaki ilişkinin daha belirgin hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle su yüzeyindeki yansımalar ve arka plandaki sis, fotoğrafın atmosferini güçlendirmektedir.

Ara Güler'in İstanbul fotoğrafları, kentin belirli yapılarını belgelemekten çok, İstanbul'un ruhunu ve gündelik yaşamını yansıtmayı amaçlamaktadır (Özdamar Akarçay, 2023). Bu fotoğraf da tarihî mimari ile insan yaşamını aynı karede buluşturarak Ara Güler'in belgesel fotoğraf anlayışını ortaya koymaktadır. Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan bu tür fotoğraflar, sanatçının İstanbul'u yalnızca bir mekân olarak değil, yaşayan bir kent olarak ele aldığını göstermektedir.



Şekil 2. Karaköy, 1959. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi.

Şekil 2'de yer alan fotoğraf, Ara Güler'in İstanbul'un gündelik yaşamını ve denizle kurduğu ilişkiyi yansıtmaktadır. Fotoğrafta ön planda büyük bir yük gemisi yer alırken, hemen yanında küçük bir kayık içerisinde bulunan iki insan figürü görülmektedir. Arka planda ise İstanbul'un tarihî siluetini oluşturan cami ve minareler dikkat çekmektedir. Bu farklı unsurların aynı kadraj içerisinde bir araya getirilmesi, İstanbul'un tarihî kimliği ile gündelik yaşamını bütüncül biçimde yansıtmaktadır.

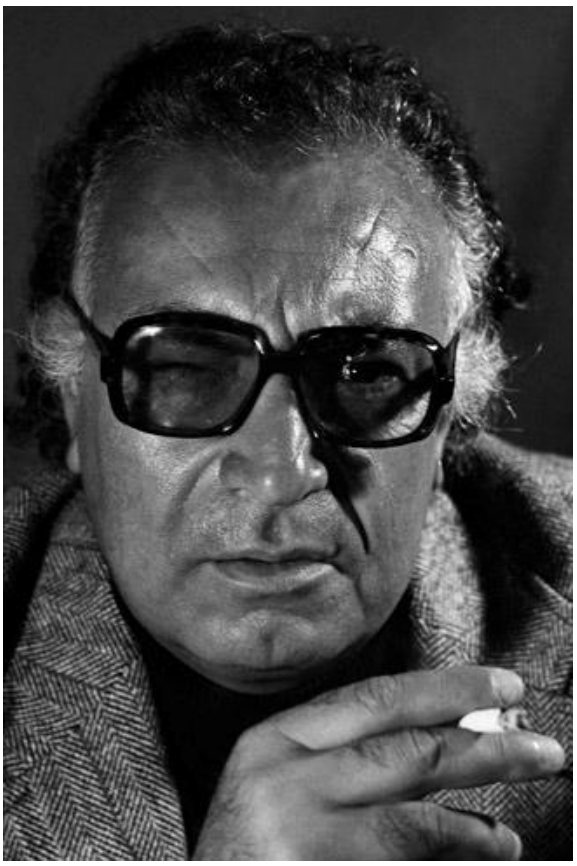
Kompozisyonda büyük gemi ile küçük kayık arasında belirgin bir ölçek farkı bulunmaktadır. Bu karşıtlık fotoğrafın etkisini artırırken, deniz üzerinde sürdürülen gündelik yaşamın farklı boyutlarını da ortaya koymaktadır. Kayıktaki figürlerin su yüzeyine yakın konumlandırılması ve büyük geminin kadrajın önemli bir bölümünü kaplaması güçlü bir mekân algısı oluşturmaktadır.

Fotoğrafta kullanılan siyah-beyaz teknik ve yoğun kontrast, Ara Güler'in İstanbul fotoğraflarında sıklıkla görülen atmosferi yansıtmaktadır. Su yüzeyinde oluşan yansımalar, sisli görünüm ve tarihî yapıların siluet hâlinde verilmesi, fotoğrafın belgesel niteliğini güçlendirmektedir. Bunun yanında liman ve deniz ulaşımına ilişkin unsurlar, İstanbul'un yalnızca tarihî yapılarıyla değil, ekonomik ve toplumsal yaşamıyla da ele alındığını göstermektedir.

Ara Güler'in İstanbul fotoğraflarında kent, çoğu zaman yaşayan bir organizma olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar, ulaşım araçları, çalışma hayatı ve tarihî yapılar aynı görsel anlatının parçaları hâline gelmektedir (Özdamar Akarçay, 2023). Fotoğraf, İstanbul'un denizle kurduğu ilişkiyi ve gündelik yaşamın sürekliliğini göstermesi bakımından Ara Güler'in belgesel yaklaşımını yansıtmaktadır. Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan bu tür çalışmalar, fotoğrafçının İstanbul'u yalnızca tarihî bir mekân olarak değil, gündelik hayatın sürekli devam ettiği dinamik bir kent olarak ele aldığını göstermektedir.

Ünlüler

Ara Güler'in fotoğraf üretiminde portreler dikkat çekmektedir. Sanatçı, fotoğrafı estetik bir üretimden çok yaşamın ve insanın belgelenmesi olarak değerlendirmiş, bu yaklaşımını portre çalışmalarına da yansıtmıştır. Ara Güler, kariyeri boyunca ulusal ve uluslararası alanda tanınan birçok sanatçı, yazar ve düşünce insanını fotoğraflamıştır (Ara Güler Müzesi, t.y.). Müze koleksiyonunda yer alan portre fotoğrafları incelendiğinde, Ara Güler'in yalnızca bireylerin fiziksel görünümlerini değil, kişiliklerini ve yaşam deneyimlerini de yansıtmaya çalıştığı görülmektedir.



Şekil 3. Yaşar Kemal. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi

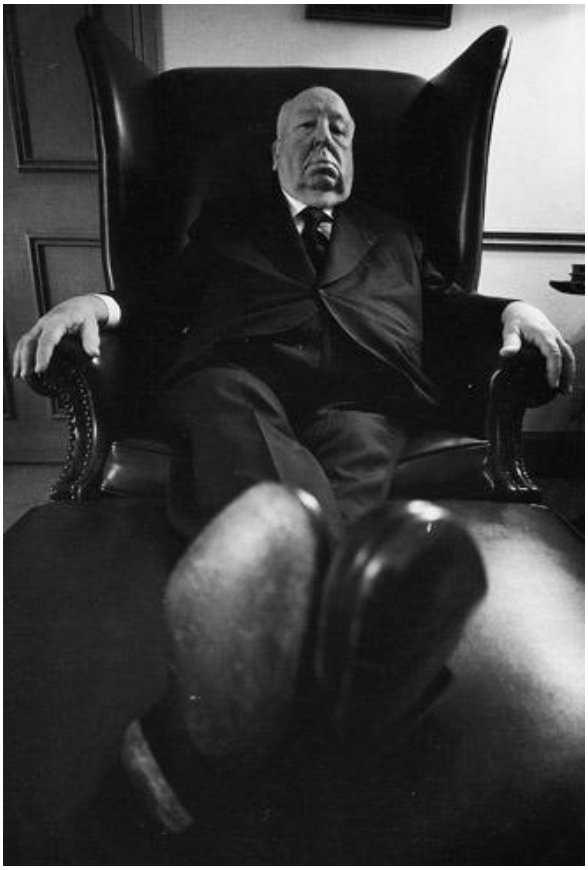
Şekil 3'te yer alan Yaşar Kemal portresi, Ara Güler'in portre anlayışını ortaya koyan örneklerden biridir. Fotoğrafta yakın plan kadraj tercih edilmiş ve izleyicinin dikkati doğrudan Yaşar Kemal'in yüzüne yönlendirilmiştir. Arka planın sade bırakılması, portrenin anlatım gücünü artırırken yüz hatlarının ve mimiklerin daha belirgin biçimde algılanmasını sağlamaktadır. Siyah-beyaz fotoğraf tekniği ile oluşturulan güçlü ışık-gölge kontrastı, fotoğrafın dramatik etkisini artırmakta ve portreye karakteristik bir görünüm kazandırmaktadır.

Ara Güler'in fotoğraf anlayışında insan unsuru merkezi bir konumda yer almaktadır. Fotoğrafçı, portrelerinde kişileri idealize etmekten kaçınmış ve onları gündelik yaşam içerisindeki doğal görünümleriyle yansıtmayı tercih etmiştir. İncelenen fotoğrafta da Yaşar Kemal'in belirli bir poz içerisinde sunulmadığı, aksine doğal görünümüyle kayıt altına alındığı görülmektedir. Özellikle yüz çizgileri, gözlük detayı ve elde bulunan sigara, fotoğrafın belgesel niteliğini güçlendiren unsurlar arasında yer almaktadır.

Ara Güler ve Yaşar Kemal arasındaki uzun yıllara dayanan dostluk, fotoğrafçının yazarı farklı dönemlerde ve çeşitli ortamlarda görüntülemesine olanak sağlamıştır. Bu özellik portrenin yalnızca

teknik açıdan değil, fotoğrafçı ile fotoğrafı çekilen kişi arasındaki ilişkinin yansıması bakımından da değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan Yaşar Kemal portresi, sanatçının insan odaklı fotoğraf anlayışını ve belgesel yaklaşımını yansıtan örneklerden biri olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bu tür portreler, Ara Güler'in yalnızca kentleri ve olayları değil, Türkiye'nin sanat ve edebiyat dünyasında iz bırakmış kişileri de kayıt altına aldığını göstermektedir.



Şekil 4. Alfred Hitchcock. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi.

Şekil 4'te yer alan Alfred Hitchcock portresi, Ara Güler'in uluslararası alanda tanınan sanatçı, yönetmen ve düşünce insanlarını fotoğrafladığı çalışmalar arasında yer almaktadır. Fotoğraf, Ara Güler'in portre anlayışını ve bireyi karakteristik özellikleriyle yansıtma yaklaşımını ortaya koyan dikkat çekici örneklerden biridir.

Fotoğrafta Alfred Hitchcock büyük ve yüksek sırtlıklı bir koltukta otururken görüntülenmiştir. Kadrajın alt kısmında yer alan ayakkabıların ön plana çıkarılması ve çekimin alçak açıdan gerçekleştirilmesi, Hitchcock'un güçlü ve etkileyici bir figür olarak algılanmasını sağlamaktadır. Bu açı tercihi, fotoğrafın yalnızca bir portre olmanın ötesine geçerek psikolojik bir anlatım kazanmasına katkıda bulunmaktadır. Arka planın sade tutulması ise izleyicinin dikkatinin doğrudan portrede yer alan kişiye yönelmesini sağlamaktadır.

Fotoğrafta siyah-beyaz tekniğin tercih edilmesi ve ışık-gölge kullanımındaki denge, portrenin dramatik etkisini artırmaktadır. Özellikle yüz bölgesine yoğunlaşan ışık kullanımı, Alfred Hitchcock'un karakteristik yüz ifadesini belirgin hâle getirmektedir. Ara Güler'in portre çalışmalarında sıklıkla görülen doğal ve abartıdan uzak yaklaşım bu fotoğrafta da hissedilmektedir. Bununla birlikte kullanılan

çekim açısı ve kadraj düzeni, fotoğrafın yalnızca belgesel bir kayıt olmasının ötesinde güçlü bir görsel anlatım oluşturmasına olanak tanımaktadır.

Ara Güler, kariyeri boyunca Pablo Picasso, Salvador Dali, Bertrand Russell ve Alfred Hitchcock gibi uluslararası düzeyde tanınan isimleri fotoğraflamıştır (Ara Güler Müzesi, t.y.). Bu durum, fotoğrafçının yalnızca Türkiye'de değil, uluslararası kültür ve sanat çevrelerinde de önemli bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Müze koleksiyonunda yer alan Alfred Hitchcock portresi de Ara Güler'in dünya çapında tanınan isimlerle gerçekleştirdiği çalışmaların örneklerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda bulunan bu tür portreler, fotoğrafçının uluslararası kariyerini ve portre fotoğrafçılığı alanındaki başarısını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda müzenin yalnızca Türkiye'deki kültürel ve sanatsal çevreleri değil, dünya kültür tarihine yön vermiş kişileri de içeren zengin bir koleksiyona sahip olduğunu göstermektedir.

Keşifler ve Anadolu

Ara Güler'in fotoğraf çalışmalarında Anadolu'nun tarihî ve arkeolojik mirası önemli bir yer tutmaktadır. Fotoğrafçı, kariyeri boyunca Anadolu'nun farklı bölgelerinde gerçekleştirdiği çekimlerle çok sayıda kültürel miras unsurunu belgeleyerek bu eserlerin ulusal ve uluslararası düzeyde tanınmasına katkıda bulunmuştur. Özellikle Afrodisias ve Nemrut Dağı gibi arkeolojik alanlarda gerçekleştirdiği çalışmalar, Ara Güler'in belgesel fotoğrafçılık anlayışının önemli örnekleri arasında gösterilmektedir (Ara Güler Müzesi, t.y.).



Şekil 5. Aphrodisias, Geyre, Aydın. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi.

Şekil 5'te yer alan fotoğrafta antik bir heykel başı ön plana çıkarılmıştır. Kadrajın büyük bölümünü kaplayan heykel, izleyicinin dikkatini doğrudan eser üzerine yönlendirmektedir. Yakın plan çekim tercih edilerek heykelin yüz detayları, taş yüzeyindeki aşınmalar ve zamanın bıraktığı izler görünür hâle getirilmiştir. Arka planda yer alan taş kalıntılar ise eserin bulunduğu tarihî çevre hakkında bilgi vermektedir.

Fotoğrafta kullanılan ışık ve gölge dağılımı, heykelin üç boyutlu yapısını daha belirgin hâle getirmektedir. Gökyüzünün koyu tonları ile açık renkli taş yüzey arasında oluşturulan kontrast, eserin

görsel etkisini artırmaktadır. Bu yaklaşım, fotoğrafın yalnızca bir arkeolojik belge niteliği taşımasını değil, aynı zamanda güçlü bir görsel anlatı oluşturmasını da sağlamaktadır.

Ara Güler'in arkeolojik alanlarda gerçekleştirdiği fotoğraf çalışmaları, tarihî eserleri yalnızca kayıt altına almakla sınırlı kalmamış, aynı zamanda bu eserlerin daha geniş kitleler tarafından tanınmasına da katkı sunmuştur. Fotoğrafçı özellikle Anadolu uygarlıklarına ait kalıntıları uluslararası yayınlarda görünür kılarak Türkiye'nin kültürel mirasının tanıtılmasında etkili olmuştur (Özdamar Akarçay, 2023).

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan bu tür fotoğraflar, sanatçının yalnızca kent yaşamını ve insan hikâyelerini değil, Anadolu'nun tarihî mirasını da belgelediğini göstermektedir. Bu çalışmalar, Ara Güler'in fotoğrafçılığı bir belge üretme aracı olarak gördüğünü ortaya koyan örnekler arasında değerlendirilebilir.



Şekil 6. Kaya Çelebi Camii, Van Kalesi. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi

Şekil 6'da yer alan fotoğraf, Ara Güler'in Anadolu'nun tarihî ve kültürel mirasını belgeleyen çalışmalarına örnek oluşturmaktadır. Fotoğrafta tarihî Kaya Çelebi Camii, Van Kalesi ve onu çevreleyen doğal peyzaj birlikte görüntülenmiştir. Yapının merkezde konumlandırılması, izleyicinin dikkatini doğrudan tarihî esere yönlendirirken çevresindeki geniş coğrafi alan da yapının bulunduğu kültürel çevrenin algılanmasına olanak sağlamaktadır.

Fotoğrafın kompozisyonunda yapı ve doğa arasında dengeli bir ilişki kurulmuştur. Ön planda yer alan geniş arazi, orta bölümde bulunan tarihî yapı ve arka plandaki kale birlikte değerlendirilerek mekânın bütüncül bir görünümü sunulmuştur. Bu yaklaşım, tarihî eserlerin yalnızca tek başına ele alınmadığını, içinde bulundukları coğrafi ve kültürel çevreyle birlikte değerlendirildiğini göstermektedir.

Fotoğrafta kullanılan renkler ve doğal ışık, yapının çevre içerisindeki konumunu daha belirgin hâle getirmektedir. Gökyüzünün açık tonları ile arazi üzerinde görülen sarı ve yeşil renkler arasında oluşan kontrast, fotoğrafın görsel etkisini artırmaktadır. Aynı zamanda geniş açı kullanımı sayesinde yapının çevresindeki doğal ve tarihî unsurlar birlikte görüntülenmiş, Anadolu'nun kültürel peyzajı bütüncül biçimde yansıtılmıştır.

Ara Güler'in Anadolu'ya yönelik fotoğraf çalışmalarında yalnızca arkeolojik eserler değil, bu eserlerin yer aldığı tarihî çevreler de önemli bir yere sahiptir. Fotoğrafçı, Anadolu'nun farklı bölgelerinde gerçekleştirdiği çekimlerde kültürel miras unsurlarını doğal çevreleriyle birlikte belgelemeye özen göstermiştir (Ara Güler Müzesi, t.y.). Bu yaklaşım, tarihî yapıların bulunduğu coğrafyanın da anlatının bir parçası hâline gelmesini sağlamaktadır.

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan bu fotoğraf, sanatçının Anadolu'nun tarihî ve kültürel mirasına yönelik ilgisini ortaya koyan örneklerden biridir. Aynı zamanda tarihî yapıların yalnızca mimari özellikleriyle değil, içinde bulundukları çevreyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösteren belgesel nitelikli çalışmalar arasında yer almaktadır.

Dünyadan Kareler

Ara Güler'in fotoğraf çalışmaları yalnızca Türkiye ile sınırlı kalmamış, dünyanın farklı coğrafyalarında gerçekleştirdiği çekimlerle uluslararası bir boyut kazanmıştır. Fotoğrafçı, meslek hayatı boyunca Avrupa, Orta Doğu, Afrika ve Asya'nın çeşitli bölgelerinde fotoğraf çekmiş; farklı kültürleri, kentleri ve tarihî yapıları belgeleyerek geniş bir görsel arşiv oluşturmuştur (Ara Güler Müzesi, t.y.).



Şekil 3. Mısır. Fotoğraf: Ara Güler © Ara Güler Müzesi

Şekil 7'de yer alan fotoğraf, Mısır'daki Giza Piramitleri'ni göstermektedir. Fotoğrafın merkezinde yer alan piramitler, insanlık tarihinin en önemli mimari yapıları arasında kabul edilmektedir. Ara Güler, bu çalışmasında tarihî yapıları geniş bir çöl manzarası içerisinde ele almış ve yapıların çevreleriyle olan ilişkisini göstermeyi tercih etmiştir.

Kompozisyonda piramitler farklı ölçeklerde kadraja yerleştirilmiş, böylece fotoğrafa derinlik kazandırılmıştır. Ön planda görülen geniş çöl alanı ve uzakta yer alan küçük hayvan figürü, piramitlerin büyüklüğünü ve etkileyiciliğini daha belirgin hâle getirmektedir. Bu yaklaşım, tarihî yapının yalnızca mimari özelliklerine değil, bulunduğu coğrafi çevreye de dikkat çekmektedir.

Fotoğrafta doğal ışığın kullanımı ve açık renk tonlarının hâkimiyeti, çöl atmosferini güçlü biçimde yansıtmaktadır. Ufuk çizgisinde görülen hafif sis etkisi ise mekânsal derinliği artırmaktadır. Ara Güler'in fotoğraf anlayışında görülen belgesel yaklaşım bu çalışmada da hissedilmektedir. Fotoğrafçı, tarihî

yapıyı yalnızca bir turistik unsur olarak değil, bulunduğu coğrafyanın ve kültürel geçmişin bir parçası olarak ele almaktadır.

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan bu tür çalışmalar, sanatçının uluslararası ölçekte gerçekleştirdiği fotoğraf üretimini göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Aynı zamanda fotoğrafçının farklı kültürlere ve medeniyetlere duyduğu ilgiyi ortaya koymakta, Ara Güler'in yalnızca Türkiye'nin değil dünyanın çeşitli bölgelerinin de görsel tanıklarından biri olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Müzeler, kültürel mirasın korunması, belgelenmesi ve gelecek kuşaklara aktarılmasında önemli işlevler üstlenen kurumlardır. Türkiye'de müzecilik faaliyetleri uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak arkeoloji, etnografya ve sanat koleksiyonları üzerinden gelişim göstermiştir. Ancak son yıllarda fotoğrafın bağımsız bir müzecilik alanı olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmaların artmasıyla birlikte fotoğraf odaklı müzeler ve arşiv merkezleri daha görünür hâle gelmiştir.

Bu araştırmada Ara Güler Müzesi'nin Türkiye müzecilik tarihindeki yeri incelenmiş; müzenin kuruluş süreci, koleksiyon yapısı, arşiv faaliyetleri ve fotoğraf müzeciliğine yönelik çalışmaları değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, Ara Güler Müzesi'nin yalnızca bir sergi mekânı olarak faaliyet göstermediği, aynı zamanda fotoğrafın korunması, belgelenmesi ve araştırılması süreçlerinde etkin rol üstlenen bir kurum olduğu görülmüştür. Müze bünyesinde faaliyet gösteren Ara Güler Arşiv ve Araştırma Merkezi'nin, fotoğraf arşivlerinin korunması ve dijital ortama aktarılması konusunda yürüttüğü çalışmalar, çağdaş müzecilik uygulamaları açısından önem arz etmektedir.

Ara Güler Müzesi koleksiyonunda yer alan fotoğrafların incelenmesi sonucunda, sanatçının farklı konu ve coğrafyalara yönelen geniş bir fotoğraf üretimine sahip olduğu görülmüştür. Yaşar Kemal ve Alfred Hitchcock portreleri, Ara Güler'in insan odaklı yaklaşımını ve portre fotoğrafçılığı alanındaki başarısını ortaya koymaktadır. İstanbul fotoğrafları, kentin tarihî dokusu ile gündelik yaşamını bir araya getirirken; Anadolu ve arkeoloji temalı çalışmalar, sanatçının kültürel mirasın belgelenmesine verdiği önemi göstermektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde çekilmiş fotoğraflar ise Ara Güler'in uluslararası ölçekte çalışan bir fotoğrafçı olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, Ara Güler Müzesi'nin Türkiye'de fotoğraf müzeciliğinin gelişim sürecinde özgün bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Müze, fotoğrafı yalnızca sergilenen bir sanat ürünü olarak değil; korunması, araştırılması ve gelecek kuşaklara aktarılması gereken bir belge olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım, fotoğraf müzeciliğinin kurumsallaşmasına yönelik önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Türkiye'de uzun yıllar arkeoloji, etnografya ve geleneksel sanat koleksiyonları etrafında şekillenen müzecilik anlayışı içerisinde Ara Güler Müzesi, fotoğrafı merkeze alan yapısıyla farklı bir konumda yer almaktadır. Bir fotoğrafçının yaşamı, üretimi ve arşivi etrafında şekillenen bu kurum, fotoğraf temelli müzecilik uygulamalarının kurumsallaşmasına katkı sağlayan örneklerden biri olarak değerlendirilebilir. Bu yönüyle müze, Türkiye müzecilik tarihindeki çağdaş müzecilik yaklaşımlarının yansımalarından biri niteliğindedir.

Ara Güler Müzesi, sahip olduğu koleksiyonlar, arşiv çalışmaları, yayın faaliyetleri ve uluslararası iş birlikleriyle Türkiye'de fotoğraf odaklı müzecilik anlayışının gelişimine katkı sunmaktadır. Müzenin yürüttüğü çalışmalar, fotoğrafın kültürel mirasın bir parçası olarak değerlendirilmesine ve korunmasına yönelik farkındalığın artmasına da destek olmaktadır. Bu nedenle Ara Güler Müzesi, Türkiye müzecilik tarihinde yalnızca bir fotoğraf müzesi değil, aynı zamanda fotoğrafın korunması, arşivlenmesi ve kurumsallaşmasına yönelik çalışmaların önemli temsilcilerinden biri olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Ara Güler (2024). Ara Güler. https://araguler.net/tr/index.html Erişim tarihi: 02.06.2026

Ara Güler Müzesi (t.y.). Ara Güler Müzesi. https://aragulermuzesi.com Erişim tarihi: 02.06.2026

Aycil, S. (2026). Ara Güler'in Fotoğraflarının Filatelideki Temsili. İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18(1), 131-145.

Eryılmaz, D. (2017) "Ara Güler'in Öykücülüğü:"Babil'den Sonra Yaşayacağız"." *Kesit Akademi Dergisi* 9: 214-222.

Gökçe, S. F. (2024). Türkiye'deki Müzecilik Anlayışının Sosyolojik Açıdan İncelenmesi. ETÜT Dergisi, 8, 59-68.

International Council of Museums (ICOM). (2022, August 24). Museum definition. https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/ Erişim tarihi: 02.06.2026

İsmet, B. (2021). Fotoğraf Eserinin Temsili Sanat Olarak Tanınma Olanağı. *Politik Ekonomik Kuram, 5*(1), 34-41. https://doi.org/10.30586/ pek.877399

İstanbul Modern. (2019). İki arşiv, bir seçim: Ara Güler'in İstanbul'daki izleri. İstanbul Modern Yayınları.

Kültür ve Turizm Bakanlığı. Müzecilik ve müzeler. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. https://kvmgm.ktb.gov.tr/ Erişim tarihi: 02.06.2026

Kültür ve Turizm Bakanlığı. Türkiye'de müzecilik. Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü. https://kvmgm.ktb.gov.tr/tr-69904/turkiye39de-muzecilik.html. Erişim tarihi: 02.06.2026

Middlebury College Museum of Art. (2023). The light of the Levant: Early photography and the late Ottoman Empire. https://www.middlebury.edu/museum/exhibitions/2023/light-levant-early-photography-and-late-ottoman-empire Erişim tarihi: 02.06.2026

Özdamar Akarçay, G. (2023). Ara Güler: Türkiye'nin görsel vak'a-nüvisi. İçinde O. Berber & V. Marttin (Ed.), Yüzüncü Yıla Armağan (ss. 81–102). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yayınları.

Posocco, L. (2018). Nationalism, politics, and museums in Turkey under the Justice and Development Party (AKP): The case of the Panorama Museum 1453. Contemporary Southeastern Europe, 5(1), 35–55. https://contemporarysee.org/allfiles/documents/80-nationalism-politics-and-museums-in-turkey-under-the-justice-and-development-party-akp-the-case-of-the-panorama-museum-1453.pdf

Shaw, W. M. K. (2003). Possessors and possessed: Museums, archaeology, and the visualization of history in the late Ottoman Empire. University of California Press.

Süslü, M., & Çavuşoğlu, P. P. (2022). Turkısh Museology Outlook: Past, Present & Prospects. Journal of Tourism and Hospitality Management, 10(1), 10-20.

Qatar Museums. (2024). Qatar Museums, in collaboration with the Ara Güler Museum in Istanbul, presents "In the Footsteps of Ara Güler: Exploring the Photographer's Legacy" at the Museum of Islamic Art. https://qm.org.qa/en/press/press-releases/qatar-museums-in-collaboration-with-the-ara-g%C3%BCler-museum-in-istanbul-presents-in-the-footsteps-of-ara-g%C3%BCler-exploring-the-photographers-legacy-at-the-museum-of-islamic-art/ Erişim tarihi: 06.06.2026

Yenici, M. (2020) "Toplumsal Bellek Kaydı Olarak Ara Güler'in Meyhane Fotoğrafları." Art-Sanat, 14: 557–577. https://doi.org/10.26650/artsanat.2020.14.0021

ACCULTURATION OF A NATION: THE ROLE OF ARTISTIC FESTIVALS IN THE CULTURAL REVOLUTION DURING THE PAHLAVI ERA

Assist. Prof. Dr. Baharak TABIBI

Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-5295-9588

ABSTRACT

During the final decade of the Pahlavi Monarchy, Iran underwent a significant social transformation in the realms of arts and culture, facilitated by a series of national and international festivals and scholarly congresses focusing on arts and architecture. These events were organized annually as an integral component of the state's cultural policies aimed at promoting and nurturing the arts. The primary objective of these organizations was to initiate a comprehensive cultural reformation across diverse domains, including archaeology, fine arts (encompassing architecture, painting, and literature), performing arts (incorporating music, opera, drama, dance, theater, and cinema), as well as decorative arts and crafts.

In 1963, the Shah introduced a series of social, cultural, political, and economic reforms through the implementation of the Six-Point Reform Program, which marked the commencement of his 'White Revolution' (the Revolution of the Shah and People). Described as a "rebirth for the [Iranian] nation," this Revolution sought to establish the foundations of a modern society, drawing inspiration from Iran's rich historical and cultural heritage. Within this framework, the festivals were perceived as educational instruments for the Iranian citizenry and professionals, both domestically and internationally.

This presentation endeavors to serve as one of the foundational studies that critically examines the role that artistic festivals played in the process of the nation's attempted acculturation, particularly during the concluding decade of the Pahlavi regime. Although the Shah's "imported" enlightened policies were insufficient in revitalizing Iranian culture and identity, I contend that the nationwide cultural activities were influential in the social transformation of Iranian society. Therefore, the purpose of this research is to trace the intricate interactions between culture and politics, thereby underscoring the significance of culture as a crucial instrument within the political framework of modern Iran.

Anahtar Kelimeler: Cultural Revolution, Shiraz Arts Festival, Pahlavi Art, Shahbanu Farah Pahlavi

BİR ULUSUN KÜLTÜRLEŞMESİ: PEHLEVİ DÖNEMİ KÜLTÜREL DEVRİMDE SANATSAL FESTİVALLERİN ROLÜ

ÖZET

Pehlavi Monarşisi'nin son on yılı boyunca İran, sanat ve kültür alanlarında önemli bir toplumsal dönüşüm geçirmiştir; bu dönüşüm, sanat ve mimarlık üzerine odaklanan bir dizi ulusal ve uluslararası festival ile akademik kongreler aracılığıyla kolaylaştırılmıştır. Bu etkinlikler, sanatları teşvik etmeyi ve geliştirmeyi amaçlayan devletin kültür politikalarının ayrılmaz bir bileşeni olarak her yıl düzenlenmiştir. Bu organizasyonların temel amacı; arkeoloji, güzel sanatlar (mimarlık, resim ve edebiyatı kapsayan), sahne sanatları (müzik, opera, drama, dans, tiyatro ve sinemayı içeren) ile dekoratif sanatlar ve el sanatları gibi çeşitli alanlarda kapsamlı bir kültürel reform başlatmaktı.

1963 yılında Şah, Altı Maddelik Reform Programı'nı uygulamaya koyarak bir dizi sosyal, kültürel, politik ve ekonomik reform başlatmış ve bu durum onun "Beyaz Devrimi"nin (Şah ve Halkın Devrimi) başlangıcını işaret etmiştir. "[İran] ulusu için bir yeniden doğuş" olarak tanımlanan bu devrim, İran'ın

zengin tarihsel ve kültürel mirasından ilham alarak modern bir toplumun temellerini oluşturmayı amaçlamıştır. Bu çerçevede festivaller hem yurtiçinde hem de uluslararası düzeyde İran vatandaşları ve profesyonelleri için eğitici araçlar olarak görülmüştür.

Bu sunum, özellikle Pehlavi rejiminin son on yılı boyunca, sanatsal festivallerin ulusun hedeflenen kültürlenme sürecindeki rolünü eleştirel biçimde inceleyen temel çalışmalardan biri olmayı amaçlamaktadır. Şah'ın "ithal edilmiş" aydınlanmacı politikaları İran kültürünü ve kimliğini canlandırmada yetersiz kalmış olsa da, ülke genelindeki kültürel faaliyetlerin İran toplumunun toplumsal dönüşümünde etkili olduğu ileri sürülmektedir. Bu nedenle bu araştırmanın amacı, kültür ile siyaset arasındaki karmaşık etkileşimleri izlemek ve böylece modern İran'ın politik çerçevesi içinde kültürün kritik bir araç olarak önemini vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: Kültürel Devrim, Şiraz Sanat Festivali, Pehlavi Sanatı, Şahbanu Farah Pehlevi

CARLA SİMÜLATÖRÜNDE GPS'SİZ GÖRSEL TABANLI OTONOM ARAÇ NAVİGASYONU

GPS-FREE VISION-BASED AUTONOMOUS VEHICLE NAVIGATION IN CARLA SIMULATOR

Orhun ONAR

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, Buca, İzmir, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-8133-4703

Prof. Dr. Yavuz ŞENOL

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Buca, İzmir, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Telekomünikasyon Anabilim Dalı, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3686-5597

Asst. Prof. Lütfiye Özlem AKKAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Buca, İzmir, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1781-6375

ÖZET

Bu çalışmada, GPS sinyaline erişimi olmayan araçlar için görüntü tabanlı bir otonom navigasyon sistemi geliştirilmiş ve CARLA açık kaynaklı şehir içi sürüş simülatörü üzerinde test edilmiştir. Şehir içi yüksek yapı yoğunluğu, tüneller ve çok yollu sinyal yansımaları gibi GPS alımını olumsuz etkileyen koşullarda kullanılabilecek alternatif bir konumlandırma yaklaşımı sunulmuştur. Sistem, çevrimdışı haritalama ve çevrimiçi konumlandırma olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır.

Çevrimdışı haritalama aşamasında, CARLA simülasyonundaki bir şehir haritasında yaklaşık 725 metre boyunca 10 Hz örnekleme hızıyla GPS etiketli 591 görüntü toplanmıştır. SuperPoint ve COLMAP Structure-from-Motion (SfM) algoritması kullanılarak seyrek 3B nokta bulutu ve betimleyici veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı, çevrimiçi konumlandırma aşaması için kalıcı bir referans haritası işlevi görmektedir.

Çevrimiçi konumlandırma aşamasında hiyerarşik yerelleştirme (hloc) çerçevesi benimsenmiştir. Bu çerçeve; aday görüntü seçimi için NetVLAD, yerel özellik eşleştirmesi için SuperPoint ve SuperGlue algoritmalarını bünyesinde barındırmaktadır. Dört aşamalı veri işleme hattı (pipeline) şu sırayla işlemektedir: (1) NetVLAD ile en benzer k=10 veri tabanı görüntüsünün geri çağrılması, (2) SuperGlue ile 2B-2B özellik eşleştirmesi, (3) SfM haritası üzerinden 2B-3B eşleştirme ve (4) PnP+RANSAC ile 6-Serbestlik Dereceli (6-DoF) kamera pozunun hesaplanması. Sistem, gerçek zamanlı performansı koruyabilmek amacıyla her kare yerine 100 metrede bir tetiklenen adaptif konumlandırma stratejisini benimsemektedir ve konumlandırmanın başarısız olduğu anlarda Dead Reckoning yöntemiyle araç otonom sürüşüne devam etmektedir.

Temel optimizasyon problemi, kısıtsız doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle poz kestirimi olarak formüle edilmiştir. Rodrigues eksen-açı parametrelemesi benimsenerek SO(3) rotasyon kısıtı yapısal olarak sağlanmış ve problem kısıtsız bir yapıya dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sayesinde Ardışık İkinci Dereceden Programlama (SQP) gibi karmaşık kısıtlı çözümleyicilere ihtiyaç kalmaksızın Levenberg-Marquardt algoritması, RANSAC şeması içinde doğrudan uygulanabilmektedir.

Araç kontrolünde Pure Pursuit yanal kontrolcü ve PID boylamsal kontrolcü kullanılmış; konumlandırma döngüsü ile Dead Reckoning hata birikimi arasındaki denge gözetilerek hedef hız 20 km/h olarak belirlenmiştir. Viraj tespiti ve şerit takibi OpenCV tabanlı görüntü işleme ile desteklenmiş, viraj öncesinde araç hızı adaptif olarak düşürülmüştür. Kapalı döngü otonom A'dan B'ye navigasyon CARLA

simülasyonundaki şehir ortamında başarıyla tamamlanmıştır. GPS konum verileri referans alınarak sistemin performans ölçütlerinin analizleri ve nicel değerlendirmesi devam etmektedir.

Anahtar kelimeler: Görsel konumlandırma, GPS'siz navigasyon, hloc, Otonom sürüş, CARLA simülatörü, Levenberg-Marquardt

ABSTRACT

This study presents a vision-based autonomous navigation system for vehicles operating without GPS signals, developed and tested within the CARLA open-source urban driving simulator. The proposed approach addresses localization challenges in scenarios where GPS is unreliable due to urban canyons, tunnels, and multipath signal interference. The system operates in two main phases: offline mapping and online localization.

During the offline mapping phase, 591 GPS-tagged images are collected at 10 Hz across approximately 725 meters of the CARLA town map. Using the SuperPoint feature extractor and the COLMAP Structure-from-Motion (SfM) algorithm, a sparse 3D point cloud and descriptor database are constructed as a persistent reference map for the online phase.

The online localization phase employs the hierarchical localization (hloc) framework, integrating NetVLAD for global image retrieval, SuperPoint for local feature extraction, and SuperGlue for robust feature matching. The four-stage pipeline operates as follows: (1) retrieval of the top k=10 database images via NetVLAD, (2) 2D-2D feature matching with SuperGlue, (3) 2D-3D correspondence lifting through the SfM map, and (4) 6-DoF camera pose estimation via PnP+RANSAC. To maintain real-time performance, an adaptive localization strategy triggers hloc every 100 meters rather than on every frame. A Dead Reckoning fallback mechanism activates when localization fails.

The core optimization problem is formulated as unconstrained nonlinear least-squares pose estimation. The Rodrigues axis-angle parameterization is adopted to satisfy the SO(3) rotation constraint structurally, converting the problem into an unconstrained form. This eliminates the need for complex constrained solvers such as Sequential Quadratic Programming, enabling the Levenberg-Marquardt algorithm to be applied directly within a RANSAC outer loop.

Vehicle control employs a Pure Pursuit lateral controller and a PID longitudinal controller; the target speed of 20 km/h was set by balancing the localization update frequency against Dead Reckoning error accumulation. Corner detection and adaptive speed reduction are supported by OpenCV-based image processing. Closed-loop autonomous A-to-B navigation has been successfully demonstrated in CARLA town map. Analysis and quantitative evaluation of the system's performance metrics are ongoing, based on GPS location data.

Keywords: Visual localization, GPS-free navigation, hloc, Autonomous driving, CARLA simulator, Levenberg-Marquardt.

1. INTRODUCTION

1.1 Motivation

Modern autonomous vehicles depend heavily on GPS-based global positioning systems for localization. However, GPS signals are inherently unreliable particularly in urban environments characterized by tall buildings, tunnels, underground parking lots or indoor places. Signal degradation, multipath errors, and complete GPS denial in such scenarios pose a critical safety risk for autonomous systems that rely solely on satellite-based navigation.

This research addresses a fundamental question whether an autonomous vehicle can navigate accurately and robustly in a complex urban environment using only onboard camera data, without any reliance on GPS. Solving this problem would enable safe autonomous navigation in GPS-denied scenarios such as tunnels, city centres, and underground facilities.

The field of visual localization has evolved considerably from handcrafted feature descriptors such as SIFT (Lowe, 2004) and SURF (Bay et al., 2006) toward deep learning-based approaches. Sattler, Leibe, and Kobbelt (2012, 2017) formalized structure-based localization by matching 2D image keypoints to 3D map points via PnP and showed that direct large-scale matching scales poorly as environments grow larger, motivating hierarchical strategies. NetVLAD (Arandjelovic et al., 2016) addressed global image retrieval with a fully differentiable CNN pooling layer robust to day-night and seasonal variation. SuperPoint (DeTone et al., 2018) introduced self-supervised local feature extraction with joint keypoint detection and 256-dimensional descriptor computation. SuperGlue (Sarlin et al., 2020) formulated feature matching as a partial assignment problem solved by a Graph Neural Network with cross-attention and the Sinkhorn algorithm, enabling robust correspondence under large viewpoint changes. Sarlin (et al., 2019) unified these components into the hierarchical localization (hloc) framework which is a coarse-to-fine pipeline that first retrieves candidate database images globally via NetVLAD, then matches locally with SuperPoint and SuperGlue, and finally recovers the 6-DoF pose via PnP+RANSAC. This framework is adopted as the localization backbone in the present work.

1.2 Problem Statement

The core problem is formally defined as follows. Given a pre-built 3D sparse map of a known environment and a sequence of RGB camera images captured at runtime, the system must estimate the 6 Degrees-of-Freedom (6-DoF) camera pose $T = [R \mid t] \in SE(3)$ for each query frame, where $R \in SO(3)$ is the rotation matrix and $t \in \mathbb{R}^3$ is the translation vector. The estimation must be accurate and fast enough to support real-time closed-loop vehicle control.

All experiments are conducted in the CARLA open-source autonomous driving simulator (Dosovitskiy et al., 2017), specifically the Town01 map. CARLA provides a photorealistic and reproducible environment that supplies GPS ground truth, enabling rigorous quantitative evaluation of pose estimation accuracy.

1.3 Scope

The scope of this study is bounded by the following delimitations:

- **Environment:** CARLA Town01 urban map (mapping and navigation route ≈ 725 m)
- **Sensor:** Single front-facing RGB camera (no LiDAR, no IMU, no depth sensor)
- **Map:** Built once offline using Structure-from-Motion from GPS-tagged traversal images
- **Localization:** Online 6-DoF pose estimation against the pre-built map
- **Control**: Pure Pursuit lateral controller + PID longitudinal controller
- **Out of scope:** Dynamic obstacle avoidance, multi-agent scenarios, semantic understanding

2. SYSTEM MODEL

2.1 Architecture Overview

The proposed system is structured as two sequential phases: an offline mapping phase and an online localization-and-control phase. Table 2.1 summarizes the inputs, processing, and outputs of each phase.

Table 2.1: System architecture overview.

Phase	Input	Key Algorithms	Output
Offline — Mapping	591 GPS-tagged RGB images, 10 Hz	SuperPoint + COLMAP SfM + NetVLAD	3D point cloud + descriptor DB
Online — Localization	Live RGB camera frames	NetVLAD → SuperGlue → PnP+RANSAC+LM	6-DoF pose estimate x=[t,r]
Online — Control	Pose estimate + waypoint route	Pure Pursuit + PID + OpenCV corner detection	Steering, throttle, brake commands

2.2 Offline Mapping Phase

A vehicle traverses the CARLA Town01 map while collecting RGB images at 10 Hz with synchronized GPS ground truth. The 591 image dataset covers approximately 725 meters of urban road. The mapping pipeline proceeds as follows:

- SuperPoint extracts keypoints and 256-dimensional L2-normalized descriptors from each image
- COLMAP SfM reconstructs the sparse 3D point cloud by triangulating matched keypoints across overlapping views (Schonberger & Frahm, 2016)
- NetVLAD global descriptors are computed for each database image and stored in an index
- The final map contains; **(i)** 3D point positions in world coordinates, **(ii)** associated SuperPoint descriptors per 3D point, **(iii)** NetVLAD image-level descriptors

2.3 Online Localization Phase

At runtime, the system executes a four-stage hierarchical pipeline for each localization trigger (every 100 m of vehicle travel):

1. **Stage 1 (Global Retrieval):** A NetVLAD descriptor is computed for the query image and compared against all database descriptors using L2 distance. The top k=10 most similar images are retrieved as candidates.
2. **Stage 2 (Local Feature Matching):** SuperPoint keypoints are extracted from the query image. SuperGlue matches these against keypoints from each of the k retrieved images using attention-based graph matching.
3. **Stage 3 (2D-3D Lifting):** Each matched 2D keypoint in a database image is associated with its corresponding 3D map point via the SfM reconstruction.
4. **Stage 4 (Pose Estimation):** PnP+RANSAC solves for the 6-DoF camera pose. RANSAC rejects outlier correspondences; Levenberg-Marquardt refines the pose over all inliers.

Between localization triggers, the vehicle pose is propagated using Dead Reckoning (DR) based on wheel odometry. If RANSAC yields fewer than 12 inliers, the pose estimate is rejected and DR continues.

2.4 Vehicle Control

Lateral control is implemented using the Pure Pursuit algorithm, which computes a steering angle towards a lookahead waypoint on the pre-defined route. Longitudinal control is handled by a PID controller that targets 20 km/h, with adaptive speed reduction when a corner is detected by OpenCV-based image analysis (corner threshold: 15° heading change over 100 m lookahead distance).

3. OPTIMIZATION FORMULATION

3.1 Design Variables

The design variable vector x represents the full 6-DoF camera pose in the world coordinate frame:

$$x = [t_x,\ t_y,\ t_z,\ r_1,\ r_2,\ r_3]^T \in \mathbb{R}^6$$

where $(t_x, t_y, t_z) \in \mathbb{R}^3$ is the camera centre translation in world coordinates (metres) and $(r_1, r_2, r_3) \in \mathbb{R}^3$ is the axis-angle (Rodrigues) representation of camera orientation. The full rotation matrix $R \in SO(3)$ is recovered from the axis-angle vector via the Rodrigues formula.

Table 3.1: Design variable definitions.

Variable	Symbol	Description	Unit
Camera X position	t_x	Translation along world X-axis	metres
Camera Y position	t_y	Translation along world Y-axis	metres
Camera Z position	t_z	Translation along world Z-axis (height)	metres
Rotation component 1	r_1	Rodrigues axis-angle component 1	radians
Rotation component 2	r_2	Rodrigues axis-angle component 2	radians
Rotation component 3	r_3	Rodrigues axis-angle component 3	radians

3.2 Objective Function

The objective function minimizes the total reprojection error which is the sum of squared Euclidean distances between observed 2D keypoint positions and their projected counterparts under the estimated pose:

$$f(x) = \Sigma_i \ \| p_i - \pi(K, R(x), t(x), P_i) \|^2$$

where:

- $\mathbf{p_i} \in \mathbb{R}^2$**:** observed 2D pixel position of the i-th keypoint in the query image
- $\mathbf{P_i} \in \mathbb{R}^3$**:** corresponding 3D world point from the SfM map
- **K ∈ ℝ^(3×3):** known camera intrinsic matrix (focal length, principal point)
- **π(K, R, t, P) = K[R|t]P:** perspective projection function (homogeneous coordinates)
- **R(x), t(x):** rotation and translation recovered from design variable vector x

3.3 Optimization Problem Classification

Table 3.2: Optimization problem classification.

Property	Classification	Justification
Linearity	Non-linear	Rotation via Rodrigues (sin/cos) + perspective division
Variable type	Continuous	All variables $x \in \mathbb{R}^6$
Constraints	Unconstrained	Rodrigues parameterization satisfies SO(3) structurally (no active constraints)
Objectives	Single-objective	One scalar objective: total reprojection error f(x)
Problem class	Unconstrained Nonlinear Least Squares	Minimization of sum of squared residuals without constraints

3.4 Constraint Elimination via Rodrigues Parameterization

The rotation matrix R must belong to the Special Orthogonal group SO(3), satisfying:

$$R(x)^T R(x) = I_3 \quad and \quad det(R(x)) = +1$$

Rather than imposing this as an explicit constraint which would require a constrained solver such as SQP — the Rodrigues (axis-angle) parameterization is adopted. Any axis-angle vector $r \in \mathbb{R}^3$ maps to a valid SO(3) rotation matrix via the Rodrigues formula, satisfying the orthonormality condition by construction at every iteration. Consequently, the optimization problem has no active constraints and Levenberg-Marquardt is the appropriate solver (Hartley & Zisserman, 2004).

3.5 System Performance Criteria (Evaluation Thresholds)

The following are engineering evaluation thresholds which are not mathematical optimization constraints. They do not enter the solver and do not affect x:

- **Localization latency**: pose estimation < 100 ms per frame (10 Hz navigation requirement)
- **Position accuracy:** median translation error < 0.5 m relative to GPS ground truth
- **Orientation accuracy:** median rotation error < 2° relative to GPS ground truth
- **Minimum inlier count:** n_inliers ≥ 12 for a pose estimate to be accepted

3.6 Optimization Solver: RANSAC + Levenberg-Marquardt

The pose estimation problem is solved using a two-level architecture:

1. **Outer loop (RANSAC):** Randomly samples minimal 4-point subsets from the 2D-3D correspondences, solves PnP on each subset, and counts inlier correspondences (those with reprojection error < 8 pixels). RANSAC is robust to up to 70% outlier ratio and is iterated up to 1000 times. The pose with the maximum inlier count is selected as the initial estimate.
2. **Inner loop (Levenberg-Marquardt):** Refines the selected pose using all inlier correspondences by minimizing the reprojection error objective. The LM update step is:

$$\Delta x = -(J^T J + \lambda I)^{-1} J^T r(x)$$

where J is the Jacobian of residuals r(x), and λ is the adaptive damping parameter. LM is implemented within the pycolmap library as the standard PnP+RANSAC solver. In this study, 1 simulation run was conducted and results are reported for that single run.

4. SIMULATION SETUP AND ALGORITHM

4.1 Simulation Environment

The vehicle is spawned at position A (world coordinates x=335.49, y=273.74) and must navigate to position B along the 725 m pre-defined waypoint route. A total of 1 simulation run was executed for the navigation experiment presented in this paper.

Simulation parameters:

- **Simulation step:** 10 Hz (one frame per 100 ms)
- **Target speed:** 20 km/h
- **hloc trigger:** every 100 m of vehicle travel
- **RANSAC max iterations:** 1000; inlier threshold: 8 pixels; minimum inliers: 12
- **Dead Reckoning fallback:** activated if n_inliers < 12
- **Camera:** front-facing RGB, resolution 1280×720, FOV 90°

4.2 Algorithm Flowchart

The complete control flow of the GPS-free navigation algorithm is presented in Figure 4.1. The main loop captures a camera frame at each simulation step, checks whether a localization update is required, and applies the appropriate control commands to the vehicle.

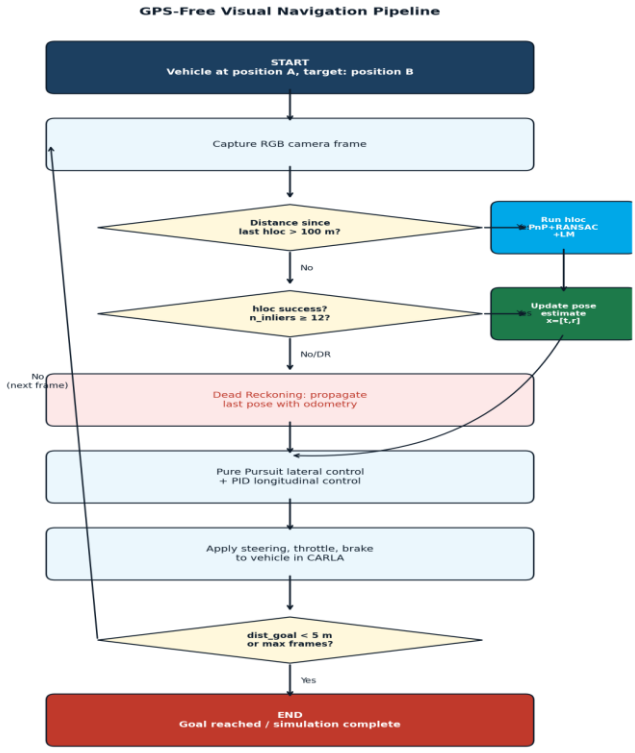


Figure 4.1: GPS-free visual navigation algorithm flowchart.

4.3 Simulation Termination Criteria

The simulation terminates when either of the following conditions is met:

- **Primary termination**: dist_goal < 5 m (vehicle has reached the goal position B)
- **Secondary termination:** maximum frame count exceeded (safety guard against infinite loops)

In the reported run, the secondary termination criterion was reached at frame 2947 with a remaining distance of 10.1 m to the goal. The vehicle successfully completed 374 of 378 waypoints (approximately 717 m of the 725 m route, 98.9% completion) before the frame limit was reached.The primary criterion (dist_goal < 5 m) was not triggered in this run.

5. SIMULATION RESULTS

5.1 Summary Statistics

The single simulation run produced 2947 frames covering approximately 717 m of the 725 m route (374 of 378 waypoints).

Table 5.1: Navigation simulation performance summary.

Metric	Value	Performance Criterion	Status
Total frames	2947	—	—
Route covered	374/378 waypoints (~717 m / 725 m 98.9%)	Full route	✓ Near-complete
Mean localization error	0.66 m	< 0.5 m median	— (above threshold)
Median localization error	0.68 m	< 0.5 m	— (above threshold)
Max localization error	0.91 m	< 1.0 m	✓ No frame exceeded 1 m
Frames with error > 1 m	0 (0.0%)	0%	✓
Frames with error < 0.5 m	289 (9.8%)	—	—
hloc corrections applied	5	—	—
hloc corrections rejected	2 (RANSAC outlier)	—	—
Mean vehicle speed	17.7 km/h	≤ 20 km/h	✓
Max vehicle speed	19.7 km/h	≤ 20 km/h	✓

The median position error of 0.68 m is above the 0.5 m design threshold. This is primarily attributable to the Dead Reckoning drift between hloc correction events; the adaptive strategy triggers hloc every 100 m of travel, meaning error accumulates between updates. All 2947 frames maintained localization error below 1.0 m, demonstrating system stability throughout the route.

5.2 Localization Error vs. Frame Number

Figure 5.1 shows the localization error at each frame. Green markers indicate successful hloc pose corrections (LOC events); red cross markers indicate rejected hloc attempts where the proposed correction exceeded the 5 m outlier threshold (REJECT events). The error remains bounded below 1.0 m throughout the run, demonstrating system stability.

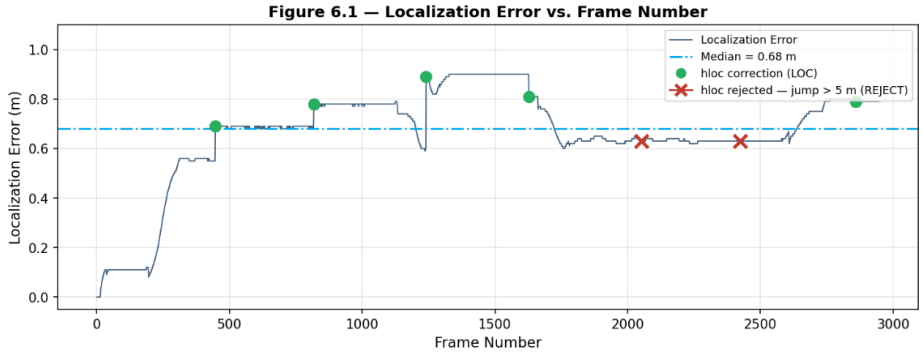


Figure 5.1: Localization error (m) versus frame number. Green dot: hloc correction. Red cross: hloc rejected.

5.3 Vehicle Speed Profile

Figure 5.2 shows the vehicle speed profile. The PID controller maintains speed close to the 20 km/h target, with reductions at corners (detected by the OpenCV-based corner detection module). Mean speed of 17.7 km/h reflects the time spent decelerating at corners and during simulation startup.

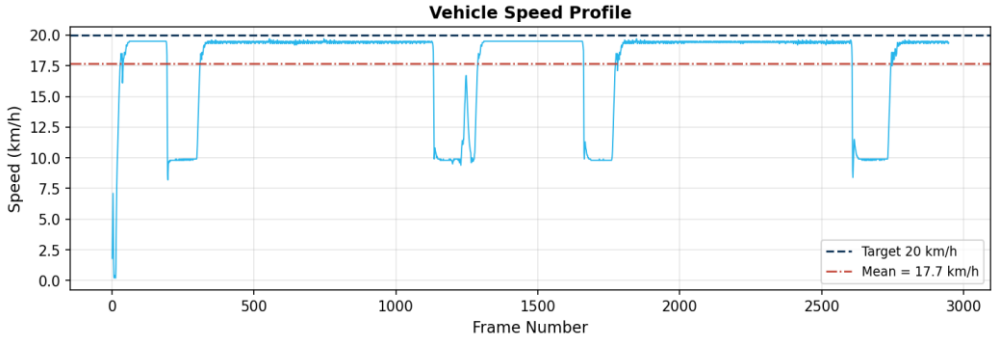


Figure 5.2: Vehicle speed profile over the simulation run. Dashed line: 20 km/h target; dash-dot line: mean speed.

5.4 Trajectory: Estimated vs. GPS Ground Truth

Figure 5.3 shows the estimated vehicle trajectory (blue) overlaid on the GPS ground truth (grey). The two trajectories are visually close throughout the route, confirming that the pose estimation system produces geographically consistent navigation behaviour. Triangle markers indicate successful hloc corrections; cross markers indicate rejected estimates.

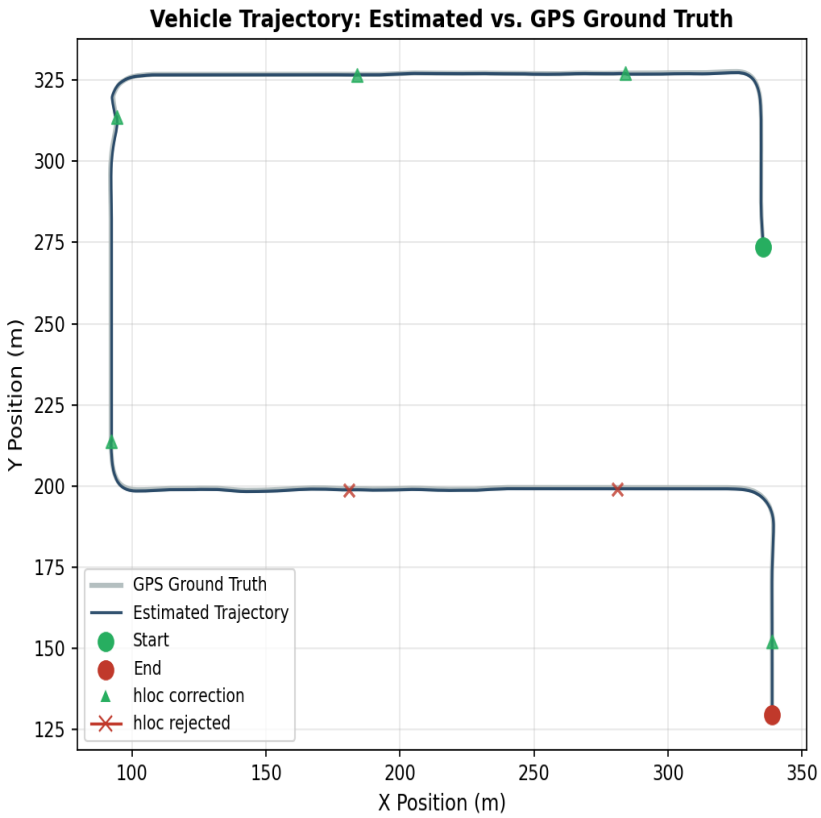


Figure 5.3: Vehicle trajectory. Blue: estimated pose. Grey: GPS ground truth. Triangles: hloc corrections. Crosses: rejected estimates.

5.5 Localization Error Distribution

Figure 5.4 shows the distribution of localization error across all 2947 frames. The histogram confirms that the error is concentrated in the 0.5–1.0 m range (green bars: < 0.5 m; blue bars: ≥ 0.5 m). No frame exceeded 1.0 m, validating the system's bounded-error behaviour.

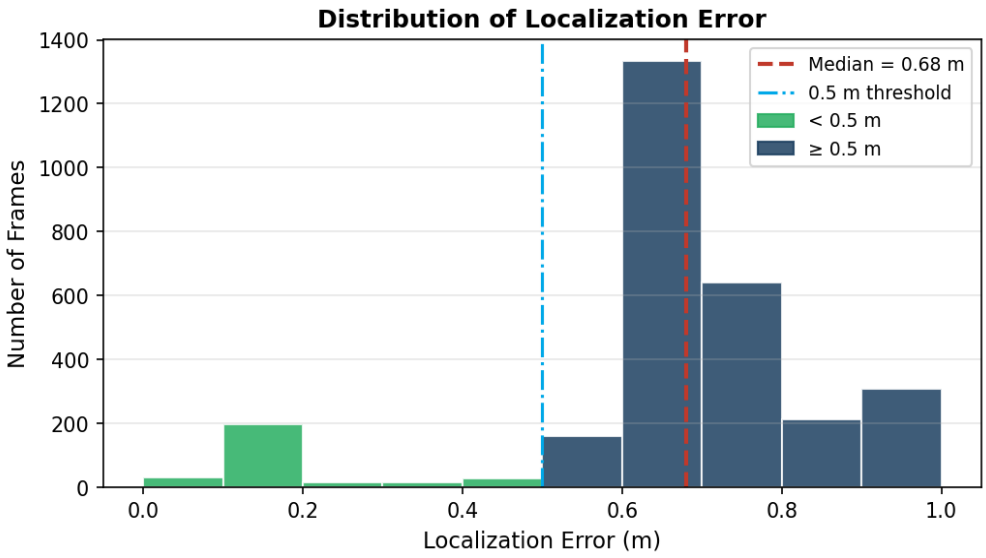


Figure 5.4: Distribution of localization error. Green: frames below 0.5 m threshold. Blue: frames in 0.5–1.0 m range.

5.6 Discussion

The system successfully completed closed-loop autonomous A-to-B navigation in CARLA Town01 without any GPS input, confirming the viability of the hloc-based visual localization approach. The 100% retention rate below 1.0 m error across all frames demonstrates system stability. The median error of 0.68 m slightly exceeds the 0.5 m design threshold, which can be attributed to Dead Reckoning drift accumulated between sparse hloc corrections. Future work will investigate increasing the hloc trigger frequency and extending the experiment to the full 725 m mapping route.

CONCLUSIONS

This paper presented a GPS-free visual autonomous navigation system implemented and evaluated within the CARLA simulator. The system integrates the hloc hierarchical localization framework (NetVLAD + SuperPoint + SuperGlue + PnP+RANSAC) with Pure Pursuit and PID vehicle controllers to achieve closed-loop autonomous navigation without any satellite-based positioning.

The core optimization problem, namely unconstrained nonlinear least-squares pose estimation was solved using the Levenberg-Marquardt algorithm within a RANSAC outer loop. The Rodrigues axis-angle parameterization was adopted to eliminate the SO(3) rotation constraint structurally, converting the problem from constrained to unconstrained and making LM directly applicable.

A single simulation run over a 725 m urban route produced 2947 frames, all with localization error below 1.0 m, and a median error of 0.68 m. Closed-loop navigation was successfully demonstrated. Future work will address the median error gap relative to the 0.5 m threshold, extend evaluation to the full 725 m mapped route, and quantify rotation estimation accuracy.

REFERENCES

Arandjelovic, R., Gronat, P., Torii, A., Pajdla, T., & Sivic, J. (2016). NetVLAD: CNN architecture for weakly supervised place recognition. IEEE CVPR, pp. 5297–5307.

Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded up robust features. ECCV, LNCS vol. 3951, pp. 404–417.

DeTone, D., Malisiewicz, T., & Rabinovich, A. (2018). SuperPoint: Self-supervised interest point detection and description. CVPRW, pp. 224–236.

Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., Lopez, A., & Koltun, V. (2017). CARLA: An open urban driving simulator. CoRL, PMLR 78, pp. 1–16.

Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). Multiple View Geometry in Computer Vision (2nd ed.). Cambridge University Press.

Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 60(2), pp. 91–110.

Sarlin, P. E., Cadena, C., Siegwart, R., & Dymczyk, M. (2019). From coarse to fine: Robust hierarchical localization at large scale. IEEE CVPR, pp. 12716–12725.

Sarlin, P. E., DeTone, D., Malisiewicz, T., & Rabinovich, A. (2020). SuperGlue: Learning feature matching with graph neural networks. IEEE CVPR, pp. 4938–4947.

Sattler, T., Leibe, B., & Kobbelt, L. (2012). Improving image-based localization by active correspondence search. ECCV, LNCS vol. 7572, pp. 752–765.

Sattler, T., Leibe, B., & Kobbelt, L. (2017). Efficient & effective prioritized matching for large-scale image-based localization. IEEE TPAMI, 39(9), pp. 1744–1756.

Schonberger, J. L., & Frahm, J. M. (2016). Structure-from-motion revisited. IEEE CVPR, pp. 4104–4113.

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNDE İHA DESTEKLİ TERMAL GÖRÜNTÜLEME VE DERİN ÖĞRENME İLE ÇOK SINIFLI TERMAL ANOMALİ TESPİTİ: YOLOV8X, YOLO11X VE RT-DETR MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Dr. Kübra ARSLANOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-1672-4735

Doç. Dr. Feyza ALTUNBEY ÖZBAY

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-0629-6888

Hüseyin Baktır

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

ORCID ID: 0009-0002-6137-0243

Yusuf Kızılkan

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

ORCID ID: 0009-0003-9523-8408

ÖZET

Güneş panellerinin açık sahada sürekli olarak çalışması; tozlanma, gölgelenme, kuş pislikleri, bağlantı hataları, bypass diyot arızaları ve mikro çatlaklar gibi çeşitli yapısal ya da çevresel sorunları beraberinde getirir. Panel yüzeyinde bölgesel sıcaklık artışlarına yol açan bu faktörler, üretim verimliliğini düşürmekle beraber modül ömrünü kısaltmakta ve bazı durumlarda ciddi güvenlik riskleri doğurmaktadır. Bu çalışmada güneş panelleri için termal anomalilerin otomatik olarak teşhis edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, Kaggle platformunda açık kaynak olarak paylaşılan Thermal Solar PV Anomaly Detection Dataset kullanılmıştır. Toplam 7.350 termal kızılötesi görüntü ve 8 farklı arıza sınıfından oluşan bu veri kümesi üzerinde YOLOv8x, YOLO11x ve RT-DETR mimarileri eğitilerek karşılaştırmalı biçimde test edilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek başarıya YOLOv8x modeliyle ulaşılmıştır; model mAP@50 değeri olarak 0,870, mAP@50-95 puanında 0,631 ve F1 skorunda 0,837 seviyelerini elde etmiştir. YOLO11x mimarisi 0,863 mAP@50 skoruyla benzer bir performans çizgisi çizerken, transformer tabanlı RT-DETR modeli 0,786 mAP@50 değerinde kalarak YOLO modellerinin altında bir sonuç ortaya koymuştur. Araştırmanın temel katkısı, evrişimli sinir ağı (CNN) ve transformer tabanlı güncel dedektörleri eş koşullar altında 8 farklı anomali sınıfı üzerinden kıyaslamak ve elde edilen bulgular ile saha bakım personeline rehberlik edecek operasyonel bir karar mekanizması sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Paneli, Termal Görüntüleme, Termal Anomali Tespiti.

UAV-ASSISTED THERMAL IMAGING AND MULTI-CLASS THERMAL ANOMALY DETECTION WITH DEEP LEARNING IN PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS: COMPARATIVE ANALYSIS OF YOLOV8X, YOLO11X AND RT-DETR MODELS

ABSTRACT

The continuous operation of solar panels in open fields brings with it various structural or environmental issues, such as dust accumulation, shading, bird droppings, connection faults, bypass diode failures, and microcracks. These factors, which cause localized temperature increases on the panel surface, not only reduce production efficiency but also shorten module lifespan and, in some cases, pose serious safety

risks. This study aims to automatically diagnose thermal anomalies in solar panels. The Thermal Solar PV Anomaly Detection Dataset, shared as open-source on the Kaggle platform, was used in this study. The YOLOv8x, YOLO11x, and RT-DETR architectures were trained and comparatively tested on this dataset, which consists of a total of 7,350 thermal infrared images and 8 different fault classes. The experiments resulted in the highest performance being achieved by the YOLOv8x model; the model achieved an mAP@50 value of 0.870, an mAP@50-95 score of 0.631, and an F1 score of 0.837. While the YOLO11x architecture demonstrated a similar performance trend with an mAP@50 score of 0.863, the transformer-based RT-DETR model yielded a result of 0.786 mAP@50, placing it below the YOLO models. The primary contribution of this study is to compare state-of-the-art Convolutional Neural Network (CNN) and Transformer-based detectors across 8 different anomaly classes under controlled conditions, and to provide an operational decision-making mechanism guided by the findings to assist field maintenance personnel.

Keywords: Solar Panel, Thermal Imaging, Thermal Anomaly Detection

PANORAMİK DİŞ RÖNTGENLERİNDE PERİAPİKAL LEZYON TESPİTİ İÇİN MODERN YOLO MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE VERİ ARTIRMA PARADOKSU

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih KARAKAŞ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi,

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0233-6141

Öğr. Gör. Dr. Betül KARAKAŞ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Üzümlü Meslek Yüksekokulu

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5524-9864

ÖZET

Panoramik diş röntgenlerinde periapikal lezyonların otomatik olarak tespiti, kök ucunda gelişen enfeksiyonların ve kemik yıkımlarının erken evrede yakalanması ile başarılı endodontik tedavi planlamalarının yapılabilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Klinik uygulamalarda rutin tarama aracı olarak standart biçimde kullanılan panoramik radyografiler, geniş anatomik alanları tek bir görüntüde sunma avantajına sahip olsa da, anatomik yapıların üst üste binmesi, yetersiz kontrast ve çekim kalitesindeki değişkenlikler nedeniyle manuel değerlendirmelerde sınırlı bir tanısal doğruluk sunabilmektedir. Bu sınırlılıkları aşmak ve klinik karar destek mekanizmalarına katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, panoramik röntgen görüntülerinde periapikal lezyon tespiti için modern, bağlantısız (anchor-free) ve tek aşamalı bir nesne tespiti mimarisi olan YOLOv26 modelinin farklı parametre kapasitelerine sahip small (YOLOv26s) ve medium (YOLOv26m) baseline varyantlarının tanısal başarıları ile hesaplama verimlilikleri kapsamlı ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma kapsamında Mendeley Data platformu üzerinden açık erişimli olarak sunulan ve bünyesinde periapikal lezyon etiketleri barındıran 3.924 adet JPEG formatındaki yüksek çözünürlüklü panoramik diş röntgeni görüntüsü kullanılmıştır. Pascal VOC XML formatındaki bounding box koordinatları, merkez noktaları ile normalize edilmiş genişlik ve yükseklik değerlerini içeren YOLO metin formatına dönüştürülmüş ve orijinal etiketlerde yer alan farklı lezyon şiddeti sınıfları tek bir "periapical" kategorisi altında yeniden eşlenmiştir. Görüntülerin kenar kısımlarında yer alan ve herhangi bir klinik veri barındırmayan karanlık boşlukların elenmesi amacıyla tüm verilere dört taraftan %10 oranında kenar kırpma işlemi uygulanmış, etiket tutarlılığı eş zamanlı koordinat güncellemeleriyle korunmuştur. Ardından yerel kontrastı artırmak ve röntgenlerdeki gürültü amplifikasyonunu sınırlamak amacıyla clip_limit=2.0 ve tile_grid_size=(8x8) parametreleri kullanılarak Kontrast Sınırlı Uyarlamalı Histogram Eşitleme (CLAHE) algoritması parlaklık kanalına entegre edilmiştir. Hazırlanan veri seti, yeniden üretilebilirliği güvence altına almak için sabit bir rassal tohum (seed=42) eşliğinde %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test kümesi olarak ayrılmıştır. Derin öğrenme literatüründeki genel ampirik ezberleri test etmek amacıyla, eğitim setindeki her bir orijinal görüntü için 3 adet artırılmış kopya üretecek şekilde kapsamlı bir veri artırma (data augmentation) protokolü kurgulanmıştır. Bu protokol kapsamında görüntülere ±10° aralığında rastgele tek tip (uniform) dağılımlı döndürme (rotation), 0.90–1.10 aralığında rastgele ölçekleme (scale), %50 olasılıkla yatay çevirme (horizontal flip) ve standart sapması 10 (std=10) olan %50 olasılıklı Gaussian gürültüsü ekleme teknikleri bounding box koordinatları ile senkronize biçimde uygulanmıştır. Yapılan deneysel testlerde, en yüksek tekil model performansı 0.7028 mAP@0.5, 0.744 Kesinlik (Precision) ve 0.652 Duyarlılık (Recall) değerleri ile daha geniş öznitelik temsil yeteneğine sahip olan YOLOv26m baseline modeli tarafından elde edilmiştir. YOLOv26s baseline varyantı ise 0.6736 mAP@0.5 skoru, 0.687 Kesinlik ve 0.621 Duyarlılık değerleri sergilemiştir. Hesaplama verimliliği analizlerinde, YOLOv26s modeli görüntü başına sadece 4.4 ms/img (228 FPS) çıkarım süresi harcarken, daha derin bir mimariye sahip olan YOLOv26m modeli 10.0 ms/img (100 FPS) hıza ulaşarak her iki varyant için de gerçek zamanlı çalışma eşiğinin oldukça üzerinde bir klinik uygulanabilirlik performansı ortaya koymuştur. Ancak çalışmanın en çarpıcı ve ezber bozan ampirik bulgusu veri artırma aşamasında gözlemlenmiştir;

kurgulanan detaylı döndürme, ölçekleme ve gürültü enjeksiyonu operasyonları, yaygın literatür beklentilerinin aksine mAP@0.5 skorunda her iki model için de −0.01 oranında kesin bir performans düşüşüne yol açmıştır. Bu ampirik düşüş, diş röntgenlerinde yer alan ve lezyon sınırlarını belirleyen mikro dokusal özelliklerin ile hassas kemik paternlerinin gürültü ekleme ile bozulduğunu, döndürme ve ölçekleme gibi geometrik manipülasyonların ise periapikal bölgelerin tipik anatomik yönelimlerinden sapan ve modelin kafasını karıştıran yapay görüntüler ürettiğini kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, modern tek aşamalı nesne tespit mimarileri diş hekimliği klinik iş akışlarına entegre edilebilecek yüksek hız ve doğruluğa sahip karar destek sistemleri vaat ederken, tıbbi görüntüleme alanında veri artırma stratejilerinin varsayımsal olarak değil, her veri setinin özgün anatomik ve dokusal dinamiklerine göre ampirik doğrulamalar yapılarak tasarlanması gerektiği açıkça ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Periapikal Lezyon, YOLOv26, Veri Artırma Paradoksu, Panoramik Radyografi, Diş Hekimliğinde Yapay Zeka

COMPARATIVE EVALUATION OF MODERN YOLO ARCHITECTURES FOR AUTOMATED PERIAPICAL LESION DETECTION: UNVEILING THE DATA AUGMENTATION PARADOX

ABSTRACT

Automated detection of periapical lesions on panoramic dental radiographs is of paramount importance for the early diagnosis of bone resorption and pulpal infections, enabling successful endodontic treatment planning. Although panoramic radiography is standardly employed as a primary screening tool in routine clinical practice due to its broad anatomical coverage, its manual diagnostic sensitivity typically remains restricted within a wide margin (28% – 77%) owing to low image contrast, variations in exposure, and the superimposition of complex anatomical structures. To overcome these clinical limitations and provide robust computational decision support, this study comprehensively evaluates the diagnostic accuracy and computational efficiency of two standalone variants, small (YOLOv26s) and medium (YOLOv26m), of the modern anchor-free, one-stage YOLOv26 object detection architecture. A large-scale dataset comprising approximately 3,924 high-resolution panoramic radiographs was obtained from the Mendeley Data platform. The original Pascal VOC XML annotations were programmatically transformed into normalized YOLO format containing center coordinates, width, and height, while the separate original lesion severity classes were remapped into a unified single "periapical" category. To eliminate non-clinical background noise, a 10% bounding-box-synchronized edge cropping was applied to all four margins of the radiographs. Subsequently, Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) was integrated into the luminance channel using a clip_limit of 2.0 and a tile_grid_size of (8x8) to significantly boost local contrast in the periapical bone regions while actively suppressing noise amplification. For robust reproducibility, the preprocessed data was randomly partitioned into 70% training, 15% validation, and 15% testing sets using a fixed random seed (seed=42). To rigorously challenge the conventional deep learning paradigm regarding dataset expansion, a meticulous data augmentation protocol was designed to generate 3 augmented copies for each original training sample. This protocol encapsulated synchronized spatial and pixel-level transformations, including random uniform rotation within a ±10° interval, random scaling ranging from 0.90 to 1.10, a 50% probability horizontal flip, and the addition of Gaussian noise with a standard deviation of 10 at a 50% probability rate. Experimental evaluations revealed that the larger variant, YOLOv26m, delivered the superior standalone diagnostic performance, achieving a mAP@0.5 of 0.7028, a Precision of 0.744, and a Recall of 0.652. The lighter YOLOv26s baseline variant produced a mAP@0.5 score of 0.6736, coupled with a Precision of 0.687 and a Recall of 0.621. Computational efficiency benchmarks demonstrated that YOLOv26s required a mere 4.4 ms/img (228 FPS) of inference time, whereas YOLOv26m processed images at an impressive speed of 10.0 ms/img (100 FPS), placing both configurations well above the real-time clinical deployment threshold. Crucially, the most critical empirical finding emerged from the data augmentation analysis; contrary to widespread literature assumptions, the inclusion of systematic rotation, scaling, and noise injection yielded a distinct

performance degradation, causing a −0.01 drop in mAP@0.5 for both models. This counterintuitive decline demonstrates that synthetic pixel-level noise distorts the highly subtle micro-textural bone patterns critical for identifying early lesions, while geometric transformations introduce non-anatomical orientations that weaken the model's spatial generalization capacity. In conclusion, while modern single-stage object detectors prove to be highly feasible and precise for automated clinical periapical screening, this research conclusively emphasizes that data augmentation strategies must not be applied blindly as a default practice in medical imaging, but must be empirically validated against the specific micro-structural and anatomical constraints of the target dataset.

Keywords: Periapical lesion, YOLOv26, Data Augmentation Paradox, Panoramic radiography, Artificial intelligence in dentistry

ÖZEL YETENEKLİ ÖĞRENCİLERDE YARATICI DRAMA TEMELLİ ROBOTİK KODLAMANIN DEĞER GELİŞİMİ VE BİLGİ İŞLEMSEL DÜŞÜNMEYE ETKİSİ

Öğr. Gör. Melek İLHAN

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-2895-8462

Doç.Dr. Sezer KÖSE BİBER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Eğitim Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5807-5185

ÖZET

Günümüzde öğrencilerin yalnızca akademik bilgiyle değil; problem çözme, üretken düşünme, iş birliği, sorumluluk, duyarlılık ve etik değerler gibi çok yönlü becerilerle desteklenmesi önem kazanmıştır. Özellikle özel yetenekli öğrencilerin erken yaşlardan itibaren teknoloji üretimine dayalı, disiplinler arası ve değer temelli öğrenme ortamlarıyla buluşturulması, onların bilişsel ve duyuşsal gelişimleri açısından önemli görülmektedir. Robotik kodlama eğitimi, öğrencilerin algoritmik düşünme, problem çözme, yaratıcılık ve iş birliği becerilerini geliştiren etkili bir öğrenme alanıdır. Bununla birlikte robotik kodlama etkinliklerinin yalnızca teknik beceri kazandırma amacıyla değil, aynı zamanda toplumsal sorunlara duyarlı ve değer odaklı çözümler üretme süreci olarak tasarlanması gerekmektedir.

Bu araştırmanın amacı, yaratıcı drama temelli robotik kodlama etkinliklerinin özel yetenekli ilkokul öğrencilerinin bilgi işlemsel düşünme becerileri ve değer gelişimleri üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırma, ön test-son test kontrol gruplu yarı deneysel desen kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma grubunu İstanbul ilinde bulunan bir Bilim ve Sanat Merkezi'nde Destek Eğitim Programı'na devam eden 24 özel yetenekli ilkokul öğrencisi oluşturmuştur. Öğrenciler deney ve kontrol gruplarına ayrılmıştır. Deney grubunda yaratıcı drama temelli robotik kodlama etkinlikleri uygulanırken, kontrol grubunda geleneksel yöntemle robotik kodlama eğitimi yürütülmüştür. Uygulama süreci sekiz haftalık etkinliklerden oluşmuş; ön test ve son test uygulamalarıyla birlikte toplam on haftalık bir süreçte tamamlanmıştır. Araştırmada öğrencilerin bilgi işlemsel düşünme becerilerini belirlemek amacıyla Bilgi İşlemsel Düşünme Beceri Düzeyleri Ölçeği, değer gelişimlerini incelemek amacıyla ise Değer Analiz Ölçeği kullanılmıştır.

Araştırmadan elde edilen bulgular, yaratıcı drama temelli robotik kodlama etkinliklerine katılan deney grubu öğrencilerinin bilgi işlemsel düşünme becerilerinde olumlu yönde gelişme olduğunu göstermiştir. Özellikle algoritmik düşünme, problem çözme, yaratıcılık ve iş birliği boyutlarında öğrencilerin daha etkin performans sergiledikleri belirlenmiştir. Bunun yanında öğrencilerin sorumluluk alma, yardımlaşma, farklı görüşlere saygı duyma, çevreye ve toplumsal sorunlara duyarlılık gösterme gibi değer temelli davranışlarında da olumlu gelişmeler gözlenmiştir. Sonuç olarak yaratıcı drama temelli robotik kodlama etkinliklerinin özel yetenekli öğrencilerin hem bilişsel becerilerini hem de değer gelişimlerini destekleyen etkili bir öğrenme yaklaşımı olduğu söylenebilir. Bu doğrultuda robotik kodlama uygulamalarının yaratıcı drama ve değerler eğitimiyle bütünleştirilerek temel eğitim düzeyinde yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robotik kodlama, yaratıcı drama, özel yetenekli öğrenciler, bilgi işlemsel düşünme, değerler eğitimi.

THE EFFECT OF CREATIVE DRAMA-BASED ROBOTIC CODING ON VALUE DEVELOPMENT AND COMPUTATIONAL THINKING IN GIFTED STUDENTS

ABSTRACT

Today, it has become increasingly important to support students not only with academic knowledge but also with multidimensional skills such as problem solving, productive thinking, collaboration,

responsibility, sensitivity, and ethical values. In particular, providing gifted students with interdisciplinary and value-based learning environments focused on technology production from an early age is considered important for their cognitive and affective development. Robotic coding education is an effective learning field that supports students' algorithmic thinking, problem-solving, creativity, and collaboration skills. However, robotic coding activities should not be designed only to develop technical skills; they should also be structured as a process that enables students to produce value-oriented solutions to social problems.

The aim of this study is to examine the effect of creative drama-based robotic coding activities on gifted primary school students' computational thinking skills and value development. The study was conducted using a quasi-experimental design with a pre-test and post-test control group. The study group consisted of 24 gifted primary school students attending the Support Education Program at a Science and Art Center in Istanbul. The students were assigned to experimental and control groups. While creative drama-based robotic coding activities were implemented in the experimental group, traditional robotic coding education was carried out in the control group. The implementation process consisted of eight weeks of activities and was completed in a total of ten weeks, including pre-test and post-test applications. In the study, the Computational Thinking Skill Levels Scale was used to determine students' computational thinking skills, and the Value Analysis Scale was used to examine their value development.

The findings obtained from the study showed that the students in the experimental group who participated in creative drama-based robotic coding activities demonstrated positive development in their computational thinking skills. In particular, students showed more effective performance in the dimensions of algorithmic thinking, problem solving, creativity, and collaboration. In addition, positive developments were observed in students' value-based behaviors such as taking responsibility, helping others, respecting different opinions, and showing sensitivity to environmental and social problems. As a result, it can be stated that creative drama-based robotic coding activities are an effective learning approach that supports both the cognitive skills and value development of gifted students. In this respect, it is recommended that robotic coding practices be integrated with creative drama and values education and expanded at the primary education level.

Keywords: Robotic coding, creative drama, gifted students, computational thinking, values education.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SCANNING STRATEGY AND INFILL RATIO ON PART WEIGHT IN FDM MANUFACTURING

Dr. İbrahim ÜLKE

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-8927-0052

ABSTRACT

Fused Deposition Modeling (FDM) is widely used in additive manufacturing applications due to its low production cost, design flexibility, and rapid prototyping capability. In FDM-produced parts, the infill ratio is nominally defined by slicing software and directly affects the internal structure, weight, and material distribution of the printed component. However, discrepancies may occur between theoretical and actual weight values depending on the manufacturing process. These discrepancies are mainly caused by factors such as extrusion behavior, filament deposition geometry, interlayer bonding quality, and void formation during printing. In this study, cubic specimens were fabricated using Polylactic Acid (PLA) with three different infill ratios of 30%, 60%, and 90%. Concentric, linear, and Hilbert curve-based scanning strategies were employed in the specimens. All manufacturing parameters were kept constant, and only the effects of infill ratio and scanning strategy were investigated. The theoretical weights of the produced specimens were obtained from the slicing software, while the actual weights were experimentally measured using a precision balance. Error rates between theoretical and actual weight values were calculated to evaluate the influence of different scanning strategies on weight deviation. The results indicated that discrepancies existed between theoretical and actual weight values at all infill ratios. The highest error values were observed at the 30% infill ratio, where the error rate was approximately 5.47% for concentric and linear scanning strategies, while the Hilbert curve-based scanning strategy reached an error of 7.86%. At the 60% infill ratio, the error values decreased considerably, and the Hilbert strategy exhibited an error rate of approximately 0.29%. At the 90% infill ratio, all strategies produced results very close to the theoretical values. In particular, the Hilbert curve-based scanning strategy showed only a very small deviation between theoretical and actual weight values. The findings demonstrated that scanning strategy has a more pronounced effect on the actual part weight at lower infill ratios. As a result, it was concluded that not only the nominal infill ratio but also the selected scanning strategy is a determining parameter affecting the actual weight of FDM-produced parts.

Keywords: FDM, Scanning strategy, Infill density, PLA.

INTRODUCTION

Additive Manufacturing (AM) is a production approach based on the layer-by-layer fabrication of parts directly from three-dimensional model data, unlike conventional subtractive and mold-based manufacturing methods [1]. This approach has become increasingly widespread in engineering applications due to its capability to produce complex geometries in a short time, rapidly adapt to design modifications, and optimize material utilization [2]. Among additive manufacturing techniques, Fused Deposition Modeling (FDM), also referred to as Material Extrusion, is one of the most commonly used methods because of its low equipment cost, easily accessible material options, and practical manufacturing process [3].

In the FDM process, a thermoplastic filament is melted by passing through a heated nozzle and deposited layer by layer onto the build platform according to a predefined toolpath. The final weight, internal structure, mechanical behavior, and production time of the manufactured part are influenced by numerous parameters, including infill ratio, scanning strategy, layer thickness, nozzle temperature, bed

temperature, printing speed, and filament flow characteristics [4]. Among these parameters, the infill ratio is one of the most critical variables because it determines the proportion of the internal volume filled with material, thereby directly affecting both material consumption and part weight [5, 6]. However, even at the same nominal infill ratio, the use of different scanning strategies may additionally influence the actual part weight by altering filament path length, turning frequency, intersection regions, and void distribution within the structure [7].

Slicing software provides theoretical estimations of material consumption and part weight according to the user-defined infill ratio and scanning strategy. Nevertheless, during the actual manufacturing process, discrepancies may occur between the theoretical values calculated by the software and the experimentally measured weights due to fluctuations in extrusion flow, filament diameter tolerances, pressure variations inside the nozzle, sudden directional changes in the toolpath, interlayer voids, and localized material accumulations [8]. These discrepancies may become more pronounced at lower infill ratios because the increased internal void volume causes small variations in filament deposition geometry to have a proportionally greater effect on the total material amount.

In the literature, the effects of infill ratio and infill pattern on the mechanical properties, manufacturing time, dimensional accuracy, and material consumption of FDM-produced parts have been extensively investigated [9-11]. However, evaluating the deviation between theoretical and actual weight directly in terms of scanning strategy and infill ratio remains particularly important for practical manufacturing planning. Weight prediction in FDM production can be directly utilized in cost estimation, material planning, lightweight structure design, and quality control processes in mass production applications [12].

The aim of this study is to experimentally investigate the effects of different infill ratios and scanning strategies on the actual part weight of cubic specimens manufactured by FDM using PLA material. Within this scope, infill ratios of 30%, 60%, and 90% together with concentric, linear, and Hilbert curve-based scanning strategies were evaluated. The theoretical weight values obtained from the slicing software were compared with the actual weight values measured using a precision balance. Thus, the extent to which nominal manufacturing parameters reflect real material consumption and how different scanning strategies affect weight deviation were systematically analyzed.

METHOD

In this study, the effects of infill density and scanning strategy on the actual part weight of FDM-produced components were experimentally investigated. PLA filament was selected as the printing material due to its widespread use in additive manufacturing applications, ease of processing, dimensional stability, and low manufacturing cost. All specimens were produced under identical environmental and manufacturing conditions in order to ensure experimental consistency and minimize the influence of uncontrolled variables.

The experimental specimens were designed as cubic geometries with dimensions of 20 × 20 × 20 mm. Three different infill densities, namely 30%, 60%, and 90%, were selected to evaluate the influence of internal material distribution on part weight. In addition, three different scanning strategies were employed: concentric, linear, and Hilbert scanning patterns. Accordingly, a total of nine different parameter combinations were generated, as presented in Table 1. The scanning strategies used in the study are illustrated in Figure 1.

Table 1. Experimental design matrix of the produced FDM specimens according to infill density and scanning strategy

Sample Number	Infill Density (%)	Scanning Strategy
1	30	Concentric
2	60	Concentric
3	90	Concentric
4	30	Linear
5	60	Linear
6	90	Linear
7	30	Hilbert
8	60	Hilbert
9	90	Hilbert

All three-dimensional models were prepared using computer-aided design software and transferred to slicing software to generate the machine-readable G-code required for manufacturing. During the slicing stage, the theoretical material consumption and theoretical weight values of each specimen were automatically calculated by the software according to the selected infill density and scanning strategy parameters. To isolate the effects of the investigated parameters, all other printing conditions such as layer thickness, nozzle temperature, bed temperature, printing speed, extrusion settings, and filament type were kept constant throughout the experiments (Table 2).

Table 2. Constant FDM printing parameters used during the experimental study

Parameter	Value
Layer height	0.2 mm
Printing speed	350 mm/s
Nozzle temperature	220 °C
Table temperature	50 °C

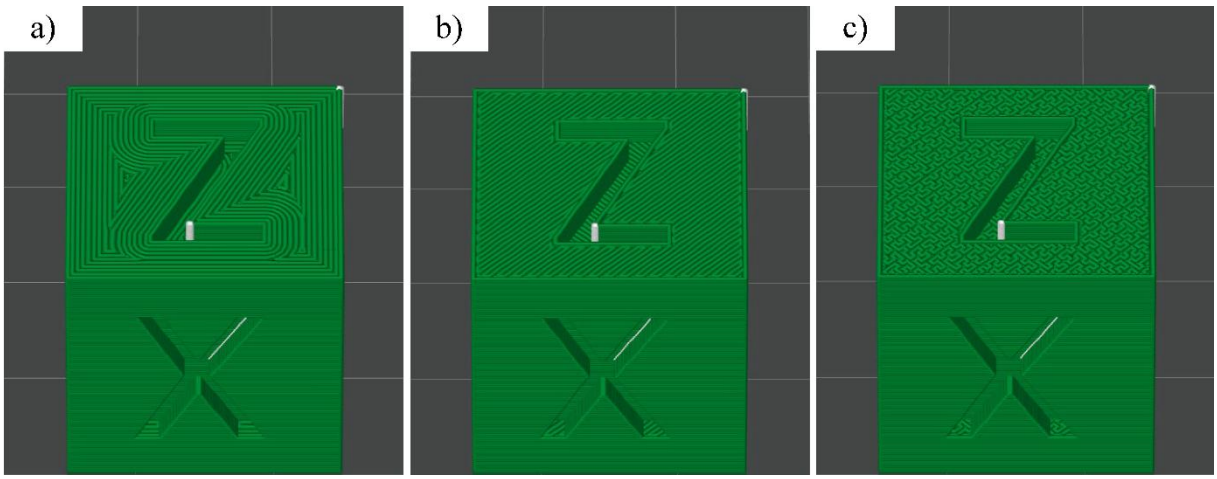


Figure 1. Scanning strategies used in the present study: a) Concentric, b) Linear, and c) Hilbert

After the manufacturing process was completed, all specimens were removed from the build platform and allowed to cool to room temperature under ambient laboratory conditions. The actual weights of the specimens were subsequently measured using a precision digital balance with high sensitivity. To reduce experimental uncertainty, all measurements were performed under the same environmental conditions.

FINDINGS

The experimentally measured weight values of the FDM-produced specimens together with the theoretical weight values obtained from the slicing software are presented in Table 3. In addition, the manufactured specimens produced using different infill densities and scanning strategies are shown in Figure 2. The results demonstrated that discrepancies existed between the theoretical and actual weight values for all parameter combinations. However, the magnitude of these deviations varied depending on both the infill density and the selected scanning strategy.

At the 30% infill density, the highest error values were observed among all experimental groups. For the concentric scanning strategy, the theoretical weight was calculated as 5.48 g, while the experimentally measured weight was determined as 5.18 g, corresponding to an error of 5.47%. Similarly, the linear scanning strategy produced the same theoretical and actual weight values, resulting in an identical error rate of 5.47%. In contrast, the Hilbert scanning strategy exhibited the highest deviation at this infill density, with a theoretical weight of 5.47 g and an actual weight of 5.04 g, corresponding to an error value of 7.86%. These findings indicate that scanning strategy has a more pronounced influence on actual material deposition at lower infill densities, where the internal void volume is significantly higher.



Figure 2. Cubic specimens manufactured with different infill ratios and scanning strategies

Table 3. Comparison of theoretical and experimental weight values of FDM specimens

Sample Number	Infill Density (%)	Scanning Strategy	Theoretical Weight (g)	Actual Weight (g)	Error (%)
1	30	Concentric	5.48	5.18	5.47
2	60	Concentric	7.29	6.95	4.66
3	90	Concentric	9.12	9.04	0.87
4	30	Linear	5.48	5.18	5.47
5	60	Linear	7.34	7.11	3.13
6	90	Linear	9.21	9.07	1.52
7	30	Hilbert	5.47	5.04	7.86
8	60	Hilbert	6.89	6.87	0.29
9	90	Hilbert	8.75	8.76	-0.11

At the 60% infill density, the discrepancies between theoretical and actual weight values decreased considerably compared with the 30% infill condition. For the concentric strategy, the theoretical and actual weights were measured as 7.29 g and 6.95 g, respectively, resulting in an error of 4.66%. The linear scanning strategy produced a theoretical weight of 7.34 g and an actual weight of 7.11 g, corresponding to an error value of 3.13%. The lowest deviation at this infill density was observed for the Hilbert scanning strategy, where the theoretical weight was 6.89 g and the actual measured weight was 6.87 g, resulting in an error of only 0.29%.

At the 90% infill density, all scanning strategies produced actual weight values close to the theoretical predictions. For the concentric strategy, the theoretical and actual weights were determined as 9.12 g and 9.04 g, respectively, with an error value of 0.87%. In the linear scanning strategy, the theoretical weight was 9.21 g, whereas the actual weight was measured as 9.07 g, corresponding to an error of 1.52%. The Hilbert scanning strategy showed the closest agreement between theoretical and actual values, with a theoretical weight of 8.75 g and an actual weight of 8.76 g.

The discrepancy between theoretical and actual weight values decreased as the infill density increased. The Hilbert scanning strategy exhibited the highest deviation at low infill density while providing the closest agreement with theoretical predictions at higher infill densities. The findings indicate that the impact of scanning approach on material deposition behavior is particularly significant in structures with greater interior void volumes.

DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the effects of infill density and scanning strategy on the actual weight of FDM-produced PLA specimens were experimentally investigated by comparing theoretical weight values obtained from slicing software with experimentally measured values. The findings demonstrated that both infill density and scanning strategy significantly influence the discrepancy between predicted and actual part weights.

The findings indicated that the largest deviations occurred at low infill densities, particularly under the 30% infill condition. At lower infill densities, the internal void volume within the structure increases

significantly, making the material deposition process more sensitive to local extrusion fluctuations, directional transitions, and deposition geometry. Under these conditions, small inconsistencies in filament flow or deposition behavior may lead to proportionally larger variations in the total material amount and consequently in the final part weight.

Among the investigated scanning strategies, the Hilbert pattern exhibited the highest deviation at the 30% infill density but produced results that were closest to the theoretical predictions at higher infill densities. This behavior may be associated with the continuous and complex deposition path characteristic of the Hilbert strategy. At low infill densities, the large number of directional changes and short deposition segments may lead to local material accumulation differences and unstable extrusion behavior. However, as the infill density increases and the internal structure becomes more compact, the deposition path becomes more stable, resulting in weight values that are very close to the theoretical estimations.

At low infill densities, the concentric and linear scanning techniques often generated comparable weight deviations; but, as infill density increased, their deviations decreased. All scanning techniques produced experimentally measured weights that were quite similar to the theoretical values determined by the slicing software at the 90% infill condition. These results show that as the internal structure becomes denser, theoretical weight prediction reliability increases.

The obtained results are consistent with previous studies reporting that infill pattern and infill density directly affect material distribution and deposition behavior in FDM manufacturing. However, the present study specifically demonstrated that scanning strategy may also influence the accuracy of theoretical weight estimation, particularly in lightweight structures containing larger internal void regions. This issue is important for practical engineering applications because accurate weight prediction directly affects material planning, production cost estimation, lightweight component design, and quality control processes.

As a result, the study demonstrated that both infill density and scanning strategy directly influence the actual weight of FDM-produced parts. The discrepancy between theoretical and experimentally measured weight values decreased as the infill density increased. The findings obtained in this study may contribute to more accurate material estimation and process planning in FDM manufacturing applications.

REFERENCES

1. Abdulhameed, O., et al., *Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications.* Advances in Mechanical Engineering, 2019. 11(2): p. 1687814018822880.

2. Ali, Z., et al., *Effect of infill density, build direction and heat treatment on the tensile mechanical properties of 3D-printed carbon-fiber nylon composites.* Composite Structures, 2023. 304: p. 116370.

3. Kristiawan, R.B., et al., *A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters.* Open Engineering, 2021. 11(1): p. 639-649.

4. Solomon, I.J., P. Sevvel, and J. Gunasekaran, *A review on the various processing parameters in FDM.* Materials Today: Proceedings, 2021. 37: p. 509-514.

5. Tanveer, M.Q., et al., *Effect of infill pattern and infill density on mechanical behaviour of FDM 3D printed Parts-a current review.* Materials today: proceedings, 2022. 62: p. 100-108.

6. Pandžić, A., D. Hodžić, and A. Milovanović. *Effect of infill type and density on tensile properties of PLA material for FDM process*. in *Proceedings of the 30th DAAAM international symposium*. 2019. DAAAM International.

7. Derise, M.R. and A. Zulkharnain, *Effect of infill pattern and density on tensile properties of 3d printed polylactic acid parts via fused deposition modeling (FDM).* International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 2020. 20(2): p. 54-63.

8. Jasim, M., T. Abbas, and A. Huayier, *The effect of infill pattern on tensile strength of PLA material in fused deposition modeling (FDM) process.* Engineering and Technology Journal, 2022. 40(12): p. 1723-1730.

9. Lubombo, C. and M.A. Huneault, *Effect of infill patterns on the mechanical performance of lightweight 3D-printed cellular PLA parts.* Materials Today Communications, 2018. 17: p. 214-228.

10. Karabeyoglu, S.S., et al., *Effects of infill pattern and density on wear performance of FDM-printed acrylonitrile-butadiene-styrene parts.* Journal of Polymer Engineering, 2021. 41(10): p. 854-862.

11. Ma, Q., et al., *Effect of infill pattern, density and material type of 3D printed cubic structure under quasi-static loading.* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021. 235(19): p. 4254-4272.

12. Lalegani Dezaki, M. and M.K.A. Mohd Ariffin, *The effects of combined infill patterns on mechanical properties in fdm process.* Polymers, 2020. 12(12): p. 2792.

ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLER İÇİN SEÇİCİ HARMONİK ELİMİNASYON YÖNTEMİNİN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

DESIGN AND SIMULATION OF SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION METHOD FOR MULTILEVEL INVERTERS

Ahmed Wael Hanafy Mahmoud Hassan AFIFI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, ORCID NO: 0009-0000-6567-758X

Asst. Prof. Yunus YALMAN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, ORCID NO: 0000-0003-1032-9814

ÖZET

Çok seviyeli eviriciler (inverterler); elektronik anahtarlar üzerindeki stresi azaltarak yüksek kaliteli çıkış dalga şekilleri üretme yetenekleri sayesinde, orta gerilim ve yüksek güç uygulamaları için gelecek vadeden bir çözüm sunmaktadır. Bu cihazlar; şebeke bağlantılı fotovoltaik dizilerde, rüzgâr enerjisi sistemlerinde ve elektrikli araç hızlı şarj istasyonlarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çıkış gerilimindeki düşük dereceli harmoniklerin varlığı, güç kalitesini önemli ölçüde düşürdüğü ve harmonik distorsiyon yoluyla şebeke performansını olumsuz etkilediği için kritik bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu harmonikler; gerilim dalgalanmalarına, transformatörlerde ve diğer elektrikli ekipmanlarda termal stresin artmasına, ayrıca koruma ve kontrol cihazlarının hatalı çalışmasına yol açabilmektedir. Sonuç olarak harmonik bozulma, güç iletim sistemlerinin güvenilirliğini ve verimliliğini olumsuz etkilemekte, işletme ve enerji maliyetlerini artırmakta ve güç kalitesi standartlarına uyulmaması nedeniyle son kullanıcılar için yasal yaptırımlara yol açabilmektedir. Seçici Harmonik Eliminasyonu (SHE), güç elektroniğinde belirli harmonikleri ortadan kaldıran darbe genişlik modülasyonu (PWM) modelleri üretmek için kullanılan bir tekniktir. Ancak, SHE probleminin doğasında var olan doğrusal olmayan denklemlerin çözülmesi, ciddi hesaplama zorluklarını beraberinde getirmektedir. Newton-Raphson (NR) gibi geleneksel cebirsel yaklaşımlar, kesin ilk tahmin değerlerine ihtiyaç duymaktadır ve yakınsama başarısızlıklarına karşı oldukça hassastır. Bu çalışmada, kademeli H-köprü çok seviyeli eviricilerde SHE probleminin çözümü için Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı bir optimizasyon çerçevesi sunulmuş ve cebirsel tabanlı bir yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Önerilen GA/PSO tabanlı yöntem, herhangi bir ilk tahmin değerine ihtiyaç duymadan çalışarak bu kısıtlamaları ortadan kaldırmakta, daha dayanıklı ve küresel olarak yakınsak bir optimizasyon stratejisi sunmaktadır. Önerilen yaklaşım, anahtarlama açısının belirlenmesini, toplam harmonik bozulmanın (THD) azaltılmasını ve seçilen harmoniklerin yok edilmesini hedefleyen bir kısıtlı minimizasyon görevi olarak formüle etmektedir. Elde edilen çözüm, herhangi bir ilk tahmine gerek duymaksızın, en iyiye yakın açı kümelerine güvenilir bir şekilde yakınsamaktadır. Algoritmanın performansı; hedeflenen harmoniklerin yok edilmesi amacıyla, farklı modülasyon indeksi koşulları altında kademeli bir H-köprü çok seviyeli evirici topolojisi üzerinde gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarıyla incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, GA ve PSO tabanlı tekniğin cebirsel yönteme kıyasla tutarlı bir şekilde daha düşük THD değerleri elde ettiğini; GA ve PSO algoritmalarının ise birbiriyle karşılaştırıldığında aynı çözüme ulaştığını göstermektedir. Bu çalışma, GA/PSO yaklaşımının çok seviyeli eviricilerde harmonik optimizasyonu için dayanıklı ve ölçeklenebilir bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, GA/PSO yönteminin SHE problemini çözmedeki ve THD'yi azaltmadaki etkinliğini göstererek güç kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Genetik Algoritma; Parçacık Sürü Optimizasyonu; Toplam Harmonik Bozulma

ABSTRACT

Multilevel inverters offer a promising solution for medium-voltage and high-power applications, due to their capacity to generate high-quality output waveforms with low stress on electronic switches. They are used in grid-connected photovoltaic arrays, wind energy systems and electric vehicle fast-charging stations. Moreover, the presence of low-order harmonics in the output voltage remains a critical challenge, as it significantly deteriorates power quality and adversely affects utility grid performance through harmonic distortion. These harmonics can lead to voltage fluctuations, increased thermal stress in transformers and other electrical equipment, as well as the malfunction of protection and control devices. Consequently, harmonic pollution negatively impacts the reliability and efficiency of power transmission systems, increases operational and energy-related costs, and may result in regulatory penalties for end users due to non-compliance with power quality standards. Selective Harmonic Elimination (SHE) is a technique used in power electronics to produce pulse-width modulation patterns that eliminate specific harmonics. Solving the nonlinear transcendental equations inherent in SHE poses considerable computational difficulties. Conventional algebraic approaches such as Newton–Raphson (NR) demand precise initial estimates and are highly susceptible to convergence failures. In this paper, Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) based optimization framework for solving the SHEs problem in cascaded H-bridge multilevel inverters is presented and compared with a Algebraic based approach. The proposed GA/PSO based method addresses these limitations by operating without requiring an initial guess, offering a more robust and globally convergent optimization strategy. The proposed approach formulates the switching angle determination as a constrained minimization task, targeting the reduction of total harmonic distortion (THD) and eliminating the selected harmonics. The solution reliably converges to near-optimal angle sets without requiring any initial estimation. The performance of the algorithm was investigated through simulation studies on a cascaded H-bridge multilevel inverter topology under different modulation index conditions for the elimination of targeted harmonics. Simulation results demonstrate that the GA and PSO based technique consistently achieves lower THD than algebraic method and GA compared to the PSO algorithm they led to the same solution. The study establishes the GA/PSO as a robust and scalable tool for harmonic optimization in multilevel inverters. It shows the efficiency of the GA/PSO in solving the SHE problem and reducing THD, leading to an improvement in the power quality.

Keywords: Genetic Algorithm; Particle Swarm Algorithm; Selective Harmonics Elimination; Total Harmonic Distortion

Introduction

The increasing of nonlinear loads in the power grids, such as inverters (Taghvaie et al., 2023), rectifiers (Page, 1958), motor drives (Jamil et al., 2007), electric arc ovens (Srivastava et al., 2019), and lighting ballasts (Mrabet et al., 2018), has led to a notable problems in the power quality (Htita et al., 2024; Kalair et al., 2017). This integration is primarily combined with the generation of harmonics (Chan et al., 2012; Rice, 1986), which have a detrimental impact on the utility grid (Khajeh et al., 2020). Consequently, these harmonic distortions can cause a problems like voltage flicker, excessive heating of transformers, and the failure of protection devices in electric grids (Desai et al., 2016; Levačić et al., 2018). Such issues negatively affect power transmission, increase energy costs, and can result in penalties for consumers. Therefore, the effective elimination of harmonics is crucial to avoid fines, higher energy costs, and equipment damage (Gadgil et al., 2023; Li et al., 2020; Rai et al., 2020).

Multilevel inverters are widely employed in power industrial (Kouro et al., 2010) and utility applications (Tolbert et al., 2000) due to their ability to produce low harmonic components at low switching frequencies, resulting in lower losses and reduced EMI (Zhang et al., 2000). Among various topologies, the Cascaded H-bridge Multi-level Inverter (CHB-MLI) is favored for high-power applications due to its modular structure and minimal device count. SHE is a critical control technique for these inverters, where switching angles are pre-calculated to eliminate specific low-order harmonics, thereby minimizing the THD and the need for large output filters. The SHE problem involves solving a system

of transcendental equations, which can be approached through iterative techniques NR (Saifizi et al., 2021; Manai et al, 2019; Abd Halim et al., 2017) or evolutionary algorithms including GA (Reyes et al., 2018) and PSO (Sadoughi et al., 2022; Etesami et al., 2017; Omar et al., 2019).

SHE is an advanced technique utilized in inverters to produce pulse-width modulation patterns specifically designed to eliminate particular harmonics. By decreasing the THD and maintaining a high-power factor, SHE significantly enhances the overall power quality of the power system. Furthermore, SHE allows for precise control over the amplitude of the fundamental frequency component while simultaneously removing certain lower-order harmonics from the output voltage spectrum. This is accomplished by adjusting a set of firing angles for the power semiconductor components of the inverter within each fundamental cycle. SHE techniques employ various modulation strategies (Ali et al., 2024; Subramanian et al., 2024), including pulse width modulation, phase disposition (Zhou et al., 2023), and phase opposition disposition (Zhang et al., 2023), to eliminate lower-order harmonics in multilevel inverters (Teja, 2021).

(Alamri et al., 2015) presents a comparative study of three distinct techniques—NR, GA and PSO—for solving the Selective Harmonic Elimination problem in a 7-level CHB-MLI. The study indicates that GA generally achieves lower THD values compared to PSO, especially at lower modulation indices. For higher modulation indices (e.g., Mi $\geq$ 0.65), both GA and PSO yield very similar and low THD values, often around 5.2%.

(Hamidi et al., 2025) employs PSO to solve the SHE equations and determine optimized switching angles for CHB-MLIs. The objective function for PSO is designed to minimize the THD of the output voltage while eliminating specific lower-order harmonics. The study compares the performance of SHE-PSO against two simpler methods: Sine-Based Calculation (SBC) and NR-based SHE. The simulations are conducted using MATLAB/Simulink, and the performance is evaluated based on individual harmonic content and overall THD at different output levels (3L, 5L, and 7L).

This paper discusses the solutions for SHE applied to the 7-level CHB-MLI using GA and PSO. The performance of the proposed method is verified using MATLAB/Simulink. The proposed method introduces a new control technique (Afifi et al., 2026) for controlling the firing angles of the 7-level CHB-MLI. The performance of the proposed method is compared with the algebraic method for solving the SHE problem. The paper structure is organized as follows. In the next section, the methodology, including NR, GA, and PSO, is discussed. In the last section, the simulation and results are presented. Finally, the conclusion section is presented.

Methodology

The proposed methodology formulates the harmonic elimination problem as a system of non-linear transcendental equations, which are transformed into a multi-variable optimization problem aimed to remove a desired set of odd non-triplet harmonics to minimize of THD to comply with IEEE Standard 519 while maintaining the desired fundamental voltage according to a certain modulation index.

Newton-Raphson Method and Fmincon function

The Newton-Raphson method is an iterative technique widely used for solving nonlinear equations. While easy to implement and effective when it converges, NR is sensitive to the initial guess and may fail to converge for certain operating points or modulation indices. NR method is designed for unconstrained optimization or root-finding. In this study, NR is replaced by fmincon function from MATLAB's Optimization Toolbox, which is designed to find the minimum of a constrained nonlinear multivariable function. Fmincon handles constrained optimization problems, which require more sophisticated techniques to manage the boundaries and nonlinear constraints. The function internally uses the Interior-Point algorithm to search for the optimum from inside the feasible region. Instead of allowing the iterates to violate the constraints, it transforms the constrained problem into a sequence of

unconstrained subproblems by adding a barrier function. These subproblems are then solved using methods that often involve NR steps.

Genetic Algorithm

A heuristic global evolutionary optimization method inspired by natural selection. The SHE problem is transformed into a constrained optimization problem. GA involves initializing a population of chromosomes (representing switching angles), evaluating their fitness (minimizing THD and satisfying voltage requirements), and applying genetic operators like selection, crossover, and mutation.

Particle Swarm Optimization

A population-based optimization technique inspired by the social behavior of bird flocking or fish schooling. Particles (potential solutions) move through the search space, updating their positions based on their own best-found position (pbest) and the global best-found position (gbest) of the swarm. PSO is known for its simplicity and effectiveness in solving continuous optimization problems. In this study, the GA and PSO algorithms are discussed in order to solve the system of nonlinear equations of the SHE problem. The results are compared with fmincon method solution. Figure 1 presents the basic block diagram for the proposed system. A feedback loop, implemented via an FFT and harmonic analyzer, monitors harmonic content and THD in real time, generating an error signal used to refine the switching angles through GA/PSO optimizations. This GA/PSO optimization block computes the angle set required to achieve the target harmonic profile, producing the optimal switching angles (β_1, β_2, ..., β_n), which are passed to the PWM controller. The PWM generator then translates these optimized angles into gate signals, shaping the inverter's switching pattern to yield the desired output voltage waveform.

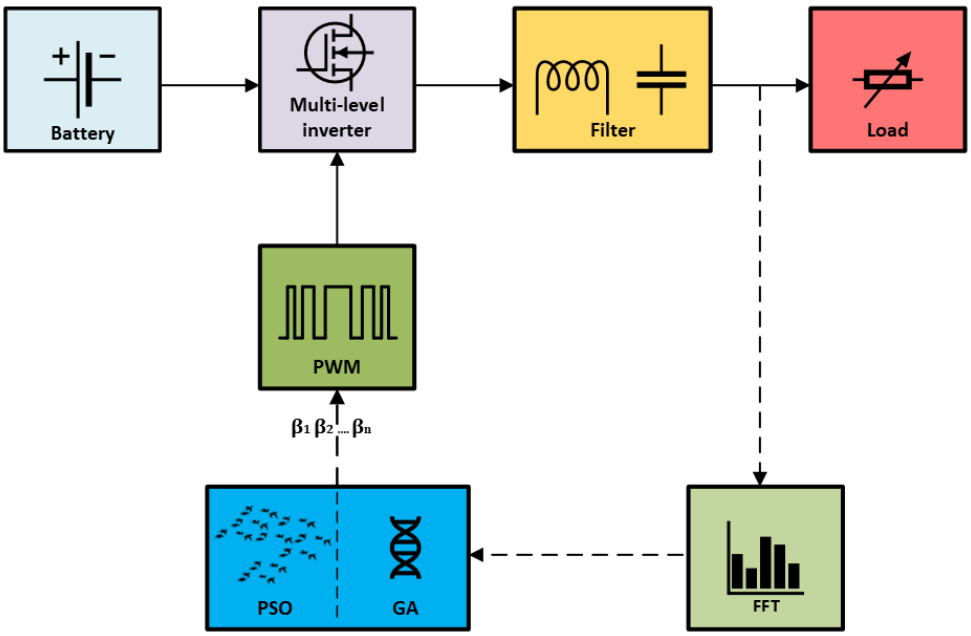


Figure 1. Block diagram of the proposed system using GA/PSO

7-level multilevel inverter

This study focuses on a 7-level CHB-MLI. It consists of three H-bridge modules. Each H-bridge module is supplied by a 100 V DC source, which can be a battery system or PV cells. These modules are

connected in series as shown in Figure 2. The output voltage waveform is synthesized by combining the outputs of these cells to produce a staircase-like sinusoidal signal, as shown in Figure 3. For a 7-level inverter, there are three switching angles (β1, β2, β3) that satisfy the inequality constraint as shown in Equation (1). The magnitude of each harmonic to be eliminated is determined according to Equations (2) to (4) in which the value is set to be zero to eliminate the 5th, 7^{th,} and 11th harmonics.

$$\beta1 + \beta2 + \beta3 < 90° \quad (1)$$

$$V_5 = cos(5\beta_1) + cos(5\beta_1 + 5\beta_2) + cos(5\beta_1 + 5\beta_2 + 5\beta_3) = 0 \quad (2)$$

$$V_7 = cos(7\beta_1) + cos(7\beta_1 + 7\beta_2) + cos(7\beta_1 + 7\beta_2 + 7\beta_3) = 0 \quad (3)$$

$$V_{11} = cos(11\beta_1) + cos(11\beta_1 + 11\beta_2) + cos(11\beta_1 + 11\beta_2 + 11\beta_3) = 0 \quad (4)$$

The modulation index (m_i) can be calculated using the formula in Equation (5)

$$m_i = \frac{4}{3\pi}(cos(\beta_1) + cos(\beta_1 + \beta_2) + cos(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)) \quad (5)$$

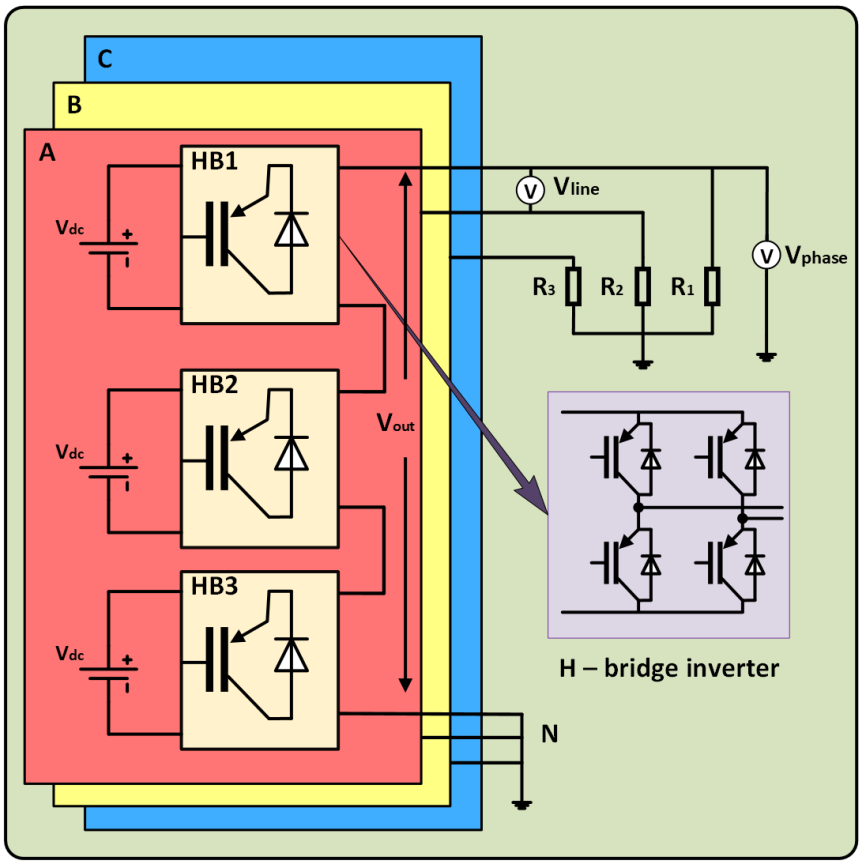


Figure 2. The hardware configuration for 7-Level CHB-MLI

Figure 2 illustrates the configuration of a three-phase, seven-level cascaded H-bridge multilevel inverter (CHB-MLI) utilizing equal DC sources. The resulting output phase voltage waveform is depicted in Figure 3.

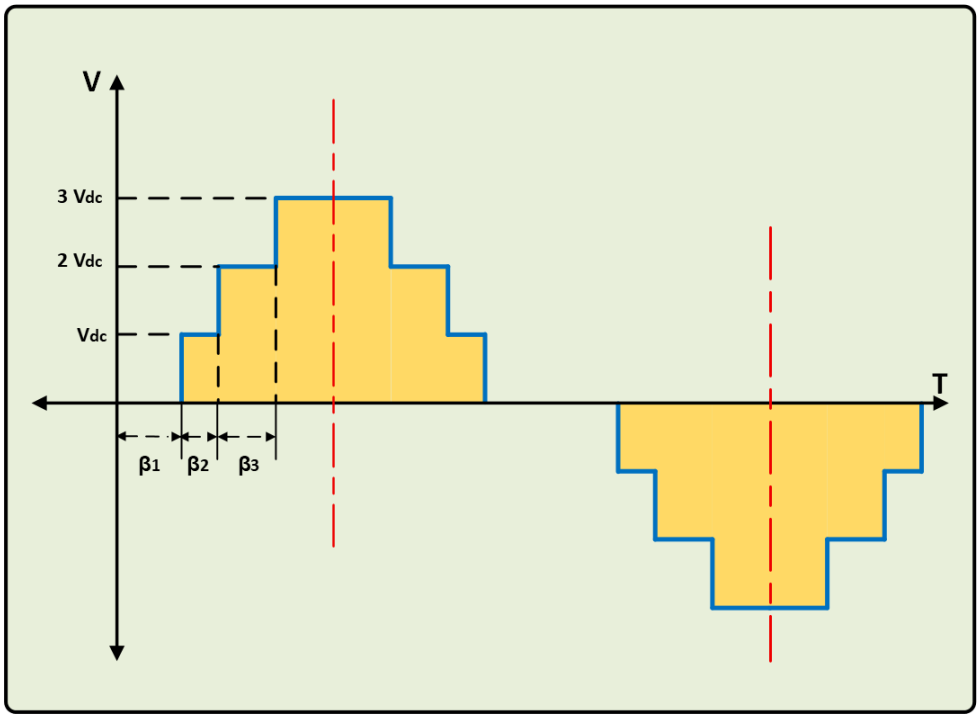


Figure 3. The phase voltage output waveform for 7-level CHB-MLI

Simulation and Results

This section presents a comparative analysis of the performance of 7-level CHB-MLI in addressing the SHE problem. Optimization was performed using GA&PSO, with comparisons with the results obtained using MATLAB Fmincon. The evaluation focuses on THD. The system comprises a DC source supplying the inverter's DC link voltage, typically 100V. The power inverter is configured as a series-connected chain of H-bridge modules, each producing a single-phase three-level output to collectively generate a multilevel output waveform. The primary objective is to enhance the THD, with a resistive load employed throughout the study. MATLAB Simulink is employed to evaluate the performance of the GA/PSO-based SHE technique. The objective is to suppress the 5th, 7th and 11th harmonics while measuring the possible modulation index for each solution. These outcomes of GA and PSO are compared against those obtained via MATLAB Fmincon function, which is presented in Table 1. The results of PSO&GA are shown in Tables 2 and 3, respectively.

Table 1. 7-level MLI SHE solution using Fmincon function method

mi	β1	β2	β3	Fitness value	THD Phase %	THD Line %
1.1718	7.1163	8.7531	20.344	7.03e-05	18.02	6.76
1.0211	11.5088	16.9601	28.3699	2.08e-04	12.5	8.85
0.921	15.81	24.7664	22.7835	1.18e-04	18.78	11.37
0.8379	24.288	26.6497	13.4342	8.49e-05	30.67	10.19

0.779	8.6141	28.8004	49.5756	8.41e-05	18.51	10.59
0.7074	38.0058	15.8714	19.3076	8.06e-05	45.42	13.43
0.5751	39.5102	20.8384	24.5585	9.00e-05	48.08	15.19

Table 2. 7-level MLI SHE solution using PSO

mi	β1	β2	β3	Fitness value	THD Phase %	THD Line %
1.1718	7.0964	8.7648	20.3165	4.01e-08	18.04	6.67
1.0211	11.5171	16.849	28.5311	2.08e-10	12.52	8.79
0.921	15.7722	24.7591	22.8401	5.55e-08	18.75	11.34
0.8379	24.3256	26.6244	13.4393	1.11e-07	30.7	10.19
0.779	8.5745	28.8437	49.5743	1.01e-09	18.51	10.59
0.7074	38.0195	15.8681	19.3403	1.98e-07	45.42	13.45
0.5751	39.5277	20.8438	24.5966	5.00e-07	48.05	15.23

Table 3. 7-level MLI SHE solution using GA

mi	β1	β2	β3	Fitness value	THD Phase %	THD Line %
1.1718	7.0965	8.7646	20.3167	3.96e-08	18.04	6.67
1.0211	11.5171	16.849	28.5311	1.59e-10	12.52	8.79
0.921	15.7721	24.7592	22.8401	5.53e-08	18.75	11.34
0.8379	24.3257	26.6243	13.4392	1.10e-07	30.7	10.19
0.779	8.5652	28.8555	49.5645	1.63e-06	18.53	10.58
0.7074	38.0192	15.8685	19.3403	1.96e-07	45.42	13.45
0.5751	39.527	20.8442	24.5967	4.90e-07	48.05	15.23

The results demonstrate that PSO and GA yield identical and consistent solutions, with both algorithms achieving lower fitness values than fmincon, highlighting their optimization accuracy. Moreover, the THD minimization achieved by GA and PSO shows a slight improvement over the fmincon function, with this performance enhancement becoming more pronounced at higher modulation indices. Notably, the optimal THD value converges to approximately 6.67%

Figures 4, 5, and 6 illustrate the output voltage waveform, along with the corresponding FFT analyses for the phase and line voltages, respectively, under a modulation index mi of 1.0211 and a DC link voltage of 100 V.

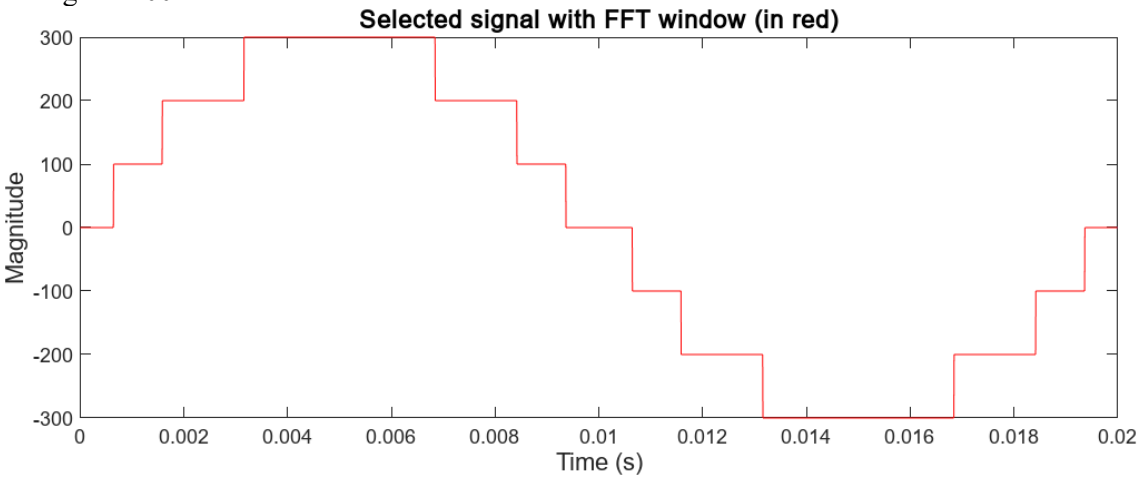


Figure 4. Output voltage waveform for 7-level MLI for mi=1.0211

Figure 4 shows the staircase output voltage waveform of the 7-level CHB-MLI, which closely approximates a sinusoidal reference and satisfies quarter-wave symmetry. By applying the FFT to this waveform, the 5th, 7th, and 11th harmonic components are found to be completely eliminated, as depicted in Figure 5. This successfully confirms the efficacy of the proposed algorithm in mitigating the targeted low-order harmonics.

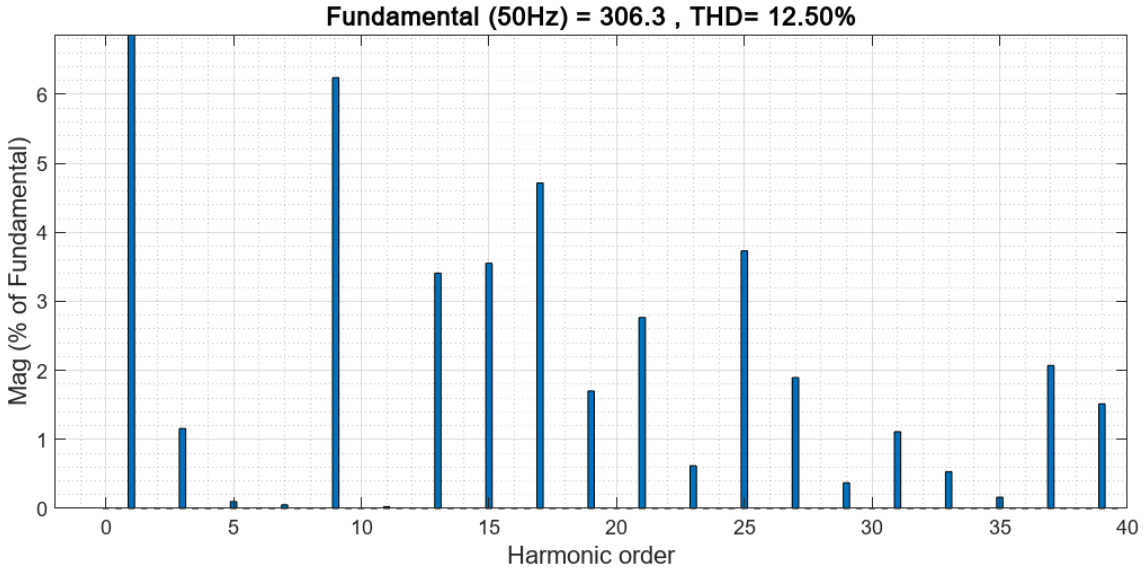


Figure 5. FFT for the phase voltage for mi=1.0211

In a three-phase system, triplen harmonics (the 3rd, 9th, 15th, 21st, etc.) are inherently eliminated from the line-to-line voltage even if they are present in the phase-to-neutral voltages. This phenomenon is a result of the mathematical relationship between phases in a balanced system. Because they are zero-sequence, they act like a "common-mode" signal. In a three-wire system (Delta connection or ungrounded Wye), there is no path for zero-sequence currents to flow, and the potential difference between any two lines (line-to-line voltage) will always be zero for these components. The FFT of the line voltage is shown below in Figure 6

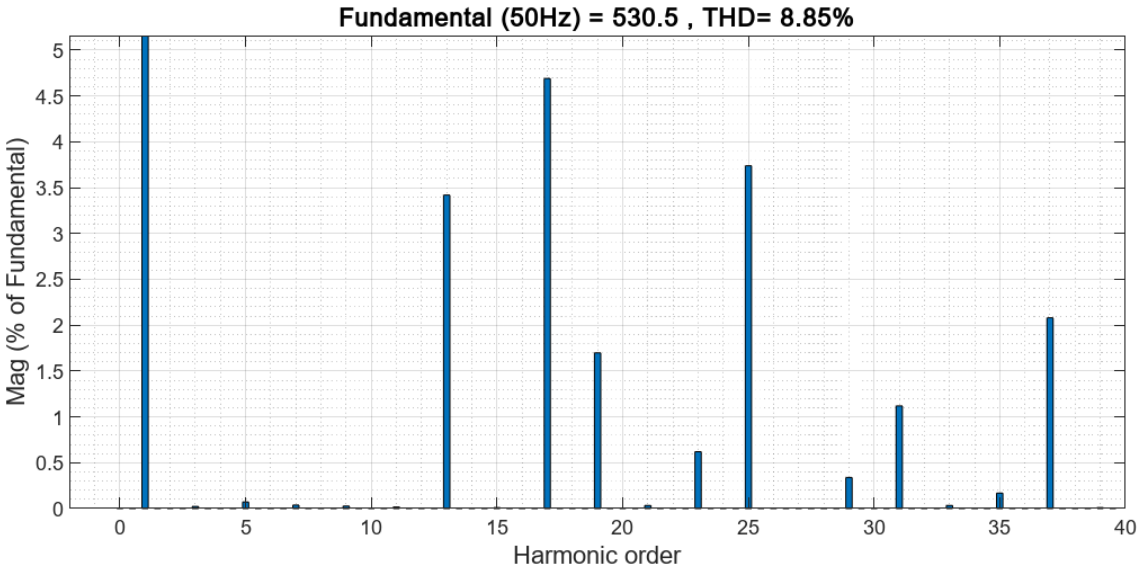


Figure 6. FFT for the line voltage for mi=1.0211

Figure 7 presents the THD variation across different modulation indices. It is evident from the plot that higher modulation indices minimize the THD within the CHB-MLI framework .

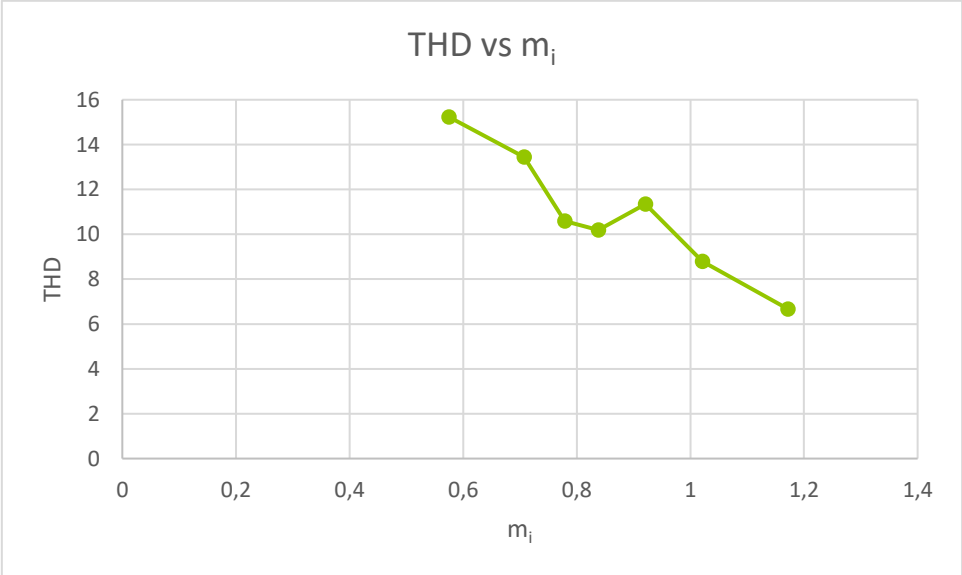


Figure 7. THD vs Modulation index

Conclusion

This study proposes an optimization methodology based on GA and PSO for SHE, evaluating its performance against the standard algebraic approach. The simulation results validate the robust optimization capabilities of the proposed GA and PSO frameworks under varying operating conditions. The GA and PSO algorithms demonstrate equivalent performance in THD reduction, particularly within the higher spectrum of modulation indices. The findings indicate that for $m_i > 0.604$, the THD consistently decreases as the modulation index rises. This trend represents a vital design guideline: operating the inverter near unity modulation allows for full exploitation of its multilevel characteristics, which inherently reduces harmonic content. In this optimal operating zone, both methods yield identical THD levels, successfully reaching a minimum optimal value of 6.67%.

References

Abd Halim, W., Tengku, T. N. A., Applasamy, K., & Jidin, A. (2017). Selective harmonic elimination based on newton-raphson method for cascaded H-bridge multilevel inverter. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), 8(3), 1193-1202.

Afifı, A. W. H. M. H., & Yalman, Y. Genetic Algorithm-Based Optimization of Switching Angles in Inverter for Selective Harmonic Elimination. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(3), 641-653.

Alamri, B., Sallama, A., & Darwish, M. (2015, February). Optimum SHE for cascaded H-bridge multilevel inverters using: NR-GA-PSO, comparative study. In 11th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (p. 063). Stevenage UK: IET.

Ali, M., Al-Ismail, F. S., Gulzar, M. M., and Khalid, M., 2024. A review on harmonic elimination and mitigation techniques in power converter-based systems. Electric Power Systems Research, 234,110573

Chan, R., Daut, I., Hasan, S., and Hasim, N., 2012. Influence of Harmonics in Laboratory due to Nonlinear Loads. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), 2,2, 219–224.

Desai, J. V., Dadhich, P. K., and Bhatt, P. K., 2016. Investigations on Harmonics in Smart Distribution Grid with Solar PV Integration. Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, 1,1, 11.

Etesami, M., Ghasemi, N., Vilathgamuwa, D. M., & Malan, W. L. (2017). Particle swarm optimisation-based modified SHE method for cascaded H-bridge multilevel inverters. IET Power Electronics, 10(1), 18-28.

Gadgil, K. S., Khampariya, P., & Bakre, S. M. (2023). Investigation of power quality problems and harmonic exclusion in the power system using frequency estimation techniques. The Scientific Temper, 14(01), 150-156.

Hamidi, M. N., & Ishak, D. (2025). Particle swarm optimization effectiveness for selective harmonic elimination in multilevel inverters at varying output levels. Majlesi Journal of Electrical Engineering, 19(2 (June 2025)).

Htita, I., Abdalla, O. H., El Korfolly, M. I., & Elmasry, S. (2024). Nonlinear Loads Modelling and Harmonics Analysis: A Review. Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering (Formerly Recent Patents on Electrical & Electronic Engineering), 17(5), 429-443.

Jamil, M., Hashmi, G. M., Syed, Z. A., & Awais, Q. (2007, July). Harmonics in adjustable speed drives: causes, effects, and solutions. In 2007 International Conference on Information and Emerging Technologies (pp. 1-6). IEEE.

Kalair, A., Abas, N., Kalair, A. R., Saleem, Z., & Khan, N. (2017). Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 1152-1187.

Khajeh, K. G., Solatialkaran, D., Zare, F., and Mithulananthan, N., 2020. Harmonic analysis of grid-connected inverters considering external distortions: addressing harmonic emissions up to 9 kHz. IET Power Electronics, 13,10, 1934–1945.

Kouro, S., Malinowski, M., Gopakumar, K., Pou, J., Franquelo, L. G., Wu, B., ... & Leon, J. I. (2010). Recent advances and industrial applications of multilevel converters. IEEE Transactions on industrial electronics, 57(8), 2553-2580.

Levačić, G., Župan, A., & Čurin, M. (2018, April). An overview of harmonics in power transmission networks. In 2018 First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet) (pp. 1-6). IEEE.

Li, J., Fang, H., Liao, C., & Du, J. (2020). A new method for determination of harmonic responsibility based on quality engineering theory. IEEE Access, 8, 119071-119081.

Manai, L., Armi, F., & Besbes, M. (2019). Newton-Raphson algorithm–based modified SHE for CHB multilevel inverter control considering capacitor voltage balancing and power factor variation. International transactions on electrical energy systems, 29(12), e12126.

Mrabet, B. M., Chammam, A. M., & Nsibi, W. (2018, March). Experimental study of electrical and harmonics characteristics of LED bulbs and comparison with different other lamp-ballast systems. In 2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD) (pp. 923-928). IEEE.

Omar, R., Rasheed, M., & Sulaiman, M. (2019, June). A single phase of modified multilevel inverter using particle swarm optimization (PSO) algorithm. In 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS) (pp. 91-95). IEEE.

PAGE, C. H. (1958). Harmonic generation with ideal rectifiers. Proceedings of the IRE, 46(10), 1738-1740.

Rai, N., & Chakravorty, S. (2020, September). A review on the generalized formulations for selective harmonic elimination (SHE-PWM) strategy. In 2020 IEEE First International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC) (pp. 1-6). IEEE.

Reyes, M. M., Alquicira, J. A., Aldaco, S. D. L., Campos, E. M. A., & Severiano, Y. R. (2018, October). Calculation of Optimal Switching Angles for a Multilevel Inverter using NR and GA-a comparison. In 2018 14th International Conference on Power Electronics (CIEP) (pp. 22-27). IEEE.

Rice, D. E. (1986). Adjustable speed drive and power rectifier harmonics-their effect on power systems components. IEEE Transactions on Industry Applications, (1), 161-177.

Sadoughi, M., Pourdadashnia, A., Farhadi-Kangarlu, M., & Galvani, S. (2022). PSO-optimized SHE-PWM technique in a cascaded H-bridge multilevel inverter for variable output voltage applications. IEEE Transactions on Power Electronics, 37(7), 8065-8075.

Saifizi, M., Kasdi, N. S., Rahim, H. A., Mashagba, H. A., Mustafa, W. A., Aihsan, M. Z., & Sulong Syahmi, M. M. (2021, July). Selective harmonic elimination of five level cascaded H-bridge inverter using the Newton-Raphson technique. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1962, No. 1, p. 012023).

Srivastava, A., & Singh, A. (2019). Harmonics generated by Electric Arc Furnace in Electric Power System-A Review. SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology, 11(01), 57-62.

Subramanian, N., & Stonier, A. A. (2024). A comprehensive review on selective harmonic elimination techniques and its permissible standards in electrical systems. IEEE Access, 12, 141966-141998.

Taghvaie, A., Warnakulasuriya, T., Kumar, D., Zare, F., Sharma, R., & Vilathgamuwa, D. M. (2023). A comprehensive review of harmonic issues and estimation techniques in power system networks based on traditional and artificial intelligence/machine learning. IEEE Access, 11, 31417-31442.

Teja, B. R., 2021. Carrier based PD and POD PWM Technique for MLI. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 9,6, 5410–5415. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET).

Tolbert, L. M., & Peng, F. Z. (2000, July). Multilevel converters as a utility interface for renewable energy systems. In 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134) (Vol. 2, pp. 1271-1274). IEEE.

Zhang, H., Von Jouanne, A., Dai, S., Wallace, A. K., & Wang, F. (2000). Multilevel inverter modulation schemes to eliminate common-mode voltages. IEEE transactions on industry applications, 36(6), 1645-1653.

Zhang, P., Wu, X., Li, B., Ding, L., Long, J., Zhang, W., & Li, Y. (2023). Reduction of common-mode voltage and np voltage oscillation for three-level vienna rectifiers using alternative phase opposition disposition pwm. IEEE transactions on industrial electronics, 71(8), 8237-8247.

Zhou, F., Xiang, X., Ma, F., Wang, Y., Zhou, F., & Peng, P. (2023). An improved phase-disposition pulse width modulation method for hybrid modular multilevel converter. Energies, 16(3), 1192.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

BORU PERFORASYON PARAMETRELERİNİN REAKTİF BİR SUSTURUCUNUN AKUSTİK DAVRANIŞINA ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

NUMERICAL INVESTIGATION OF PIPE PERFORATION PARAMETERS ON THE ACOUSTIC BEHAVIOR OF A REACTIVE MUFFLER

Hakan KESKİN

Manisa Celal Bayar Universitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye. Dinex Egzoz ve Emisyon Teknolojileri A/S, Tekirdağ, Türkiye. ORCID NO:0009-0005-7221-5611

Prof. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL

Manisa Celal Bayar Universitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, ORCID NO:0000-0002-5453-2091

ÖZET

Bu çalışmada, boru perforasyon parametrelerinin reaktif bir susturucunun akustik davranışı üzerindeki etkisi COMSOL Multiphysics kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Susturucu tasarımında oda boyutları ve dış gövde geometrisine odaklanan çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, perfore boru karakteristiklerinin akustik performansa olan katkısı halen detaylı araştırılması gereken önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle çalışmada, perfore boru parametreleri ile reaktif susturucu içerisindeki ses dalgası yayılım mekanizmaları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Analizlerde referans bir susturucu geometrisi kullanılmış ve tüm çalışmalar boyunca dış gövde yapısı sabit tutulmuştur. Tasarım değişkenleri olarak perfore delik çapı ve boru porozitesi seçilmiştir. Bu parametreler sistematik olarak değiştirilerek farklı perfore boru konfigürasyonları oluşturulmuş, buna karşılık çalışma koşulları, akışkan özellikleri ve sınır şartları tüm analizlerde aynı tutulmuştur. Böylece elde edilen akustik farklılıkların doğrudan perforasyon parametrelerinden kaynaklanması sağlanmıştır.

Her bir konfigürasyonun akustik performansı; iletim kaybı, ses basınç seviyesi dağılımları, akustik basınç alanı karakteristikleri ve frekansa bağlı sönümleme davranışları kullanılarak değerlendirilmiştir. Özellikle delik çapı ve porozitenin, perfore akış yolu ile çevresindeki genleşme hacmi arasındaki akustik etkileşim mekanizmalarına olan etkisi araştırılmıştır. İncelenen parametre kombinasyonları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve ses sönümleme verimi ile dalga enerjisinin yeniden dağılımı üzerindeki eğilimler belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçların, perforasyon kaynaklı akustik olayların daha iyi anlaşılmasına katkı sağlaması ve yüksek performanslı reaktif susturucuların tasarımına yönelik mühendislik verileri sunması hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışmanın, transfer empedansı karakterizasyonu, perfore yapı modellemeleri ve gelişmiş egzoz susturucu optimizasyon yöntemlerine yönelik gelecekteki araştırmalar için sayısal bir temel oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Boru Perforasyonu, Perfore Boru, Reaktif Susturucu, İletim Kaybı, Boru Porozitesi, Delik Çapı, Akustik Sönümleme, COMSOL Multiphysics

ABSTRACT

This study presents a numerical investigation of pipe perforation parameters and their influence on the acoustic behavior of a reactive muffler using COMSOL Multiphysics. While numerous studies have focused on chamber dimensions and external shell geometry, the acoustic contribution of perforated tube characteristics remains an important subject requiring further investigation. The present work specifically examines the interaction between perforated pipe parameters and sound wave propagation mechanisms within a reactive muffler configuration.

A reference muffler geometry was adopted and maintained throughout all analyses in order to isolate the effects of pipe perforation characteristics. The investigated design variables include perforation hole diameter and pipe porosity. Multiple perforated tube configurations were generated by systematically varying these parameters while preserving identical operating conditions, fluid properties, and boundary conditions. This methodology enables a direct assessment of perforation-related acoustic effects without introducing additional geometric influences associated with chamber modifications.

The acoustic response of each configuration was evaluated using transmission loss, sound pressure level distributions, acoustic pressure field characteristics, and frequency-dependent attenuation behavior. Particular attention was given to the influence of perforation diameter and porosity on acoustic coupling mechanisms between the perforated flow passage and the surrounding expansion chamber. The investigated parameter combinations were comparatively analyzed to identify trends associated with sound attenuation efficiency and wave energy redistribution.

The findings are expected to contribute to a better understanding of perforation-induced acoustic phenomena and provide practical guidance for the design of high-performance reactive mufflers. Furthermore, the obtained results establish a numerical foundation for future studies involving transfer impedance characterization, perforated structure modeling, and advanced exhaust silencer optimization methodologies

Keywords: Pipe Perforation, Perforated Tube, Reactive Muffler, Transmission Loss, Pipe Porosity, Hole Diameter, Acoustic Attenuation, COMSOL Multiphysics

INTRODUCTION

Noise pollution has become an increasingly important environmental issue in modern urban regions due to rapid industrialization, population growth, and the continuous expansion of transportation systems (Mishra et al., 2021; Patel et al., 2024). Among various noise sources, road transportation systems represent one of the dominant contributors to environmental noise exposure, particularly in densely populated urban areas. Internal combustion engine vehicles generate significant acoustic pressure fluctuations during operation, and exhaust systems constitute one of the primary pathways through which this acoustic energy is transmitted to the surrounding environment.

Continuous exposure to elevated noise levels may negatively affect both human health and environmental quality. Previous studies have associated long-term noise exposure with sleep disorders, stress, reduced concentration, cardiovascular diseases, and hearing-related health risks (Babisch and Kamp, 2009; Gupta et al., 2018). In addition to physiological effects, excessive environmental noise may reduce communication quality and overall quality of life while contributing to increased environmental stress (Daiber and Münzel, 2020). Consequently, reducing exhaust-generated noise remains an important objective in automotive acoustic engineering.

To mitigate exhaust noise, mufflers are widely employed in automotive exhaust systems. Reactive mufflers attenuate acoustic energy primarily through wave reflection, destructive interference, chamber expansion, and resonance mechanisms occurring within enclosed cavities. The effectiveness of these attenuation mechanisms is strongly influenced by muffler geometry, chamber dimensions, and internal flow-path characteristics (Reddy and Prakash, 2016; Yimer and Nallamothu, 2025). As a result, the acoustic performance of reactive mufflers is highly dependent on the interaction between propagating pressure waves and the internal configuration of the silencer.

The acoustic performance of mufflers is commonly evaluated using Transmission Loss (TL), which represents the difference between incident and transmitted acoustic power through the system. Parameters such as chamber volume, expansion ratio, chamber length, baffle arrangement, and perforated structures significantly affect transmission loss characteristics. Previous investigations demonstrated that properly designed reactive mufflers can provide substantial attenuation over a broad

frequency range, whereas insufficient chamber volume or unfavorable geometrical configurations may lead to limited acoustic performance (Reddy and Prakash, 2016; Wankhade and Bhattu, 2015).

Among the numerous design variables used in modern muffler systems, perforated pipes have attracted considerable attention due to their ability to enhance acoustic interaction between the main flow duct and the surrounding chamber volume. Unlike conventional expansion chambers, perforated mufflers allow acoustic energy exchange through distributed openings along the pipe surface. This interaction modifies pressure-wave propagation, resonance behavior, and energy redistribution inside the muffler cavity. Numerical investigations performed by Peat (1988) demonstrated that perforated pipe characteristics strongly influence the acoustic response of reactive silencers and may significantly alter transmission loss behavior.

The acoustic performance of perforated mufflers is governed by several perforation-related parameters, including hole diameter, perforation spacing, perforated length, and perforation porosity. Among these variables, perforation porosity is particularly important because it directly determines the open area available for acoustic communication between the perforated duct and the surrounding chamber. Low porosity values may restrict acoustic coupling and limit energy transfer into the chamber volume, whereas excessive porosity may alter the reactive characteristics of the system and reduce attenuation efficiency at certain frequency ranges. Therefore, identifying an appropriate porosity level is essential for achieving effective acoustic attenuation.

Recent numerical studies have shown that finite element methods provide a powerful tool for investigating muffler acoustic behavior and evaluating the influence of design parameters on transmission loss performance. Finite element-based approaches allow detailed visualization of sound pressure distributions, acoustic energy propagation, and resonance patterns within complex muffler geometries (Allam, 2014). Such methods are particularly suitable for perforated muffler investigations because they enable systematic evaluation of perforation-related parameters without the need for multiple physical prototypes.

The present study numerically investigates the influence of perforation porosity on the acoustic performance of a perforated reactive muffler using COMSOL Multiphysics. The external muffler geometry and perforation diameter were maintained constant throughout the analyses, while the perforation ratio was systematically varied between different configurations. The investigated cases were evaluated using Transmission Loss (TL), Sound Pressure Level (SPL) distributions, acoustic pressure fields, and acoustic intensity streamlines. The primary objective is to determine how perforation porosity influences acoustic attenuation behavior and to identify a suitable porosity range capable of improving muffler performance while maintaining the same overall geometric configuration.

METHODOLOGY

The present study investigates the influence of perforation parameters on the acoustic performance of a reactive muffler using a three-dimensional finite element approach. The numerical analyses were performed in COMSOL Multiphysics within the Pressure Acoustics, Frequency Domain environment. The investigation was conducted in two consecutive stages. First, the effect of perforation hole diameter was evaluated while maintaining a constant perforation ratio. Subsequently, the optimum hole diameter obtained from the preliminary analysis was used as a fixed parameter for the perforation porosity investigation.

All configurations were evaluated under identical acoustic conditions to ensure direct comparability of the results. Acoustic performance was assessed using Transmission Loss (TL), Sound Pressure Level (SPL) distributions, acoustic pressure isosurfaces, and acoustic intensity streamlines. This approach enabled both quantitative and qualitative evaluation of acoustic attenuation mechanisms within the muffler cavity.

The adopted methodology was designed to isolate the influence of individual perforation parameters while maintaining all other geometric and numerical conditions unchanged. Consequently, the observed variations in acoustic performance can be directly attributed to changes in perforation diameter and perforation porosity.

Reference Concept and System Description

The investigated muffler consists of an elliptical expansion chamber incorporating a straight-through central pipe connecting the inlet and outlet sections. The perforated pipe is positioned along the longitudinal axis of the chamber and enables acoustic interaction between the main flow path and the surrounding cavity volume.

A non-perforated configuration was adopted as the reference model (D0) and used as the baseline for all subsequent comparisons. This configuration represents the optimum reactive muffler geometry previously identified through geometric optimization studies. The external shell dimensions, chamber length, inlet diameter, outlet diameter, and perforated pipe length were maintained constant throughout the present investigation.

Only perforation-related parameters were modified during the numerical analyses. Therefore, the influence of hole diameter and perforation porosity could be evaluated independently without interference from external geometric variations. Figure 1 illustrates the reference muffler geometry, while the hole diameter is 0 and porosity is 0 input conditions employed in the reference numerical model.

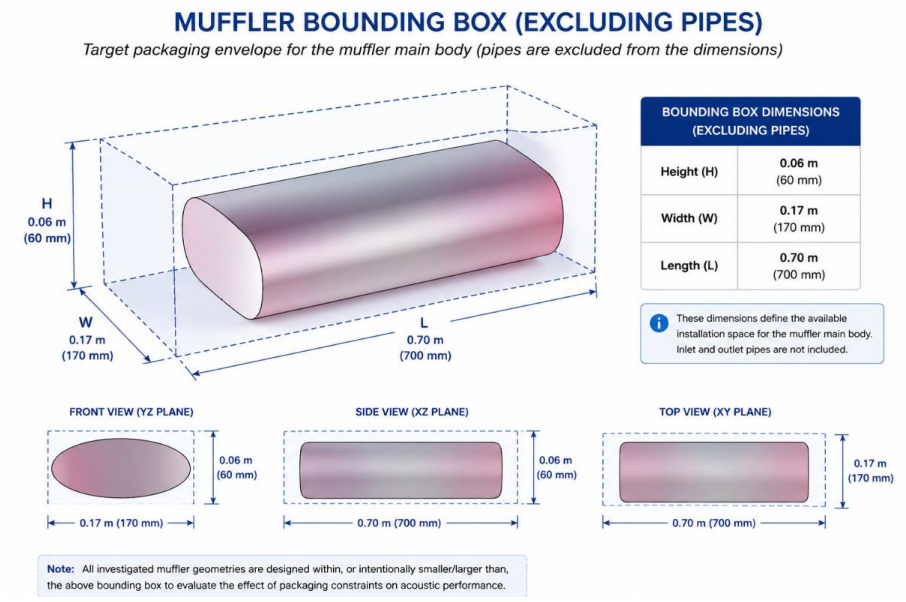


Figure 1. Reference muffler geometry with principal dimensions

Numerical Modelling and Simulation Procedure

The numerical acoustic analyses were performed using COMSOL Multiphysics within the Pressure Acoustics, Frequency Domain interface. The numerical model was developed to investigate the influence of perforation diameter and perforation porosity on the acoustic performance of a reactive muffler under identical operating conditions.

The acoustic domain inside the muffler was modeled as a compressible air medium. Acoustic wave propagation was solved in the frequency domain using the Helmholtz equation:

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_0} \nabla p \right) - \frac{\omega^2}{\rho_0 c^2} p = 0 \quad (2.1)$$

where $p$represents acoustic pressure, $\rho_0$is air density, $c$is the speed of sound, and ωdenotes angular frequency.

The frequency-domain approach was selected because it provides an efficient and stable framework for evaluating acoustic wave propagation, resonance formation, and transmission loss characteristics in reactive muffler systems. Furthermore, this method enables direct visualization of pressure distributions and acoustic energy propagation patterns associated with different perforation configurations.

The inlet boundary was defined using an incident plane acoustic wave with a pressure amplitude of 1 Pa. At the outlet boundary, a plane-wave radiation condition was applied to minimize artificial reflections leaving the computational domain. All external walls were modeled using sound-hard boundary conditions assuming acoustically rigid surfaces. Structural vibration effects and acoustic-structure interaction phenomena were neglected.

The same boundary conditions and material properties were applied to all investigated configurations. Consequently, any variation in acoustic performance can be directly attributed to changes in perforation diameter and perforation porosity.

A physics-controlled tetrahedral mesh was generated for all numerical models. Additional local refinement was applied around the perforated pipe region to accurately capture acoustic pressure gradients and energy transfer mechanisms occurring through the perforation openings. The maximum mesh size was selected according to the acoustic wavelength criterion:

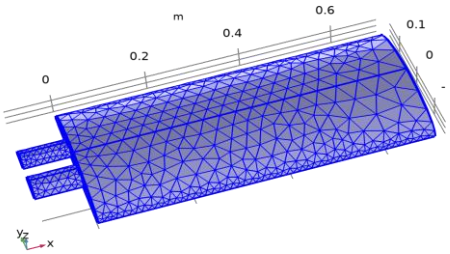
$$h_{max} \leq \frac{\lambda_{min}}{8} \quad (2.2)$$

where h_{max}represents the maximum element size and λ_{min}denotes the minimum acoustic wavelength within the investigated frequency range. Table 1 summarizes the principal mesh statistics employed in the numerical analyses.

Table 1. COMSOL mesh statistics

Description	Value
Status	Complete mesh
Mesh vertices	3099
Tetrahedra	13225
Triangles	4325
Edge elements	705
Vertex elements	84
Number of elements	13225
Minimum element quality	0.2401

Description	Value
Average element quality	0.6549
Element volume ratio	0.0013817
Mesh volume	0.01044 m³



The acoustic attenuation performance of each configuration was evaluated using Transmission Loss (TL), which represents the logarithmic ratio between incident and transmitted acoustic power. The incident and transmitted acoustic power levels were calculated as:

$$P_{in} = 2\int_S \frac{p_i^2}{2\rho c} \quad (2.3)$$

$$P_{out} = 2\int_S \frac{p_o^2}{2\rho c} \quad (2.4)$$

The transmission loss was then calculated using:

$$TL = 10\log_{10}\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \quad (2.5)$$

In addition to TL curves, Sound Pressure Level (SPL) distributions, acoustic pressure isosurfaces, and acoustic intensity streamlines were extracted for each configuration. These visualizations were used to interpret acoustic coupling mechanisms, pressure-wave redistribution, and resonance behavior associated with different perforation parameters.

The numerical analyses were performed within the frequency range of 50–600 Hz, covering the principal low- and medium-frequency region relevant to reactive automotive muffler applications.

Iteration Strategy

A sequential investigation strategy was adopted to isolate the influence of perforation diameter and perforation porosity on muffler acoustic performance. The numerical study was conducted in two consecutive stages.

In the first stage, the perforation ratio was maintained constant at σ = 0.10 while the hole diameter was systematically varied. The objective of this preliminary investigation was to identify the perforation diameter providing the most favorable transmission loss characteristics and acoustic energy redistribution behavior.

Table 2 summarizes the configurations considered in the hole diameter investigation.

Table 2. Hole diameter investigation

Model	Hole Diameter, d_h (mm)	Porosity \ σ
D0/D1	Non/0.25	0/0.10
D2	0.50	0.10
D3	1.0	0.10
D4	2.0	0.10
D5	3.0	0.10

Following the diameter analysis, the optimum perforation diameter was selected and retained constant throughout the second stage of the investigation. Subsequently, the perforation porosity was varied to evaluate the influence of acoustic coupling intensity between the perforated pipe and the surrounding chamber volume.

The investigated porosity levels ranged from σ = 0.025 to σ = 0.20, covering both weak and strong acoustic coupling conditions. This approach enabled the identification of a suitable porosity range capable of maximizing acoustic attenuation while maintaining the same geometric configuration. The investigated configurations for the porosity study are summarized in Table 3.

Table 3. Porosity investigation

Model	Hole Diameter, d_h (mm)	Porosity \ σ
P1	Optimum diameter	0.025
P2	Optimum diameter	0.05
P3	Optimum diameter	0.10
P4	Optimum diameter	0.15
P5	Optimum diameter	0.20

Input conditions

All numerical simulations were performed under identical acoustic excitation conditions. A plane-wave acoustic source was imposed at the inlet boundary, while an anechoic termination condition was applied at the outlet boundary to minimize artificial reflections.

The acoustic medium was assumed to be stationary air with constant thermophysical properties. Mean flow effects, temperature gradients, thermoviscous losses, and structural vibrations were neglected in order to isolate the acoustic influence of perforation parameters.

The investigated frequency range extended from 50 Hz to 600 Hz, covering the principal operating region relevant to reactive muffler applications.

Table 4. Boundary conditions and material properties

Property	Value
Density (ρ)	1.225 kg/m³
Speed of Sound (c)	343 m/s
Frequency Range	50–600 Hz
Analysis Type	Frequency Domain
Excitation	Plane Wave

Description of Different Configurations

The investigated configurations were classified into two groups according to the parameter being evaluated. The D-series models were generated to investigate the influence of perforation hole diameter while maintaining a constant perforation ratio. The P-series models were subsequently developed to investigate the influence of perforation porosity using the selected optimum hole diameter.

Apart from the perforation parameters, all geometric dimensions, material properties, boundary conditions, and numerical settings remained unchanged throughout the analyses. Therefore, any observed variation in acoustic performance can be directly associated with modifications in perforation characteristics.

Scope Limitation of the Present Study

The present investigation focuses exclusively on the acoustic influence of perforation hole diameter and perforation porosity in a reactive muffler configuration. Other design variables such as perforation distribution patterns, perforated pipe length, baffle arrangements, absorptive materials, mean flow effects, and structural-acoustic coupling were not considered.

Furthermore, all simulations were performed using linear frequency-domain acoustics under stationary operating conditions. Therefore, the results should be interpreted as comparative design evaluations intended to identify acoustic trends associated with perforation parameters.

The excluded variables constitute potential topics for future investigations aimed at developing a more comprehensive perforated muffler optimization framework.

FINDINGS

This section presents the acoustic response of the investigated perforated muffler configurations. The numerical study was conducted in two consecutive stages. In the first stage, the influence of perforation diameter was examined while maintaining a constant porosity value of $\sigma = 0.10$. In the second stage, the perforation diameter identified as the most favorable alternative was retained, and the effect of porosity was investigated. Acoustic performance was evaluated using transmission loss (TL) curves together with sound pressure level distributions, acoustic pressure isosurfaces, and acoustic intensity streamlines.

Influence of Perforation Diameter

The initial investigation focused on the effect of perforation diameter on acoustic attenuation characteristics. The reference configuration (D0) consisted of the previously optimized muffler geometry without perforations. Five additional configurations were subsequently generated by introducing perforation diameters ranging from 0.25 mm to 3.0 mm while preserving a constant porosity value.

Reference Configuration D0 -Non-Perforated Muffler

The D0 configuration serves as the non-perforated reference case. Since the central pipe remains closed, acoustic attenuation relies only on chamber expansion and wave reflection mechanisms. This baseline model is used to assess the effect of perforations introduced in the subsequent configurations.

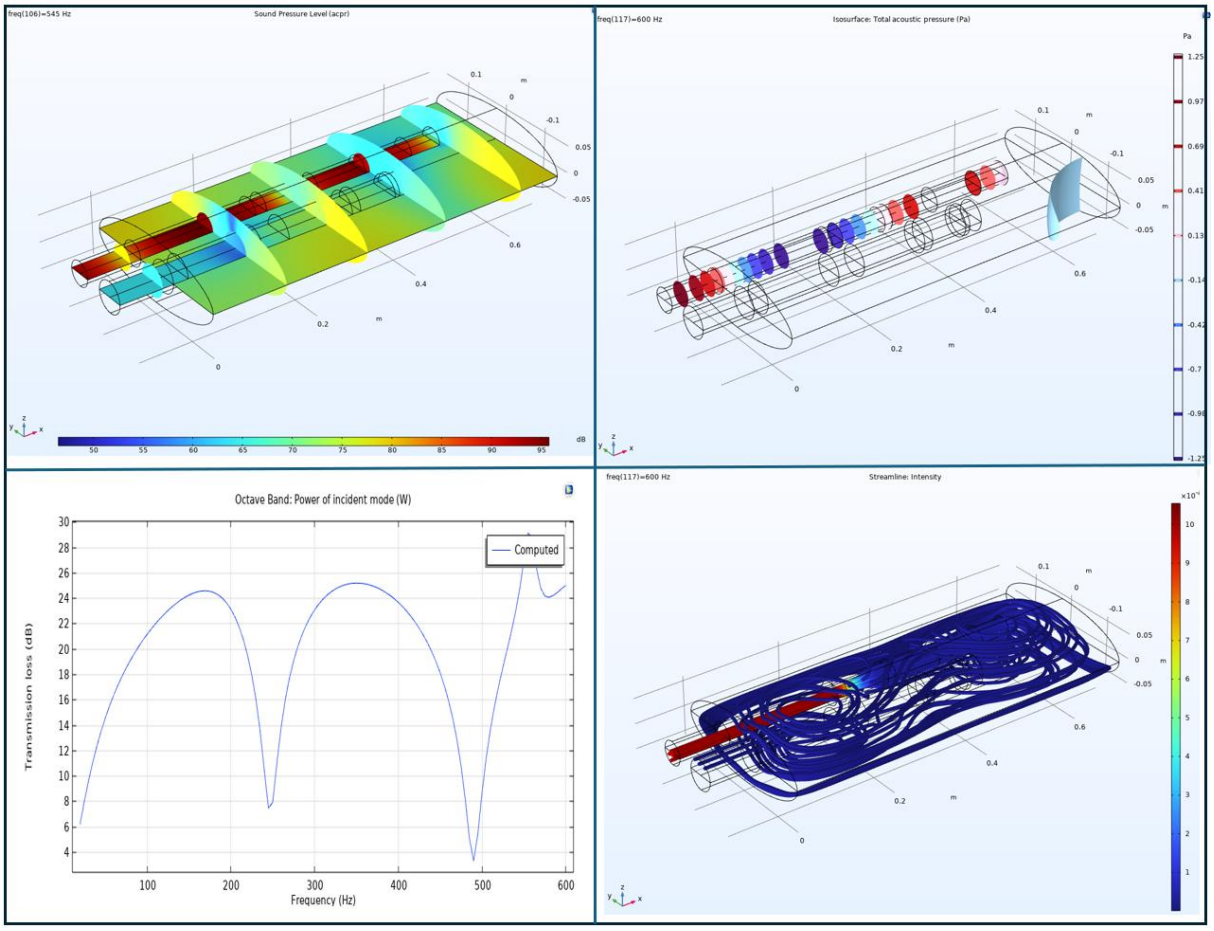


Figure 2. Sound pressure level distribution, total acoustic pressure isosurfaces, transmission loss response, and acoustic intensity streamlines for the D0 reference configuration

The D0 results show a typical reactive muffler response. Pressure variations develop throughout the chamber, but interaction between the central pipe and the surrounding cavity remains limited. The acoustic field indicates wave reflection and internal energy circulation without pipe–chamber coupling. The TL curve exhibits several attenuation peaks and minima across the investigated frequency range. Overall, D0 provides a useful baseline, although its attenuation performance is constrained by the absence of perforation-induced acoustic interaction.

Configuration D1 -Small Perforation Diameter (0.25 mm)

The D1 configuration represents the first perforated design examined in this study. A perforation diameter of 0.25 mm was introduced while maintaining the same porosity level. The objective was to assess whether a small degree of pipe–chamber acoustic coupling could improve attenuation performance without significantly altering the overall reactive behavior of the muffler.

Compared with the non-perforated reference, D1 produces a more distributed acoustic field, indicating increased energy transfer through the perforations. The pressure isosurfaces suggest stronger interaction between the pipe and chamber regions, while the TL curve shows improved attenuation near the first resonance around 200 Hz. In addition, the intensity streamlines reveal enhanced internal recirculation and a longer propagation path. These results confirm that even the smallest perforation diameter introduces measurable pipe–chamber coupling and improves attenuation compared with the baseline design.

Configuration D2 -Moderate Perforation Diameter (0.50 mm)

The D2 configuration corresponds to a perforation diameter of 0.50 mm while maintaining the porosity ratio at $\sigma = 0.10$. Increasing the perforation size from D1 was intended to strengthen the acoustic interaction between the perforated pipe and the surrounding chamber volume.

Compared with D1, D2 exhibits a more uniform pressure distribution and stronger acoustic coupling within the chamber. The intensity streamlines indicate increased energy circulation, while the TL curve shows higher attenuation near the first resonance around 200 Hz. Although the attenuation minimum near 500 Hz remains visible, it becomes less pronounced. Overall, D2 demonstrates improved pipe–chamber interaction and attenuation performance relative to the previous configurations.

Configuration D3 -Intermediate Perforation Diameter (1.0 mm)

The D3 configuration corresponds to a perforation diameter of 1.0 mm while maintaining a constant porosity value of $\sigma = 0.10$. This iteration was introduced to investigate whether further enlargement of the perforation openings could enhance the acoustic coupling mechanism observed in D1 and D2.

The acoustic field remains similar to D2, indicating that the dominant propagation mechanism is preserved. However, the SPL contours and intensity streamlines suggest slightly stronger pipe–chamber interaction. The TL curve exhibits a further increase in attenuation near 200 Hz, while only minor changes occur at higher frequencies. These results indicate that increasing the perforation diameter continues to improve low-frequency attenuation, although the rate of improvement becomes progressively smaller.

Configuration D4 -Intermediate Perforation Diameter (2.0 mm)

The D4 configuration represents the perforation diameter of 2.0 mm at a constant porosity ratio of σ = 0.10. This case was included to evaluate whether further enlargement of the perforation openings could provide additional acoustic benefit beyond the intermediate diameter range.

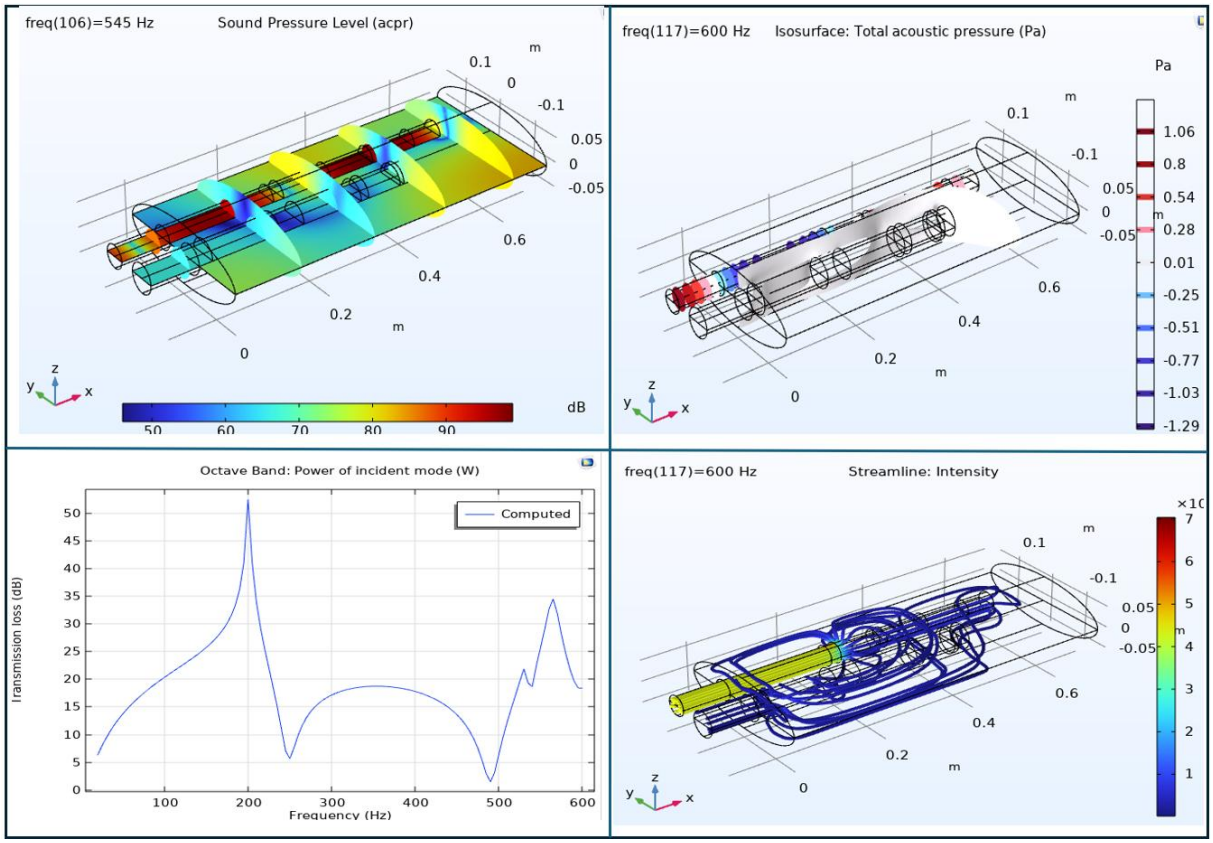


Figure 3. Sound pressure level distribution, total acoustic pressure isosurfaces, transmission loss response, and acoustic intensity streamlines for the D4 reference configuration

The D4 results show a strong pipe–chamber interaction, with the SPL field indicating effective use of the surrounding chamber volume. The TL curve reaches one of the highest attenuation levels near the 200 Hz region, while the mid-frequency response remains comparable to D3. The streamline pattern also confirms sustained acoustic circulation inside the chamber. Since the improvement beyond this point becomes limited, D4 can be considered the most suitable diameter configuration before the response approaches a saturation region.

Configuration D5 -Perforation Diameter (3.0 mm)

The D5 configuration represents the largest perforation diameter investigated during the first optimization stage while maintaining a constant porosity ratio. This case was introduced to evaluate whether further enlargement of the perforation openings could provide additional acoustic benefits or whether the coupling effect would begin to reach a saturation point.

The acoustic field remains largely similar to D3, indicating that the dominant propagation mechanisms have stabilized. The SPL contours and streamline patterns continue to show strong pipe–chamber interaction, while the TL response remains high near the first resonance around 200 Hz. Only minor variations are observed across the remaining frequency range, suggesting that further increasing the perforation diameter provides limited additional attenuation benefits. Consequently, D4 and D5 exhibit

very similar acoustic behavior, indicating that the diameter optimization approaches a performance plateau at larger perforation sizes.

Considering the overall TL characteristics across the investigated frequency range, D4 was selected as the optimum perforation diameter for the second optimization stage. Since D5 provided only marginal improvements despite the larger perforation openings, further diameter enlargement was considered acoustically inefficient.

Configuration P1 (σ = 0.025)

The P1 configuration represents the first porosity variation applied to the optimum perforation diameter obtained from the diameter study. A reduced porosity level was selected to evaluate the influence of limited pipe–chamber coupling while preserving the favorable acoustic characteristics observed for the D4 geometry.

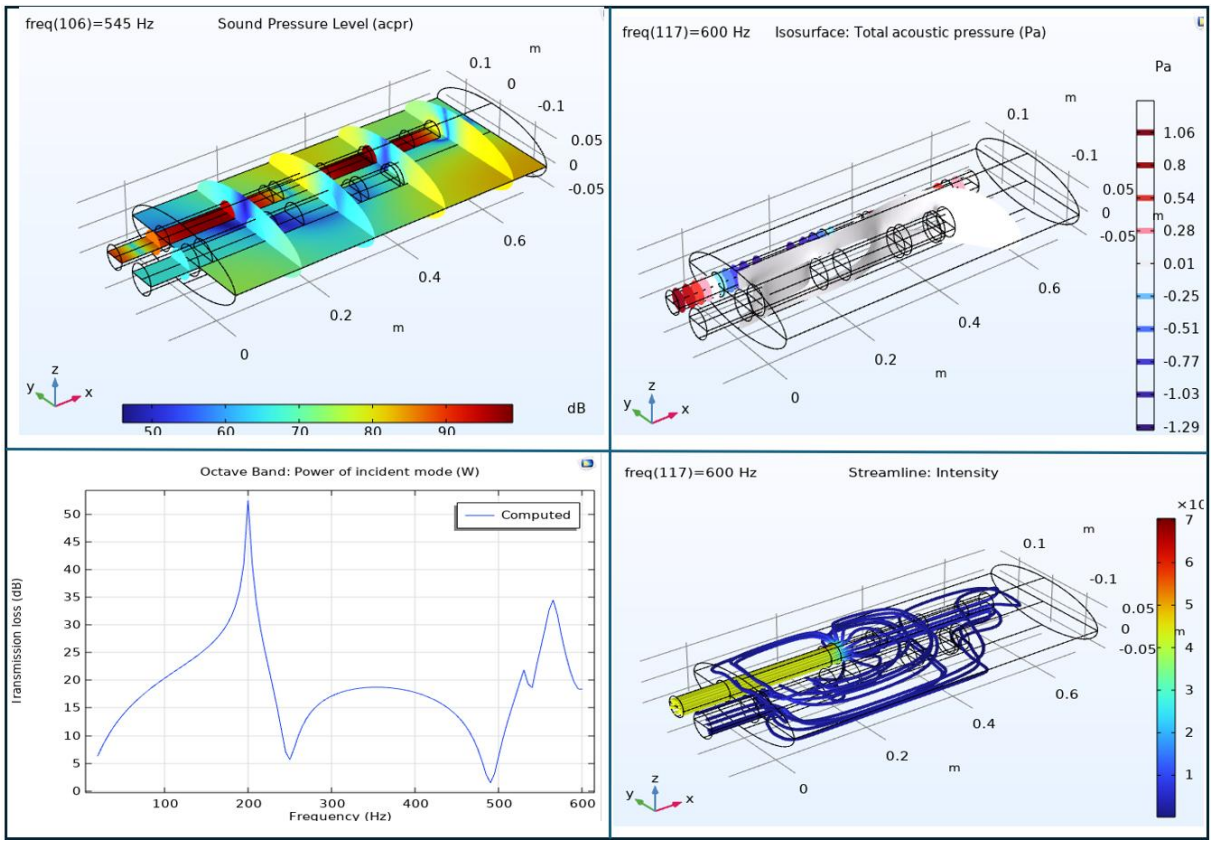


Figure 4. Sound pressure level distribution, total acoustic pressure isosurfaces, transmission loss response, and acoustic intensity streamlines for the P1 reference configuration

Compared with the D4 reference, P1 maintains the main attenuation features but exhibits a lower first TL peak near 200 Hz. The acoustic field remains well distributed within the chamber, while the streamline patterns indicate active energy recirculation. These results suggest that reducing porosity weakens acoustic coupling and slightly decreases overall attenuation performance.

Configuration P2 (σ = 0.05)

The P2 configuration represents the second porosity level investigated using the optimum perforation diameter identified during the diameter optimization stage. The porosity was increased from 0.025 to 0.05 to strengthen acoustic interaction between the perforated pipe and the surrounding chamber volume.

Compared with P1, the acoustic field becomes more evenly distributed throughout the chamber, indicating stronger pipe–chamber coupling. The TL response shows a noticeable increase in the first attenuation peak while maintaining the favorable attenuation minimum near 500 Hz. The streamline patterns also reveal enhanced energy circulation within the expansion chamber. Overall, P2 provides a clear improvement over P1 and confirms the positive influence of increased porosity on attenuation performance.

Configuration P3 (σ = 0.10)

The P3 configuration corresponds to the porosity level selected as the reference value during the perforation diameter optimization stage. This case was evaluated to determine whether the favorable attenuation characteristics observed in the D-series could be maintained under the optimum diameter–porosity combination.

Compared with P2, only minor changes are observed in the overall acoustic field, indicating that the dominant propagation mechanisms remain stable. The TL curve reaches its highest first attenuation peak near 200 Hz while preserving strong attenuation characteristics across the remaining frequency range. The streamline patterns confirm efficient energy circulation inside the chamber. These results suggest that P3 provides the most balanced acoustic performance among the investigated porosity levels and can be considered the optimum configuration of the present study.

Configuration P4 (σ = 0.15)

The P4 configuration was generated by increasing the porosity beyond the reference level used in P3. This case was evaluated to determine whether additional pipe–chamber coupling could further improve the attenuation performance.

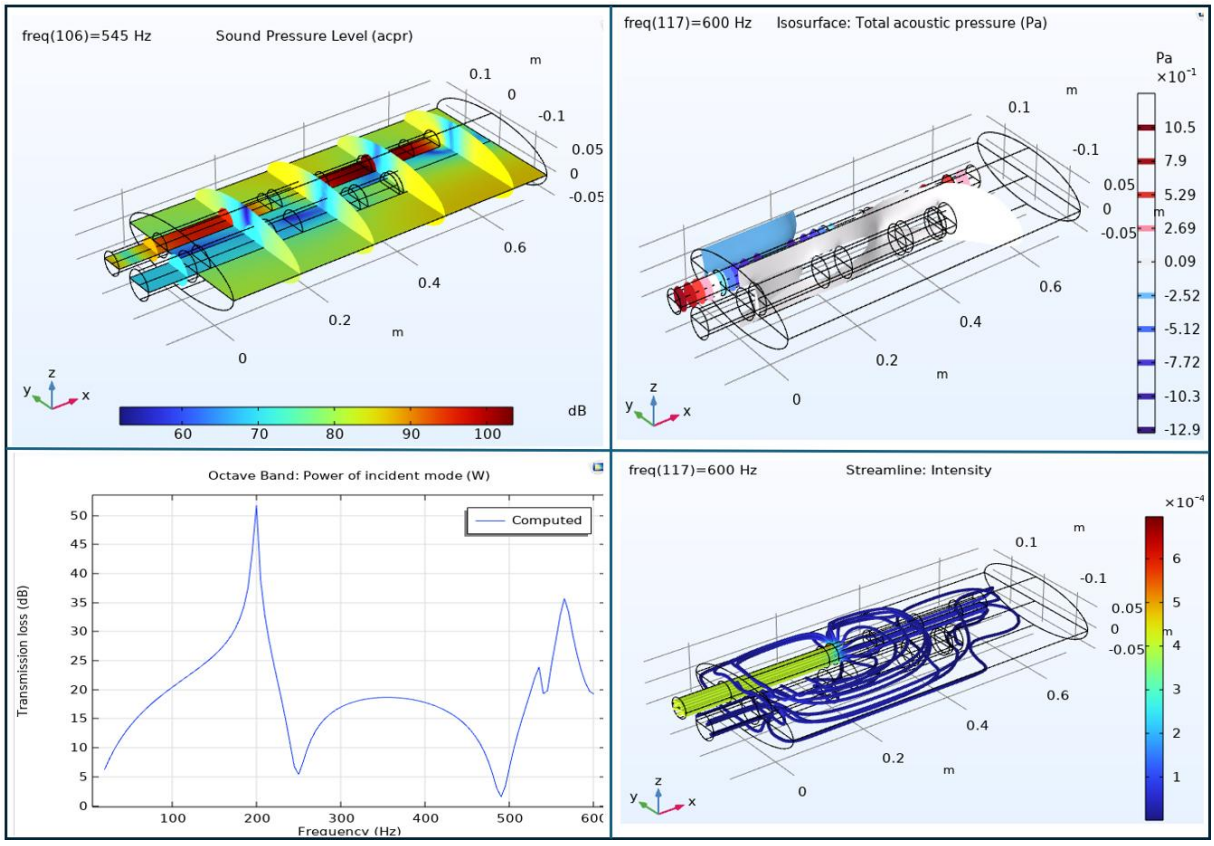


Figure 5. Sound pressure level distribution, total acoustic pressure isosurfaces, transmission loss response, and acoustic intensity streamlines for the P4 reference configuration

The acoustic field remains largely similar to that of P3, indicating stable wave propagation behavior. Although the SPL distribution suggests slightly stronger coupling, the TL curve shows only marginal changes across the investigated frequency range. The results indicate that increasing porosity beyond 0.10 provides limited additional attenuation benefits, suggesting that the optimum region has already been reached.

Configuration P5 (σ = 0.20)

The P5 configuration represents the highest porosity level investigated in the present study. This case was analyzed to evaluate whether a further increase in perforation density could provide additional attenuation improvements beyond those observed for P4.

The overall acoustic field remains very similar to that of P4, with only minor variations in the pressure and streamline distributions. The TL response shows no significant improvement and, in some frequency regions, slightly lower attenuation levels are observed. These results indicate that increasing porosity beyond 0.15 does not yield additional acoustic benefits. Consequently, the P5 configuration confirms that the optimum porosity range lies near the P3 level, where the best balance between pipe–chamber coupling and attenuation performance was achieved.

RESULTS AND DISCUSSION

The numerical results obtained from the investigated configurations are presented and discussed in this section. The analysis focuses on the influence of perforation diameter and porosity on the acoustic performance of the muffler. For each configuration, sound pressure level distributions, acoustic pressure isosurfaces, intensity streamlines, and transmission loss characteristics were evaluated. The results were subsequently compared to identify the parameter combination providing the most favorable attenuation performance.

Comparative Assessment of Diameter Variations

The combined transmission loss curves clearly demonstrate the influence of perforation diameter on acoustic attenuation performance. A progressive increase in the first attenuation peak is observed from D1 to D4, while only marginal differences exist between D4 and D5. This behavior indicates that the benefit of increasing perforation diameter gradually diminishes beyond 2 mm, suggesting the existence of a practical optimum diameter range.

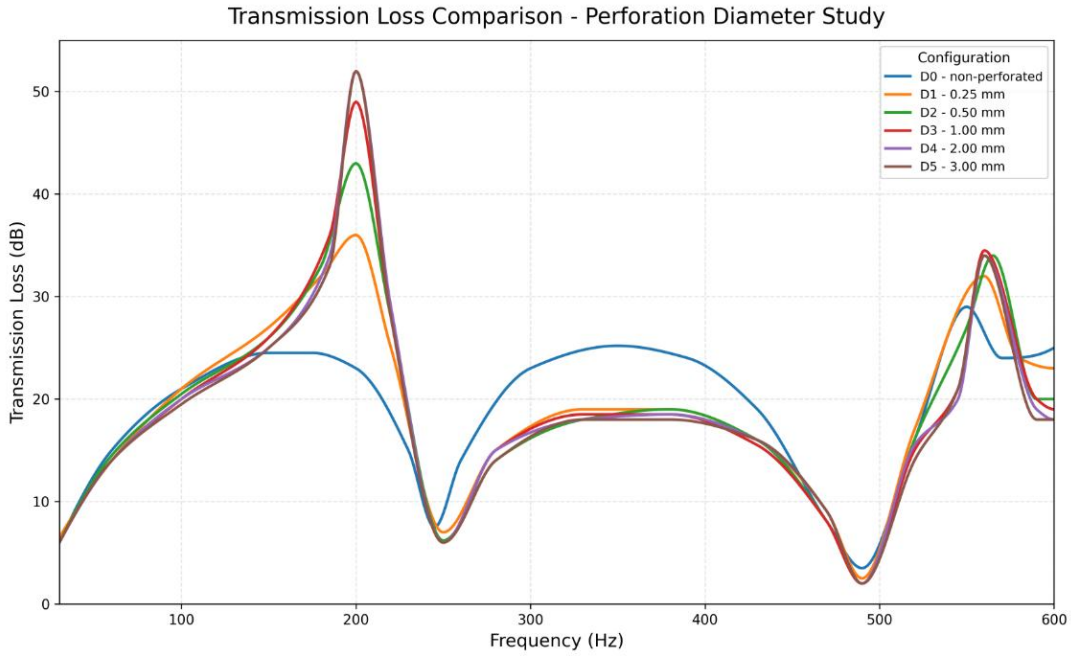


Figure 6. Combined transmission loss (TL) curves D0-D5

Although perforated configurations significantly enhance attenuation near the first resonance region, the non-perforated reference shows comparatively higher TL values in the mid-frequency range. This indicates that perforations modify the reactive behavior of the muffler and shift the attenuation mechanism toward specific frequency bands rather than uniformly improving the entire spectrum

Comparative Assessment of Porosity Variations

Figure 7 compares the transmission loss responses obtained for the investigated porosity levels. The lowest porosity configuration (P1, $\sigma = 0.025$) exhibits the weakest attenuation performance, particularly in the vicinity of the first resonance region. As porosity increases, the acoustic coupling between the perforated pipe and the expansion chamber becomes stronger, leading to a noticeable increase in transmission loss. The most significant improvement occurs between P1 and the intermediate porosity levels, whereas subsequent increases produce progressively smaller changes. This behavior suggests the existence of an optimum porosity range beyond which additional perforation area provides only limited acoustic benefit.

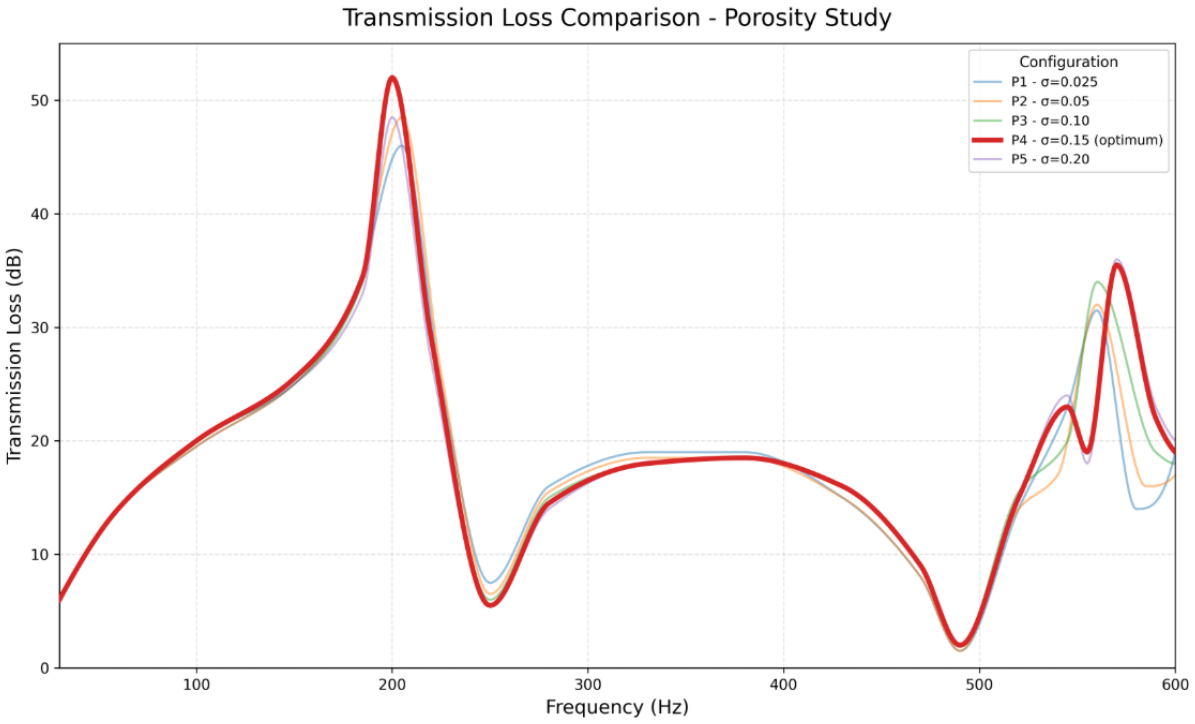


Figure 7. Combined transmission loss (TL) curves P1-P5

The comparison demonstrates that increasing porosity generally enhances attenuation around the primary resonance frequency near 200 Hz while preserving the overall transmission loss characteristics at higher frequencies. The curves corresponding to P3, P4, and P5 become increasingly similar, indicating that the acoustic response approaches a saturation region. Among the investigated cases, P4 achieves nearly the maximum transmission loss while avoiding the excessive perforation ratio associated with P5. Therefore, P4 can be considered the optimum porosity configuration from both acoustic and practical design perspectives.

Key Findings

- Figure 7 compares the transmission loss responses obtained for the investigated porosity levels. The lowest porosity configuration
- The acoustic response evolved systematically as the perforation geometry was modified.
- Introducing perforations transformed the attenuation mechanism from a purely reactive behavior into a coupled pipe–cavity interaction process.

- Diameter variation had the strongest influence on the first attenuation peak, where substantial gains were achieved between the smallest and intermediate perforation sizes.
- Further enlargement of the perforations produced progressively smaller benefits, indicating the presence of a saturation region.
- A comparable trend was observed during the porosity investigation, where attenuation improved rapidly at low porosity levels and gradually stabilized at higher values.
- Acoustic pressure distributions and intensity streamlines consistently revealed stronger energy redistribution inside the chamber as perforation parameters increased.
- The transmission loss comparison confirmed that geometric optimization is governed by diminishing returns rather than continuous improvement.
- Both parameter studies converged toward a limited range in which additional geometric modification yielded only marginal acoustic advantages.

Overall Assessment

- D4 provided the most favorable diameter configuration.
- P4 offered the best compromise between attenuation capability and perforation ratio.
- The D4–P4 combination delivered near-maximum acoustic performance without requiring the largest investigated geometric parameters.

Final Remark

The study demonstrates that effective muffler optimization is achieved not by maximizing perforation size or porosity, but by identifying the region where acoustic coupling becomes sufficiently strong while additional geometric changes no longer provide meaningful attenuation gains. Within the investigated design space, the D4–P4 configuration represents this optimum operating point.

REFERENCES

Mishra, R.K., Nair, K., Kumar, K., Shukla, A. (2021). Dynamic noise mapping of road traffic in an urban city. Arabian Journal of Geosciences, 14, 1–11.

Patel, R., Singh, P., Saw, S. (2024). A modeling approach for suitability evaluation of traffic noise prediction under mixed traffic situation in mid-sized Indian cities. Innovative Infrastructure Solutions, 9(6), 1–25

Babisch, W., Kamp, I. (2009). Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. Noise & Health, 11(44), 161–168

Gupta, A., Gupta, A., Jain, K., Gupta, S. (2018). Noise pollution and impact on children health. Indian Journal of Pediatrics, 84(4), 300–306.

Daiber, A., Münzel, T. (2020). Impact of environmental pollution and stress on redox signaling and oxidative stress pathways. Redox Biology, 37

Reddy, G.G., Prakash, N. (2016). Design and fabrication of reactive muffler. International Journal of Chemical Sciences, 14(2), 1069–1076

Yimer, A.M., Nallamothu, R.B. (2025). Reduction of the noise from the engine, modification of reactive muffler and performance analysis. Discover Applied Sciences, 7, 849.

Wankhade, A.W., Bhattu, A.P. (2015). Optimization and experimental validation of elliptical reactive muffler with central inlet central outlet. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4(5), 1321–1328.

Allam, S. (2014). Numerical Assessment and Shape Optimization of Dissipative Muffler and Its Effect on I.C. Engine Acoustic Performance. American Journal of Vehicle Design, 2(1), 22–31.

Peat, K.S. (1988). A Numerical Decoupling Analysis of Perforated Pipe Silencer Elements. Journal of Sound and Vibration, 123(2), 199–212.

İSLAM MİRAS MATEMATİĞİ VE YAPAY ZEKÂ

Dr. Öğretim Üyesi Muhammed Mehdi AKSOY

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Hukuku ABD, Gaziantep/Türkiye, ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0003-2854-730X

ÖZET

Dijitalleşme süreciyle birlikte bilginin kontrolsüz ve süratli bir şekilde dolaşıma girmesi; metodolojik istikrar, teknik derinlik ve ilmî hassasiyet gerektiren fıkıh disiplininde epistemolojik açıdan güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmiştir. Bu çalışma, yapay zekâ platformlarının fıkhın bir alt dalı olan İslam miras hukukuna dair sundukları verilerin; ilmî sıhhat, metodolojik tutarlılık ve mezhepsel aidiyet kriterleri bakımından yeterliliğini sorgulamayı amaçlamaktadır. Miras ilminin hem normatif hükümlerinin görece istikrarı hem de matematiksel karakteri, yapay zekânın algoritmik yapısıyla yüksek düzeyde uyum sağlayacağı ve dolayısıyla hatasız sonuçlar sunacağı yönünde bir beklenti oluşturmaktadır. Ancak çalışma kapsamında ulaşılan ampirik bulgular, bu beklentinin aksine dijital mecraların fıkhî muhakeme süreçlerinde yetersiz kaldığını göstermiştir. Çalışmada önce ferâize ilişkin temel paylar ve genel prensipler ana hatlarıyla ortaya konulmuştur. Ardından "dede-kardeş münasebeti, avl gerektiren paydaşlıklar, reddiye yöntemi ve tashih işlemi" şeklindeki dört temsilî miras senaryosuyla ilgili birer soru ChatGPT, Gemini ve DeepSeek adındaki üç farklı yapay zekâ platformuna yöneltilmiştir. Akabinde alınan yanıtlar klasik fıkıh literatürü ışığında değerlendirilerek ilgili platformların performans analizi yapılmıştır. Elde edilen yanıtların klasik fıkıh literatürüyle mukayesesi sonucunda paydaş hisselerinin yanlış tayin edilmesi, mezhep görüşlerinin metodolojik bir dayanak olmaksızın birbirine karıştırılması, teknik terminolojinin yanlış kullanılması ve hesaplama süreçlerinin eksik işletilmesi gibi sistematik hataların yaygınlığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı sorulara muhtelif zaman dilimlerinde farklı yanıtların verilmesi, ilgili platformların sabit bir usul anlayışından ve ilmî arka plandan yoksun olduğunu teyit etmiştir. Netice itibarıyla çalışma, kuralları belirlenmiş ve matematiksel çerçevesi net olan miras alanında dahi dijital mecraların güvenilir bilgi üretiminde yetersiz kaldığını ortaya koymuştur. Algoritmik yapıların fıkhın bağlamsal ve normatif bütünlüğünü kavrayamamasıyla ilişkili olan bu tablodan hareketle, doğrudan kul hakkı ve mali mükellefiyet doğuran miras meselelerinde dijital bilgilere ihtiyatla yaklaşılması ve uzman denetimi olmaksızın itibar edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İslam Huku, Miras, Hesap, Yapay Zekâ, Epistemolojik Güvenilirlik.

ISLAMIC INHERITANCE MATHEMATICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT

With the digitalization process, the uncontrolled and rapid circulation of information has brought about concerns regarding epistemological reliability in the discipline of fiqh, which requires methodological stability, technical depth, and scholarly precision. This study aims to question the adequacy of the data provided by artificial intelligence platforms regarding Islamic inheritance law (fara'id) in terms of scholarly accuracy, methodological consistency, and sectarian alignment. The relative stability of the normative rulings in the science of fara'id, as well as its mathematical character, creates an expectation that it will highly align with the algorithmic structure of artificial intelligence, thereby yielding error-free results. However, the empirical findings reached within the scope of this study have shown that, contrary to this expectation, digital platforms remain insufficient in the processes of legal reasoning. In the study, the basic shares and general principles of fara'id were first outlined. Subsequently, four

representative inheritance scenarios-namely ‘grandfather-sibling relationship, cases requiring awl, the method of radd, and the process of tashih’ -were directed as questions to three different AI platforms: ChatGPT, Gemini, and DeepSeek. The responses obtained were evaluated in light of classical fiqh literature, and a performance analysis of the relevant platforms was conducted. As a result of the comparison, the prevalence of systematic errors such as incorrect determination of heirs’ shares, mixing of sectarian views without a methodological basis, incorrect use of technical terminology, and incomplete execution of calculation processes was identified. Furthermore, the provision of different answers to the same questions at various intervals has confirmed that the relevant platforms lack a stable understanding of methodology and a scholarly background. Consequently, the study reveals that even in the field of fara’id, where rules are well-defined and the mathematical framework is clear, digital platforms fail to produce reliable information. Moving from this situation, which is associated with the inability of algorithmic structures to grasp the contextual and normative integrity of fiqh, it is concluded that digital information in inheritance matters-which directly involves human rights and financial obligations-should be approached with caution and should not be relied upon without expert supervision.

Keywords: İslamic Law, Inheritance, Calculation, Artificial Intelligence, Epistemological Reliabili.

Giriş

Yapay zekânın yaygınlaşmasıyla birlikte bilgiye erişim hızı, benzeri görülmemiş ölçüde artmıştır. Bu gelişme, ilmî bilgi üretimi açısından birtakım yeni sorunları da beraberinde getirmiştir. Zira yapay zekânın sunduğu bilgiler, ilmî bir denetimden veya metodolojik süzgeçten geçmemektedir. Bu ise bilginin güvenilirliği ve doğruluğu açısından ciddi problemlere yol açmaktadır.

Yapay zekânın algoritmik yapısı, çevrimiçi ortama aktarılmış verileri kullanıcı talepleri doğrultusunda harmanlayarak sunma prensibine dayanır. Bu yapı, özellikle usule dayalı fıkıh disiplininde bilgi kirliliği risklerini artırmaktadır. Nitekim fıkıh; delil, kıyas, istinbat, ictihad ve fetva gibi belirli metodolojiden müteşekkil sistematik bir disiplindir. Yapay zekâ temelli bilgi sunumunun bu usulî çerçeveyi büyük ölçüde göz ardı etmesi, hassas ve sonuçları doğrudan bireylerin hayatına etki eden meselelerde yanlış yönlendirmelere zemin hazırlayabilmektedir.

Son yıllarda dijital mecralar, fıkhî konuların araştırıldığı başlıca kaynaklardan biri hâline gelmiştir. Ancak bu durum, özellikle ferâiz gibi ayrıntılı hesaplamalar ve mezhepler arası yorum farklılıklarını içeren bir alanda hatalı bilgi üretiminin önünü açabilmektedir. Bireylerin hakkına doğrudan etki eden miras paylaşımıyla ilgili yanlış bilgilerse ahlâkî ve hukukî açıdan ciddi sakıncalar doğurur. En düşük ihtimalle kul hakkının ihlaline yol açar. Meselenin salt bilimsel açıdan ele alınması notasındaysa ilmî bakımdan yanlış sonuçlara ulaşılmasına neden olur. Bu sebeple ferâiz meselelerinde yapay zekâ temelli bilgi üretiminin fıkhî doğrulukla ilişkisinin ele alınması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle ferâize ilişkin temel hükümler aktarılacak, ardından ChatGPT, Gemini ve Deepseek adındaki üç farklı yapay zekâ platformuna, mirasta dede-kardeş münasebeti, avl gerektiren paydaşlıklar, reddiye yöntemi ve tashih işlemi gibi ihtilaflı veya karmaşık olarak değerlendirilebilecek bazı meseleler hakkında sorular yöneltilecektir. Söz konusu platformlar tarafından verilen yanıtlar, fıkhî doğruluk açısından incelenecektir. Böylelikle yapay zekânın sunduğu bilgilerin isabet oranı ve güvenilirlik düzeyi tespit edilmeye çalışılacaktır.

Çalışmanın amacı, yapay zekânın bilgi üretiminin metodolojik yapısını görünür kılarak özelde ferâiz alanında bu tür dijital araçların kullanım sınırlarını belirlemeye katkı sağlamaktır. Elde edilecek bulguların, hem ilahiyat alanında çalışan araştırmacılara hem de yapay zekâyı fıkhî referans olarak kullanan genel kitleye doğru bir bakış açısı sunacağı düşünülmektedir.

1. Vârisler ve Payları

Miras, ölenin bıraktığı malın başkasına intikal etmesidir. Bu mala "tereke", onda hak sahibi olana "vâris" denilir (Sâbûnî, ts.). Türkçede buna mirasçı da denilmektedir (TDK). İslam hukukunda mirasçılık sebepleri; nesep, evlilik ve velâ[1] olmak üzere üçtür (Serahsî, 1993; Şirbînî, 1994). İslam'da bazı akrabaların payları belirlenmişken bazıları için bir tayine gidilmemiştir. Bu itibarla miras bakımından akrabalar, payları belirlenmiş olan ashâbü'l-ferâiz ve payları tayin edilmiş olmayan asabe şeklinde iki türlüdür. Bunların dışında zevi'l-erhâm olarak isimlendirilen üçüncü tür akrabalar da vardır. Fakat bunların vâris olup olmayacakları ihtilaflıdır. Miras taksiminde, önce ashâbü'l-ferâizin hisseleri paylaştırılır, sonra geriye kalan asabelere verilir. Ölenin ashâbü'l-ferâiz ve asabe türünden akrabası yoksa işaret edildiği üzere bazı fakihlere göre miras zevi'l-erhâma taksim edilir (Sâbûnî, ts.).

1) Payları Muayyen Olanlar (Ashâbü'l-ferâiz): On bir akrabayı içermektedir. Bunlar; karı, koca, baba, anne, kız, oğul kızı, öz bacı, baba bir bacı, ana bir kardeş, dede ve ninedir. Karı, koca, anne ve vâris olmaları halinde ana bir kardeş ile nene her halükarda ashâbü'l-ferâizken diğerleri durumuna göre ashâbü'l-ferâiz veya asabe olabilmektedir. Ayrıca bazıları mutlaka vâris olmaktayken bazıları pay almayabilmektedir (Sâbûnî, ts.) .

Aralarında sahih nikâh akdi bulunan karı-kocanın birbirlerine vâris olmalarının iki hali vardır: Koca, karısının çocukları yoksa 1/2; çocukları varsa 1/4 oranında vâris olur (en-Nisâ 4/12; Zeylaî, h. 1313; İbn Rüşd, 2004; Maverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997). Karı ise kocasının çocukları yoksa mirasın 1/4'ünü; çocukları varsa 1/8'ini alır (Serahsî, 1993; Kâdî Abdulvehhâb, h. 1456; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Babanın mirasçılığı üç senaryo üzerinden şekillenir: 1- Ölenin oğlu ve oğul tarafından erkek torunları varsa babası 1/6 hisse alır. 2- Ölenin oğlu olmayıp kızı veya oğul kızı varsa babası önce 1/6 ve diğer vârisler paylarını aldıktan sonra artış olursa ilaveten asabe olarak malın geriye kalanını alır. 3- Ölenin evladı ve oğul tarafından torunları yoksa babası asabe olur. Dolayısıyla başka vâris varsa onların hisseleri dağıtıldıktan sonra mirasın geriye kalanını; yoksa tamamını alır (en-Nisâ 4/11; Serahsî, 1993; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Annenin mirasçılığının da üç hali vardır: 1- Ölenin çocukları, oğul tarafından torunları veya birden fazla (öz-babadan-anadan) kardeşleri varsa anne 1/6 hisse alır. 2- Ölenin evladı, oğul tarafından torunları ve birden fazla kardeşleri yoksa (kardeş hiç yoksa veya bir tane varsa) anne 1/3 oranında vâris olur. 3- Ölenin sadece eşi, babası ve annesi varsa anneye, eşin payından sonra geriye kalanın 1/3'ü verilir (en-Nisâ 4/11; Serahsî, 1993; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Kızın hissesi de üç farklı şekilde tezahür eder. 1- Ölenin oğlu olmayıp tek bir kızı olursa kız mirasın 1/2'sini alır. 2- Ölenin oğlu olmayıp birden fazla kızı bulunursa bunlar mirasın 2/3'ünü hak ederler. 3- Ölenin oğlu varsa kız/kızlar oğullarla birlikte asabe olurlar ve tereke diğer vârislere taksim edildikten sonra mirasın kalanını, başka vâris yoksa tamamını ikiye bir şeklinde paylaşırlar (en-Nisâ 4/11; Serahsî, 1993; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Oğul kızının mirasçılığının altı hali vardır: 1- Ölenin evladı olmayıp bir oğul kızı varsa bu kız torun, mirasın 1/2'sini alır. 2- Ölenin evladı olmayıp birden fazla oğul kızları varsa bunlar mirasın 2/3'ünü alırlar. 3- Ölenin evladı olmayıp oğul kızıyla birlikte oğlunun oğlu varsa bunlar birlikte asabe olurlar. Bu üç hal, ölenin evladının olmaması halinde oğul kızının öz kızın yerine geçeceği esasına dayalıdır. 4- Ölenin bir kızı varsa oğul kızı 1/6 hisse elde eder.[2] 5- Ölenin erkek çocuğu olmayıp birden fazla kızı varsa ve oğul tarafından erkek

[1] Velâ, hükmî akrabalık bağıdır. Buna olana mevlâ denilir. Velâ bağını oluşturan sebepler üçtür. 1) Köle azat etmekle oluşan velâ: Kişi özgürleştirdiği kölesinin mevlası (mevla'l-ataka) olur. İttifakla azatlı kölenin, vârisi olacak bir akrabası yoksa onu azat eden mevlâsı mirasçısı olur. 2) Karşılıklı sözleşmeyle oluşan velâ: İki kişi birbirlerini vâris tayin etmek üzere sözleştiklerinde her biri diğerinin mevlâsı (mevla'l-muvalâ) olur. Cumhura göre bu uygulama kişileri mirasçı yapmaz. Hanefîlere göre bu tür velâ ile mirasçılık oluşur. 3) İhtida ile oluşan velâ: Kişi birinin hidayetine vesile olduğunda onun mevlâsı olur. İttifakla bu velâ mirasta muteber değildir (Serahsî, 1993; Kâdî Abdulvehhâb, h. 1456; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; Şirbîbîî, 1994; Buhûtî, 1968).

[2] Ölen kişinin tek kızı mirasın 2/1'ini, birden fazla kızı mirasın 2/3'ünü alılar. Bir kızla birlikte bir oğul kızının bulunduğu takdirde ise hakikî açıdan olmasa da hükmî bakımdan iki kız bulunmuş gibi varsayılmaktadır. Ne var ki bu kızların ölüye yakınlık derecesi farklıdır. Bir yandan birden fazla kız bulunduğu için mirasın 2/3'sinin onlara verilmesi gerekir. Diğer yandan dereceleri aynı olmadığı için

torunu yoksa oğul kızı mirastan pay alamaz (hacb). Bu durumda oğul tarafından erkek torun varsa, oğul kızı onunla birlikte asabe olur. 6- Ölenin oğlu varsa oğul kızı mirastan hisse alamaz (en-Nisâ 4/11; Serahsî, 1993; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; Şîrâzî, ts.; İbn Kudâme, 1997).

Öz bacının mirasçılığı beş şekilde olabilmektedir: 1- Ölenin oğlu, kızı, oğul tarafından erkek torunları, babası, baba tarafından dedesi ve erkek kardeşi olmayıp bir tek öz bacısı varsa, bu bacı mirasın 1/2'sini alır. 2- Ölenin mezkûr akrabalarından hiçbiri bulunmayıp birden fazla öz bacısı varsa, bunlar mirasın 2/3'ünü alırlar. 3- Ölenin öz bacısıyla birlikte anılan akrabalarından öz erkek kardeşi bulunursa, öz bacı onunla birlikte asabe olur. Bu üç halde öz bacılar kız evlat mesabesinde olmaktadırlar. 4- Ölenin öz bacısının yanında sadece kızları veya oğul tarafından kız torunları varsa bacı bunlardan ötürü asabe olur. 5- Ölenin oğlu, erkek torunları, babası veya dedesi varsa öz bacı vâris olamaz. Bu durumda öz erkek kardeşin bulunması sonucu değiştirmez. Çünkü erkek kardeş de bu halde mirastan pay alamaz (en-Nisâ 4/176; Serahsî, 1993; İbn Abdilberr, 1980; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Baba bir bacının mirasçılığının yedi biçimi vardır: 1- Ölenin evladı, oğul tarafından torunları, babası, baba tarafından dedesi, öz kardeşi ve öz bacısı bulunmazda tek baba bir bacısı bulunursa, bu bacı mirasın 1/2'sini alır. 2- Ölenin anılan akrabalarından hiçbiri olmayıp babadan bacısı birden fazlaysa bunlar mirasın 2/3'ünü eşit hisselerle paylaşırlar. 3- Ölenin anılan akrabalarından tek öz bacısı bulunursa babadan bacı, mirasın 1/6'sını alır. Öz bacının 1/2 oranında hisse alacağı bu durumda babadan bacı birden fazlaysalar 1/6'lık hisseyi eşit şekilde paylaşırlar.[1] 4- Ölenin mezkûr akrabalarından birden fazla öz bacısı bulunursa, babadan bacı mirastan pay alamaz. 5- Ölenin bir veya daha fazla öz bacısı ile babadan erkek kardeşi varsa babadan bacı, babadan kardeşle asabe olur. 6- Ölenin babadan bacısının yanında sadece kızları veya kız torunları olursa, bacı asabe olur. 7- Ölenin oğlu, erkek torunu, babası, dedesi, öz erkek kardeşi, keza kızları ya da kız torunlarıyla birlikte öz bacısı varsa, babadan bacı miras alamaz (en-Nisâ 4/176; Serahsî, 1993; İbn Abdilberr, 1980; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Anne bir kardeşlerin, erkek veya kız olsun mirasçılıkları üç şekilde olmaktadır: 1- Ölenin usulü ve füruu olmayıp tek ana bir kardeşi varsa mirastaki hissesi 1/6 olur. 2- Belirtilen durumda anadan kardeşler birden fazla olurlarsa 1/3 hisseyi eşit paylaşırlar. 3- Ölenin usulünden veya füruundan birinin olması halinde ana bir kardeşler vâris olmazlar (Serahsî, 1993; Kâdî Abdulvehhâb, h.1456; 1980; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Dede, vâris olabilmesi için sahih kategorisinde olmalıdır. Sahih dedeyse ölenle arasına kadın girmeyen dededir. Dede, baba yoksa onun yerine geçer. Dolayısıyla babanın mirasçılık halleri onun için geçerli olur. Şu farkla ki ölenin sadece eşi, babası ve annesinin olması halinde anneye, eşin payı verildikten sonra kalanın 1/3'nün verileceği ifade edilmişti. Ancak bu meselede baba yerine dede bulunursa anne kalanın değil, tamamın 1/3'ünü alır. Mâlikî, Şâfiî ve Hanbelîlere göre dede, kardeşleri hacb edememe konusunda da babadan farklıdır. Hanefîlere göreyse dede, tıpkı baba gibi kardeşleri mirastan hacbeder (Zeylaî, h. 1313; İbn Rüşd, 2004; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

Nenenin de miras alabilmesi sahih olmasına bağlıdır. Sahih nene, anne veya baba tarafından olması fark etmeksizin ölenle arasına gayr-i sahih dede girmeyendir. Yani ananın anası ve yukarı doğru annenin anasının anası; babanın anası ve yukarı doğru babanın babasının anasıdır. Ölenin annesi yahut neneyi ölene bağlayan oğul hayattaysa nene vâris olmaz. Keza yakın nenenin hayatta olması uzak nenenin payını düşürür. Dolayısıyla anne yaşıyorsa hiçbir nene miras alamaz. Anne yaşamıyorsa anneanne mirastan pay alır; babaanne babanın, uzak nene de yakın nenenin yaşamıyor olması şartıyla vâris olur. Bu şartlar yerindeyse nene 1/6 oranında hisse alır. Şayet birden fazlaysalar söz konusu hisseyi eşit şekilde paylaşırlar (Serahsî, 1993; İbn Abdilberr, 1980; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

---

paylarının farklı olması lazımdır. Onun için bu durumda kıza 1/2 verilir, 2/3'lük oranın tamamlanması için de oğul kızına 1/6 hisse verilir. Böylece toplamda 2/3 oranı elde almış olurlar. Bu işleme miras hukukunda "tekmiletü's-sülüseyn" denilmektedir.

[1] Bu pay da "tekmiletü's-sülüseyn" kapsamındadır.

2) Payları Muayyen Olmayanlar (Asabe): Asabe iki türlü olup birincisi azatlıktan ötürü asabe olanlardır ki buna *asabe-i sebebiyye* denilmektedir. İkincisi kan bağı sebebiyle asabe olanlardır. *Asabe-i nesebiyye* olarak nitelendirilen bu türün üç alt çeşidi bulunmaktadır (Sâbûnî, ts.).

a) Bizzat Kendinden Asabe Olanlar (asabe bi-nefsihi): Erkeklerden oluşan bu asabaler; sırasıyla oğul, aşağı doğru oğul tarafından torunlar, baba, yukarı doğru baba tarafından dedeler, öz kardeş, baba bir kardeş, öz kardeş oğlu, baba bir kardeş oğlu, öz amca, baba bir amca, öz amcaoğlu ve baba bir amcaoğludur. Oğul her hâlükârda, diğerleri bir önceki asabenin bulunmaması halinde asabe olurlar. Önceki asabenin bulunmasıyla asabe olamayanların bazısı ashâbü'l-ferâiz olarak vâris oluyorken bazısının mirasçılığı tümden düşmektedir. Mesela oğul ya da oğlun oğlu bulunduğunda baba veya dede belli oranda pay sahibi olur. Asabelik sırası babaya geldiğinde diğerlerinin tamamı hem asabelikten hem mirasçılıktan düşerler. Dedenin asabe olması durumuyla ilgiliyse -ifade edildiği üzere- ihtilaf edilmiştir. Hanefîlere göre dedenin durumu babanınki gibi olup diğer tüm asabelerin mirasını düşürür. Cumhura göreyse dede, kardeşlerin payını düşürmez (Sâbûnî, ts.).

b) Başkasından Ötürü Asabe Olanlar (asabe bi-gayrihi): Kadınlardan müteşekkil bu asabaler; sırasıyla kız, aşağıya doğru oğul tarafından kız torun, öz bacı ve baba bir bacıdır. Kızlar oğullardan; kız torunlar aynı cihetteki erkek torunlardan; öz bacı öz kardeşten; baba bir bacı da baba bir kardeşten ötürü asabe olmaktadır. Bunlardan ilki hariç diğerlerinin asabeliği, miras sırasının kendilerine gelmesi durumunda söz konusu olmaktadır. Ayrıca bunlar, kendilerinden ötürü asabe oldukları kişililerle birlikte asabe olurlar. Dolayısıyla diğer vârislere payları dağıtıldıktan sonra malın kalınını beraberce ikiye bir şeklinde paylaşırlar. Başka vâris yoksa malın tamamını bölüşürler (Sâbûnî, ts.).

c) Başkasının Varlığıyla Asabe Olanlar (asabe mea'l-gayr): Yine kadınlardan oluşan bu asabeler; öz bacı ve baba bir bacıdır. Bunlar, kız evlat ya da kız torunların bulunması durumunda asabe olmaktadırlar. Dolayısıyla ölenin öz bacısının yanında kızları veya oğul tarafından kız torunları varsa bu bacılar asabe olurlar. Aynı durum baba bir bacı için de geçerlidir. Böyle bir durumda önce kızlara veya oğul kızlarına hallerine göre payları verilir. Sonra terekeden mal artarsa kız kardeşler bu kızlar sayesinde asabe statüsünü kazandıklarından malın kalanını alırlar (Sâbûnî, ts.).

3) Diğer Akrabalar (zevi'l-erhâm): Bunlar, kendileri için pay belirlenmiş olmayan ve asabe statüsünde yer almayan akrabalardır. Kadın cihetinden akrabaları içeren bu tür; dayı, hala, teyze, kız tarafından torun, bacı oğlu vb. akrabalardan oluşmaktadır (Sâbûnî, ts.).

Ölenin ashâbu'l-ferâz ve asabe türünden bir akrabasının olmaması halinde zevi'l-erhâm kategorisindeki akrabalarının ona vâris olup olmayacağı ihtilaflıdır. Hanefîler ile Hanbelîlerin içinde bulunduğu çoğunluğa göre söz konusu durumda miras bu akrabalar arasında pay edilir (Serahsî, 1993; İbn Kudâme, 1997). İlk dönem Mâlikî ve Şâfiîlere göre bunların mirastan pay almaları mümkün değildir. Ölenin ashâbu'l-ferâz ve asabe sınıfından akrabaları yoksa miras beytü'l-male aktarılır. Ancak sonraki dönem Mâlikî ve Şâfiîler, beytü'l-malın bulunmadığı durumlarda zevi'l-erhâmın vâris olacağını kabul etmişlerdir (Kâdî Abdulvehhâb, h.1456; Mâverdî, 1999; Şirbînî, 1994).

Zevi'l-erhâmın vârisliğini kabul edenler, mirasın onlar arasında ne şekilde taksim edileceği konusunda ihtilaf ederek üç gruba ayrılmışlardır. Hanefîlere göre miras sırası zevi'l-erhâma geldiğinde kadın veya erkek olmaları fark etmeksizin tıpkı usulleri gibi muamele görürler. Dolayısıyla bu türden olan her bir akraba; annesinin veya babasının durumuna göre pay alır. Ehl-i tenzîl olarak nitelendirilen bu yaklaşımdakilere göre örneğin ölenin geride "kızının kızı, öz bacısının oğlu ve baba bir kardeşinin kızı" varsa tıpkı geride "kız evlat, öz bacı ve baba bir kardeş" bırakmış gibi sayılır. Bu durumda kızın kızına annesinin payı olan mirasını yarısı, kalan yarısı annesinin payı olarak öz bacının oğluna verilir. Baba bir kardeşin kızıysa mirastan pay almaz. Çünkü usulleri hayatta olsaydı aynı durum olacaktı. Nitekim öz bacı, kız sebebiyle asabe olmakta ve baba bir kardeşin mirastaki payını düşürmektedir (Serahsî, 1993). Hanbelîlere göre zevi'l-erhâm, miras sırasın kendilerine geldiğinde asabe hükmünü alırlar. Dolayısıyla her bir akraba, kadınlık-erkeklik durumuna ve ölüye yakınlık derecesine göre miras alır. Ehl-i kerâbet olarak isimlendirilen bu görüştekiler, zevi'l-erhâmı

"ölüye nispet edilenler,[1] ölünün nispet edildikleri,[2] ölünün ebeveynine nispet edilenler[3] ve ölünün dedelerine-nenelerine nispet edilenler[4]" şeklinde dörde tasnif etmiş, her birinin payının akrabalık derecesine göre belirleneceğini savunmuşlardır (İbn Kudâme, 1997; İbnü'l-Münecâ,2003). Ehl-i rahim olarak isimlendirilen azınlıktaki üçüncü gruba göreyse zevi'l-erhâm akrabalar; kadınlık-erkeklik-yakınlık durumu fark etmeksizin eşit şekilde vâris olurlar (Serahsî, 1993).

2. Miras Hesaplaması

Ferâizin temel konularından biri hesaptır. Zira mirasın taksimi hesapla bağlantılıdır. İslâm miras hukukunda her kombinasyonda payların doğru hesap edilip eksiksiz bölüştürülebilmesi için ortak paydanın belirlenmesi gerekir. *Ta'sîl (aslü'l-mes'ele)* olarak nitelendirilen bu işlem, vârislerin hisselerinin küsuratız çıkarılabileceği en küçük tam sayının (EKOK) tespit edilmesi esasına dayalıdır. Çünkü miras taksiminde küsuratlı sayılar kabul edilmez (Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

Ortak paydanın tespitinde vârislerin konumu önemlidir. Zira vârisler, ya tamamı asabe veya ashâbü'l-ferâiz ya da bir kısmı asabe diğer kısmı ashâbü'l-ferâiz olabilirler.

1) Vârislerin tamamı asabeyse ortak payda, paylar oranınca baş sayısına göre belirlenir. Örneğin vârisler 1 oğul ve 2 kızsa ortak payda 4'tür. Çünkü oğul iki, kızlar birer paya sahip olduklarından paylarına göre baş sayısı 4 olmaktadır (İbn Kâdî Şühbe, 2011; Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

	4 [5]
1 Oğul	2
2 Kız	1+1= 2

	9
2 Oğul	2+2= 4
5 Kız	1+1+1+1+1= 5

	12
3 Oğul	2+2+2= 6
6 Kız	1+1+1+1+1+1= 6

2) Vârislerin bütünü ashâbü'l-ferâiz veya bir kısmı ashâbü'l-ferâiz diğer kısmı asebe iseler ortak paydanın tespitinde ashâbü'l-ferâizin paylarına bakılır. Asabe, hisselerin kalanını alacağı için onun payı ortak payda hesaplamasına dâhil edilmez edilmez (Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

A) Ashâbü'l-ferâiz eşit paya sahip kimselerse ortada tek payda bulunacağından bu payda, ortak payda olur (Heytemî, 1983; Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

	2 X [6]
Koca	1/2 =1
1 Öz Bacı	1/2 =1

B) Ashâbü'l-ferâiz farklı paylara sahip kimselerse ortak payda, tüm paydaların en küçük ortak katı (ekok) olur. Miras bilginleri, bu hesaplamanın kolay yapılabilmesi için payları iki kategoriye ayırmışlardır. Birincisi, 1/2, 1/4 ve 1/8 şeklindeki paydası iki ve katları olan; ikincisi 2/3, 1/3 ve 1/6 biçimindeki paydası üç ve katları olan paylardır (Sâbûnî, ts.).

[1] Kızın oğlu-kızı, oğul kızının oğlu-kızıdır.
[2] Sahih olmayan dedeler-nenelerdir
[3] Aşağıya doğru öz bacı çocukları, öz kardeş kızları, anne bir kardeşlerin oğullarıdır
[4] Kişinin ya da babasının dayısı, halası, teyzesi ve bunların çocuklarıdır.
[5] Bu tabloların sağ-üst tarafında bulunan rakam, ortak paydadır. Varislerin sağında bulunan rakamlarsa paylardır.
[6] Bu tabloda ortak paydanın yanında bulunan "x" işareti matematikteki "çarpıyı" sembolize etmektedir. Bu işaret, hesaplama işleminin doğru yapılması için eklenmiştir. Buna göre tablodaki işlem şöyle olmaktadır: 2X1/2=1.

I. Paylar, aynı kategoridense en büyük olanı ortak payda olur (Heytemî, 1983; Sâbûnî, ts.;)

	4 X
Koca	1/4 =1
1 Kız Evlat	1/2 =2
Dede	Kalan 1/4 =1

	8 X
Karı	1/8 =1
1 Kız Evlat	1/2 =4
Dede	Kalan 3/8 =3

	6 X
Anne	1/6 =1
2 Anne Bir Kardeş	1/3 =2
Öz Amca	Kalan 3/6 =3

II. Paylar farklı kategoridense şu kurallar devreye girer:

-Birinci kategoriden 1/2'lik hisse ikinci kategoriden bir hisseyle bulunduğunda ortak payda 6 olur (Heytemî, 1983; Sâbûnî, ts.;).

	6 X
Koca	1/2 =3
Anne	1/3 =2
Dede	Kalan 1/6 =1

	6 X
Koca	1/2 =3
1 Anne Bir Kardeş	1/6 =1
Öz Amca	Kalan 2/6 =2

-Birinci kategoriden 1/4'lük hisse ikinci kategoriden bir hisseyle bulunduğunda ortak payda 12 olur (Heytemî, 1983; Sâbûnî, ts.;).

	12 X
Karı	1/4 =3
Anne	1/3 =4
Dede	Kalan 5/12 =5

	12 X
Karı	1/4 =3
1 Anne Bir Kardeş	1/6 =2
Öz Amca	Kalan 7/12 =7

-Birinci kategoriden 1/8'lik hisse ikinci kategoriden bir hisseyle bulunduğunda ortak payda 24 olur (Heytemî, 1983; Sâbûnî, ts.;).

	24 X
Karı	1/8 =3
1 Kız	1/2 =12
1 Oğul Kızı	1/6 =4
Anne	1/6 =4
Öz Kardeş	Kalan 1/24 =1

Bazı meselelerde ortak payda, ashâbü'l-ferâizin paylarının toplamından az; bazı hallerdeyse fazla olabilmektedir. İlk duruma *avl* (avliye), ikinci duruma *red* (reddiye) denilmektedir (Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

Avl, toplam hisselerin ortak paydayı aşması halinde ortaya çıkan matematiksel bir daralma halidir. Çözüm, bu daralmayı vârislere orantılı şekilde yansıtmaktır. Bu amaçla eski ortak payda iptal edilir ve payların toplamı, yeni ortak payda olarak kabul edilir. Bu işlemde her mirasçının pay adedi aynı kalsa da ortak payda büyüdüğü için aldıkları hisse oransal olarak azalmaktadır. Fakat neticede tamamı mahrum bırakılmadan mirastan pay almış olmaktadır (Serahsî, 1993; Sâbûnî, ts.). Aktarılanlardan anlaşılacağı üzere miras meselelerinde 2, 3, 4, 6, 8, 12 ve 24 olmak üzere toplam yedi ortak payda bulunmaktadır. Bunlardan sadece 6, 12 ve 24, ortak payda olduğunda avl durumu ortaya çıkabilmektedir. Ortak paydanın 6 olduğu hallerde meseleye göre ortak payda, 7, 8, 9 ve 10'a; 12 olduğu durumlarda 13, 15 ve 17'ye; 24 olduğundaysa 27'ye genişleyebilmektedir (Sâbûnî, ts.). Örneğin ölen kadının kocası, bir öz bacısı ve bir anadan bacısı varsa bunların payları sırasıyla 1/2, 1/2 ve 1/6 olur. Meselede birinci kategoriden 1/2 ve ikinci kategoriden 1/6 pay bulunduğundan normalde ortak payda 6 olmalıdır. Bu ortak payda üzerinden vârislerin payları hesaplandığında koca 3, öz bacı 3 ve ana bir bacı 1 pay alır. Vârislerin paylarının toplamda 7'ye ulaştığı ve ortak paydayı aştığı görülmektedir. Çözüm olarak eski payda olan 6 iptal edilir ve payların toplamı olan 7, yeni ortak payda olarak kabul edilir. Böylece miras, kocaya 3/7, öz bacıya 3/7 ve ana bir bacıya 1/7 şeklinde hak ettikleri oranlarda taksim edilmiş olur (Sâbûnî, ts.).

Red ise ortak paydanın hisselerin toplamını aşması durumunda ortaya çıkar.[1] Ölenin sadece ashâbü'l-ferâiz türünden varisleri bulunduğunda paylar taksim edildikten sonra terekeden artış olursa bu kısım, vârislere payları oranınca ekstradan bölüştürülür. Bunun içinse ortak payda yeni duruma göre küçültülür. Fakat red durumunda eşlere ilave bir pay verilmez. Mesela ölenin annesi ve anadan iki kardeşi varsa anne 1/6, anne bir kardeşler 1/3 oranında pay alır. Bu paylar aynı kategoride oldukları için normalde büyük olan 6'nın ortak payda olması gerekir. Böyle bir durumdaysa anne 1, kardeşler 2 hisse aldıktan sonra geriye 3 hisse fazla kalır. Bu nedenle ortak payda 3'e çekilerek 1'i anneye, 2'si anne bir kardeşlere verilir. (Serahsî, 1993; Sâbûnî, ts.).

İfade edildiği üzere miras taksiminde küsuratlı sayılar makbul değildir. Ancak bazen vârislerin sayılarıyla payları arasındaki uyumsuzluktan ötürü paylar küsuratız şekilde üleştirilememektedir. Bu durumlarda *tashih* uygulaması devreye alınır. Tashîh, her mirasçının payını tam sayıyla içeren en küçük yeni ortak paydanın elde edilmesidir (Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004). Bu işlemden önce sayılar arasındaki ilişkinin zikredilmesi yerinde olacaktır. Sayılar arasında dört tür ilişki vardır: Birincisi, temâsül (eşitlik) ilişkisidir. Bu, iki sayının aynı olmasıdır. Mesela 3 ile başka bir 3 böyledir. İkincisi, tedâhül (tam bölünebilirlik) ilişkisidir. Bu, iki sayıdan büyük olanının küçük olana bölünebilmesidir. Örneğin 8 ile 4 böyledir. Çünkü 8 sayısı 4'e bölünebilmektedir. Üçüncüsü, tevâfuk (ortak bölenli olma) ilişkisidir. Bu, iki sayının birbirine bölünememesi, ancak müşterek üçüncü bir sayıya bölünebilmesidir. Örneğin 6 ile 8 birbirlerine bölünememekte, fakat ikisi de 2 sayısına bölünebilmektedir. Dördüncüsü, tebâyün (aralarında asal olma) ilişkisidir. Buysa iki sayının ne birbirlerine ne de üçüncü bir sayıya bölünememesidir. Mesela 4 ile 7 böyledir (Sâbûnî, ts.; Müslim, 2004).

Paydaşların payıyla baş sayılarının eşit olması dolayısıyla aralarında temâsül ilişkisinin bulunması halinde tashihe hacet yoktur. Payla baş sayısı birbirini karşılamıyorsa (inkisâr) aralarındaki sayısal ilişkiye bakılır. Pay ile baş sayısı arasında tedâhül veya tevâfük ilişkisi varsa baş sayısının vefki[2] ortak paydayla çarpılır ve elde edilen sonuç yeni ortak payda kılınır. Şöyle ki, baş sayısıyla pay arasındaki en büyük ortak bölen (EBOB) bulunur. Sonra baş sayısı bu bölene bölünür ve elde edilen sonuç (vefk) ortak paydayla çarpılarak yeni ortak payda halini alır. Payla baş sayısı arasında tebâyün ilişkisi mevcutsa bu durumda baş sayısı

[1] İlk dönem Mâlikî ve Şâfiîlere göre red caiz değildir. Paylarda bir artış söz konusu olduğunda kalan miktar beytü'l-mala geçer. Müteahhirîn Mâlikî ve Şâfiîlerse beytü'l-mal müessesinin işlevsel olmadığı durumlarda reddi caiz görmüşlerdir (İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; Şirbînî, 1994).

[2] Vefk, miras terimi olarak baş sayısının, kendisi ile payın en büyük ortak bölenine (EBOB) bölündükten sonra ortaya çıkan neticedir.

doğrudan ortak paydayla çarpılır ve çıkan sonuç yeni ortak payda olarak kabul edilir (Zeylaî, h. 1313; Sâbûnî, ts.).

Tedâhüle örnek: Ölenin sekiz kızı, annesi ve bir amcası varsa kızlar 2/3, anne 1/6, amca asabe olarak malın kalanını alır. Burada 2/3 ile 1/6'lık paylar aynı kategoride oldukları için normalde büyük olan 6 sayısı ortak payda kılınır ve 6 hissenin 4'ü kızlara verilir. Ancak 4 hissenin tam sayıyla 8 kıza bölünmesi mümkün değildir. 4 ile 8 arasında tedâhül bulunduğu için kızların sayısının vefki olan 2, ortak payda olan 6 ile çarpılır ve çıkan 12 sonucu yeni ortak payda yapılır. Böylece 12'den 8 hisse kızlara eşit bir şekilde dağıtılmış olur.

	(Tashihsiz) **6 X**	(Tashihli) **12 X**
8 Kız	2/3 =4/8=0.50	3 =8/8=1
Anne	1/6 =1	/6 =2
Öz Amca	Kalan 1/6=1	Kalan 2/12=2

Bu kızlar 6 olursa tevafuka örnek olur. Bu durumda 4'ün tam sayıyla 6'ya bölünme imkânı olmayacaktır. Onun için kızların sayısının vefki olan 3,[1] ortak payda olan 6 ile çarpılır ve çıkan 18 sonucu yeni ortak payda yapılır. Böylelikle 18'den 12 hisse ikişerli şekilde kızlara verilir.

	(Tashihsiz) **6 X**	(Tashihli) **18 X**
6 Kız	2/3 =4/6=0.66	2/3 =12/6=2
Anne	1/6 =1	1/6 =3
Öz Amca	Kalan 1/6=1	Kalan 3/18=3

Tebâyün için örneğe ölenin kocası, bir kızı, üç oğul kızı ve bir öz kardeşinin olduğu hal zikredilebilir. Kocaya 1/4, kıza 1/2, oğul kızlarına 1/6, öz kardeşe asabe olarak kalan verilir. Bu kombinasyonda birinci kategoriden 1/4 ve 1/2, ikinci kategoriden 1/6 ile bulunmaktadır. Burada paydası büyük olan 1/4 esas alınır ve ikinci kategoriden bir payla birleştiği için ortak payda 12 olarak kabul edilir. Neticede 12 hissenin 2'si 3 oğul kızına verilir. Ancak 2 ile 3 arasında tebâyün ilişkisi bulunduğundan ne birbirlerine ne de üçüncü bir sayıya bölünememektedir. Bu nedenle oğul kızlarının baş sayısı olan 3, doğrudan ortak payda olan 12'ye çarpılır ve elde edilen 36 rakamı ortak payda kılınır. Böylece 36'nın 6'sı ikişerli şekilde oğul kızlarına verilir.

	(Tashihsiz) **12 X**	(Tashihli) **36 X**
Koca	1/4 =3	1/4 =9
1 Kız	1/2 =6	1/2 =18
3 Oğul Kızı	1/6 =2 /3=0.66	1/6 =6/3=2
Öz Kardeş	Kalan 1/12=1	Kalan 3/36=3

[1] Bu örnekte kızların sayısı olan 6'nin vefki 3'tür. Çünkü payların sayısı olan 4 ile onu bölen en büyük sayı 2'dir. 6 sayısı ikiye bölündüğünde ise 3 sayısı elde edilmektedir. İşte elde edilen bu sayı mevcut ortak paydayla çarpılır ve çıkan sonuç yeni ortak payda olur.

3. Yapay Zekânın Miras Hesaplaması

Tafsilatı verilen vârislerin ve paylarının muhtelif durumları, tereke taksiminde sayısız mesele meydana getirmektedir. Bu olasılıkların tamamını çalışma kapsamında ihâta etmek mümkün olmadığından dört spesifik mesele ele alınacaktır:

1) Ölenin Geride Karı, Anne, Dede ve Bir Öz Kardeş Bırakması Durumu

Karının hissesi 1/4 oranındadır. Çünkü ölenin evladı yoktur. Anne, mirasın tamamının 1/3'nü alır. Zira ölenin çocuğu, babası ve kardeşi bulunmamaktadır. Ölenin çocuğu veya birden fazla kardeşi olsaydı annenin payı 1/6 olurdu; babası yaşasaydı anne karının payı verildikten sonra kalanın 1/3'ünü alırdı. Dede, asabe olarak mirasın kalanını alır. Bu hususlarda ihtilaf yoktur. Öz kardeşin durumuysa ihtilaflıdır. Dedeyi tamamen baba hükmünde sayan İmam Ebu Hanife'ye (ö. 150/767) göre öz kardeş dededen ötürü hacbe uğrayıp herhangi bir pay alamaz. İmam Ebû Yusûf (ö. 182/798) ve İmam Muhammed'in (ö. 189/805) de içinde bulunduğu cumhura göreyse dede kardeşi hacbedemediğinden kardeş mirastan pay alır (Serahsî, 1993; İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997). Dedeyle birlikte kardeşlerin vâris olması meselesi oldukça tafsilatlı olmakla birlikte[1] bu örnek özelinde belirli pay sahiplerinin hisselleri paylaştırıldıktan sonra kalan kısım mukâseme usulüyle dede ile kardeşe eşit şekilde bölüştürülür.

İmam Ebû Hanife'ye Göre

	12 X
Karı	1/4 =3
Anne	1/3 =4
Dede	Kalan 5/12=5
1 Öz Kardeş	Mahcub

Cumhura Göre

	(Tashihsiz) **12 X**	(Tashihli) **24 X**
Karı	1/4 =3	1/4 =6
Anne	1/3 =4	1/3 =8
Dede	Eşit Şekilde Kalan 5/12=5/2=2,5	Eşit Şekilde Kalan 10/24=10/2=5
1 Öz Kardeş		

Bu meseleyle ilgili yapay zekâya yöneltilecek sorunun formatı şöyle olacaktır: Ölen kişinin geride karısı, annesi, dedesi ve bir öz erkek kardeşi varsa fıkıh mezheplerine göre bunların mirastaki payları nasıl olur?

A) ChatGPT [Tarih: 11.11.2025. Saat: 18.10]

"Ölenin: eşi, annesi, dedesi ve bir öz erkek kardeşi var. Çocuk yok. Mezhepler arasında dedenin konumu sebebiyle küçük fark vardır.

1) Hanefîlerde baba tarafından dede, babanın yerine geçer ve kardeşleri mirasçılıktan düşürür. Paylar:

- ✓ Eşi → 1/4
- ✓ Annesi → 1/6 (kardeş bulunduğu için pay 1/6'ya iner)
- ✓ Dede → Geriye kalan payı alır.
- ✓ Öz erkek kardeş → Pay alamaz (dede tarafından engellenir).

Hesap: Ortak payda: 12

- Eş: 3/12

[1] Cumhura göre dede-kardeş mirasçılığının iki hali vardır: 1) Dedeyle birlikte sadece kardeşlerin bulunması. 2) Dedeyle birlikte kardeşler ve başka varislerin bulunması. İlk halde dede, mukâseme ile malın 1/3'inden hangisi daha avantajlıysa o oranda miras alır. Mukâseme, dedenin kardeş gibi sayılıp mirası kardeşlerle birlikte erkeğe 2, kıza 1 olacak şekilde bölüşmeleridir. İkinci halde dede, mukâseme, kalanın 1/3'ü ve tamamın 1/6'sı seçeneklerinden hangisi daha kârlıysa o oranda vâris olur (İbn Rüşd, 1988; Mâverdî, 1999; İbn Kudâme, 1997).

- Anne: 2/12
- Dede: 7/12 (geri kalan)

2) Şâfiî, Mâlikî ve Hanbelî mezheplerine göre dede kardeşleri tamamen düşürmez; kalan mirası onlarla paylaşır (muqasama usulü). Paylar:

1. Eşi → 1/4
2. Annesi → 1/6
3. Kalan miktar → Dede ile erkek kardeş arasında paylaşılır. Kalan pay hesaplanır:
1. Başlangıç: 1
2. Eş 1/4 ve anne 1/6 alır → Geriye 7/12 kalır.
3. Dede ile kardeş bu 7/12'nin yarı yarıya paylaşır.

Sonuç:

1. Eş: 1/4
2. Anne: 1/6
3. Dede: 7/24
4. Öz Erkek Kardeş: 7/24"

ChatGPT'nin bu hesaplaması, eş ve dede-kardeşin mezhepler nezdindeki durumu hakkında ana hatlarıyla doğrudur. Ancak anneyle ilgili problem barındırmaktadır. Zira ölenin kardeşi olduğu için annenin payının 1/6 olduğunu söylemiştir. Oysa bu hüküm kardeşlerin birden fazla olması durumu için geçerlidir. Kardeşler olmadığında veya bir tane olduğunda anne 1/3 oranında pay alır. Bu hatanın uzantısı olarak 5/12 veya 10/24 olması gereken dede-kardeşin pay oranını, 7/12 ve 7/24+7/24 şeklinde yanlış hesaplamıştır. Aynı soru teyit amaçlı ikinci kere sorulmuş ve şu yanıt alınmıştır:

"Mirasçılar: Eş, anne, dede, öz erkek kardeş.

1) Hanefîlerde dede ile kardeşler arasında özel bir mukāsama/tercihler sistemi vardır.

Hesap şöyle çıkar:

• Eş → 1/4 (Çünkü çocuk yok).

• Anne → 1/6 (Çünkü kardeş var).

Geriye 1 − (1/4 + 1/6) = 1 − (3/12 + 2/12) = 1 − 5/12 = 7/12 kalır. Dedeye üç ihtimalden en iyi olanı verilir. Bu durumda dedeye "mukāsama" yöntemi daha kârlıdır: Dede ile erkek kardeş iki erkek gibi paylaşır.

Geriye kalan 7/12 pay:

• Dede → 7/24.

• Öz erkek kardeş → 7/24.

2) Şâfiî, Mâlikî ve Hanbelî mezheplerine göre baba tarafından dede, babanın yerine geçer ve kardeşleri tamamen engeller. Dolayısıyla öz erkek kardeş mirastan pay alamaz.

• Eş → 1/4.

• Anne → 1/6.

• Dede → Kalan.

Hesap: 1 − (1/4 + 1/6) = 7/12."

Bu yanıtta başka hatayla da karşılaşılmıştır. Zira görüleceği üzere annenin payıyla ilgili hatanın yanında görüşleri ters çevirerek fakihlere isnad etmiştir.

B) Gemini [Tarih: 11.11.2025. Saat: 18.28]

"Verilen vârisler: Karı, Anne, Dede, Öz Erkek Kardeş.

1. Ashab-ı Ferâiz: Öncelikle, payları belirlenmiş ve üzerinde ittifak olan vârislerin payları verilir:

5. Karı: Vefat edenin çocuğu bulunmadığı için payı 1/4'tür.
6. Anne: Vefat edenin kardeşi bulunduğu için payı 1/6'dır.

Bu iki pay (1/4 + 1/6 = 3/12 + 2/12 = 5/12) dağıtıldıktan sonra geriye 7/12 hisse kalır.

2. İhtilaf Noktası: Kalan 7/12 payın Dede ve Öz Erkek Kardeş arasında nasıl dağıtılacağı temel görüş ayrılığını oluşturur.

İmam Ebu Hanife ve Hanbeli Mezhebine göre Dede, Baba hükmündedir. Baba hayatta olsaydı nasıl ki kardeşleri mirastan tamamen mahrum bırakacak idiyse, Dede de aynı şekilde kardeşleri hacbeder. Bu görüşe göre pay dağılımı:

1. Karı: 1/4 (3/12)
2. Anne: 1/6 (2/12)
3. Dede: Hem 1/6 payını alır hem de 'asabe' olarak geriye kalan 5/12'yi alır. Toplamda 7/12 alır.
4. Öz Erkek Kardeş: Dede tarafından hacbedildiği için miras alamaz.

Maliki, Şafii Mezhepleri ve İmameyne göre Dede, kardeşleri hacbetmez; onlarla birlikte mirası paylaşır ("Mukâseme").

Bu paylaşımda Dede'nin payının, toplam mirasın 1/6'sından az olmaması gözetilir. Bu paylaşım senaryosunda, Dede'ye

kalan pay (7/12) üzerinde birkaç seçenekten (mukâseme, kalan mirasın 1/3'ü vb.) kendisi için "avantajlı" olan verilir.

Sizin verdiğiniz spesifik durumda (Karı, Anne, Dede, 1 Erkek Kardeş), Dede ve Erkek Kardeş kalan 7/12'yi eşit olarak

paylaşırlar. Bu görüşe göre pay dağılımı (Payda 24'e eşitlenirse):

5. Karı (Zevce): 1/4 (6/24)
6. Anne: 1/6 (4/24)
7. Dede: Kalan 7/12'nin yarısını alır (7/24)
8. Öz Erkek Kardeş: Kalan 7/12'nin diğer yarısını alır (7/24) (Toplam: 6 + 4 + 7 + 7 = 24/24)"

Gemini'nin verdiği yanıtta üç hata göz çarpmaktadır. Birincisi, İmam Ebû Hanife'nin, dedenin kardeşi hacbedeceği görüşünü Hanbelîlere de isnad etmiştir. İkincisi, dedeyi hem ashâbü'l-ferâiz hem de asabe kılmıştır. Hâlbuki dede, babanın yokluğunda onun gibi ölenin oğlu olmayıp kızı veya oğul kızı olduğunda bu şekilde vâris olur. Üçüncüsü, annenin payını, 1/6 olarak belirleyerek yanlış vermiştir. Buna bağlık olarak dede-kardeşin pay sayısını hatalı vermiştir.

C) Deepseek [Tarih: 11.11.2025. Saat: 18.47]

"Hanefi mezhebinin esas aldığı İslam miras hukuku kurallarına göre bu durumu şöyle izah edebiliriz:

1. Ashabü'l-Ferâiz

1. Karı: Çocuğu olmayan ölen kocasının mirasında payı ¼'tir.
2. Anne: Ölenin çocuğu olmadığı ve ölüye bağlanacak bir erkek kardeş bulunduğu için annenin payı 1/6'dır.

Bu aşamada mirasın dağılımı:

1. Karı: 1/4
2. Anne: 1/6
3. Toplam: 1/4 + 1/6 = 3/12 + 2/12 = 5/12 mirastan halledildi.
4. Geriye kalan miras: 1 - 5/12 = 7/12

2. Asabe

Kalan 7/12'lik kısım, ölenin en yakın erkek akrabasına kalır. Burada iki "asabe" adayı var: Dede ve Öz Erkek Kardeş.

Kural: Mirasçılar arasında baba (veya dede gibi baba konumunda erkek akraba) varsa, öz kardeşler mirastan mahrum kalır. Buna "hacb" denir.

Dede, baba konumunda olduğu için, öz erkek kardeşi mirastan mahrum eder.

Sonuç: Geriye kalan 7/12'lik kısmın tamamını Dede alır. Öz erkek kardeşse bu mirastan hiçbir pay alamaz.

Diğer Mezheplerde Durum:

1. Maliki Mezhebi: Maliki mezhebinde de temel kural benzerdir. Dede, öz kardeşi mirastan mahrum eder. Bu nedenle sonuç aynı olacaktır: Karı 1/4, anne 1/6, dede kalanı alır, öz erkek kardeş pay alamaz.
2. Şafii ve Hanbeli Mezhepleri: Bu iki mezhepte, dede ve kardeş birlikte bulunduğunda mirasın dağıtımı için farklı bir yöntem (mustereka) uygulanır ve öz kardeş dedeyle birlikte mirastan pay alabilir. Ancak bu paylaşım, Hanefi'deki kadar basit değildir ve belirli bir formüle göre yapılır. Kısaca, bu mezheplerde öz erkek kardeş tamamen mahrum olmaz, dedeyle birlikte kalan payı paylaşırlar.”

Deepseek’in yanıtında da bazı hatalar vardır. Annenin payını 1/6 şeklinde vermiştir. Dedenin kardeşi hacbettiği konusunda Mâlikîlerin Hanefîlerle aynı görüşte olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kavramsal bazı yanlışlıklarda bulunmuştur. Şâfiî ve Hanbelîlerin görüşünü verirken onlara göre kardeş ve dedenin payında “mustereka” yönetiminin uygulanacağını söylemiştir. Söz konusu yöntemse “mustereka” değil mukâsemedir.

2) Ölenin Geride Karı, Baba, Anne ve İki Kız Bırakması Durumu:

Ölenin evladı olduğundan karının hissesi 1/8, annenin payı 1/6’dır. Baba önce 1/6 ve taksimden sonra mal artarsa kalanı alır. Zira ölenin sadece kızları vardır. Kızlar birden fazla oldukları için 2/3 miktarında mirasçı olurlar. Görüldüğü üzere birinci kategoriden 1/8 oranındaki pay, ikinci kategoriden 2/3 ve 1/6 ile bir arada bulunmaktadır. Bu sebeple normalde ortak paydanın 24 olması gerekir. Ancak bu payda üzerinden payların toplamı 27 olmaktadır. Şöyle ki 24’ün 1/8’i 3; 1/6’sı 4+4=8; 2/3’ü 16 eder. Bunların toplamıysa 27’dir. Dolayısıyla söz konusu ortak payda paylara yetmemektedir. O bakımdan avl yöntemiyle ortak payda paylar oranınca 27’ye çıkarılır.

	(Avl’den Önce) **24 X**	(Avl’den Sonra) **27 X**
Karı	1/8= 3	1/8= 3
Baba	1/6= 4	1/6= 4
Anne	1/6= 4	1/6= 4
2 Kız	2/3= 16 /2=8	2/3= 16 /2=8

Bu konuda yapay zekâya sorulacak soru şöyle olacaktır: Ölen kişinin geride karısı, babası, annesi ve iki kızı varsa fıkıh mezheplerine göre bunların miras payları nasıl taksim edilir?

A) ChtaGPT [Tarih: 11.11.2025. Saat: 21.05]

> "Bu miras taksimi İslam miras hukukunda çoğunluk mezheplere göre şu şekilde yapılır:
>
> 1. İki kız birlikte malın 2/3'ünü alır.
> 2. Eş, çocuk bulunduğu için 1/8 alır.
> 3. Anne, çocuk bulunduğu için 1/6 alır.
> 4. Baba, çocuk bulunduğunda 1/6 pay alır ve eğer artan olursa kalan artığı da alır. Ancak bu örnekte paylar toplandığında artan kalmaz, dolayısıyla yalnızca 1/6 almış gibi olur.
>
> Payların ortak paydası 24 alınır: Toplam = 16 + 3 + 4 + 4 = 27/24 oluyor.
>
> Bu durumda klasik fıkıhta "avl" uygulanır; yani paylar biraz daraltılır ve toplam 27 pay üzerinden taksim yapılır."

ChatGPT'nin bu meselede payları isabetli tespit ettiği ve taksimi doğru yaptığı görülmektedir.

B) Gemini [Tarih: 11.11.2025. Saat: 21.17]

> "Belirttiğiniz durumda pay dağılımı Sünni mezheplerin ittifakıyla şu şekilde yapılır:
>
> 1. Adım: Hisselerin Tespiti (Ashâb-ı Ferâiz)
>
> 1. Karı: Ölenin çocuğu olduğu için 1/8 alır.
> 2. Baba: Ölenin çocuğu olduğu için 1/6 alır. (Bu durumda baba hem Ashâb-ı Ferâiz hem de kalırsa Asabe vasfına sahiptir. Ancak göreceğimiz gibi pay kalmayacaktır.)
> 3. Anne: Ölenin çocuğu olduğu için 1/6 alır.
> 4. İki Kız: Erkek kardeşleri olmaksızın birden fazla oldukları için toplam 2/3 alırlar.
>
> 2. Adım: Payda Eşitleme ve Avliyye Tespiti
>
> Hisselerin (1/8, 1/6, 1/6, 2/3) en küçük ortak katı (asl-ı mesele) 24'tür.
>
> 1. Karı (1/8) * 24 = 3 sehim
> 2. Baba (1/6) * 24 = 4 sehim
> 3. Anne (1/6) * 24 = 4 sehim
> 4. İki Kız (2/3) * 24 = 16 sehim (Her kıza 8 sehim). Hisselerin toplamı: 3 + 4 + 4 + 16 = 27
>
> Görüldüğü üzere, payların toplamı (27), paydadan (24) daha büyüktür. Bu durum, mirasın 24 hisseye bölünemeyeceğini, çünkü mirasçıların haklarının toplamının 27 hisse olduğunu gösterir. Bu durumda "Avliyye" prensibi uygulanır. Asl-ı mesele 24'ten, paylar toplamı olan 27'ye yükseltilir. Böylece tereke 24 birim değil, 27 birim olarak kabul edilir ve her mirasçı kendi hissesini bu yeni payda üzerinden alır."

Gemini'nin yanıtı da doğru bilgilerden müteşekkildir. Farkı, meseleyi biraz daha anlaşılır bir şekilde sunmuş olmasıdır.

C) Deepseek [Tarih: 11.11.2025. Saat: 21.36]

> "1. Hanefilere göre miras payları şu şekilde hesaplanır:
>
> 1. Karı: Ölenin çocukları olduğu için, 1/8 hisse alır.
> 2. Anne: Ölenin çocukları olduğu için, 1/6 hisse alır.
> 3. Baba: Anne gibi, ölenin çocukları olduğu için 1/6 hisse alır. Ancak baba aynı zamanda "asabe"dir.
> 4. İki Kız Çocuğu: İkisi birlikte 2/3 hisse alırlar.

Hesaplama:

1/8 (Karı) + 1/6 (Anne) + 1/6 (Baba) + 2/3 (İki Kız) = 3/24 + 4/24 + 4/24 + 16/24 = 27/24 eder. Bu, 24/24'ten büyüktür. Bu duruma "avl" denir. Paydalar 24'e yükseltilir ve paylar bu yeni paydaya göre dağıtılır.

1. Karı: 3/24
2. Anne: 4/24
3. Baba: 4/24
4. İki Kız: 16/24

Bu dağıtımda baba, hem belirli payını (1/6 = 4/24) hem de asabe olarak kalan mirastan pay alamaz çünkü miras, belirli pay sahiplerine dağıtılırken "avl" ile tükenmiştir.

2. Şafii, Maliki ve Hanbeli Mezhepleri, "avl" uygulamasını kabul etmez. Onlara göre baba, sadece belirli payını (1/6) alan bir mirasçı değil, aynı zamanda kız çocuklarıyla birlikte "asabe"dir. Yani belirli paylar dağıtıldıktan sonra kalan mirası, kız çocuklarıyla birlikte paylaşır. Paylar şu şekilde başlar:

1. Karı: 1/8
2. Anne: 1/6
3. Baba: 1/6
4. İki Kız: 2/3

Hesaplama:

1/8 + 1/6 + 1/6 + 2/3 = 3/24 + 4/24 + 4/24 + 16/24 = 27/24 eder. Mezhepler avl'ü kabul etmediği için, bu fazlalık "artık mal" olarak kabul edilir ve asabe olan baba ve iki kız çocuğuna dağıtılır. Bu üç mezhepte, baba ve kızlar "asabe bi-gayrihi" kapsamına girer. Baba, kız çocuklarını "erkek kardeş" konumuna sokar ve kalan miras onlara, bir erkeğe iki kadın payı olacak şekilde dağıtılır. Dağıtım Şekli:

a) Önce belirli paylar çıkarılır:

1. Karı: 1/8 = 3/24
2. Anne: 1/6 = 4/24
3. Toplam: 7/24 harcandı. Kalan: 17/24

b) Baba ve iki kız, bu kalan 17/24'ü paylaşır. Baba bir erkek, iki kız iki kadın sayılarak toplam 3 hisse oluşturulur.

1. Baba: 2 hisse alır.
2. İki Kız: 1 hisse alır.
3. Yani kalan 17/24, 3 hisseye bölünür. Her hisse: 17/72 eder.
4. Baba: 2 hisse = 34/72
5. İki Kız: 1 hisse = 17/72 (Her bir kız 17/144 alır).”

Deepseek’in yanıtı birçok açıdan problemler içermektedir. Birincisi, Hanefîlerin dışındaki mezheplerin avli kabul etmediklerini belirtmiştir. Oysa avl ile ilgili mezhepler arasında ihtilaf bulunmamaktadır. İkincisi, Hanefîlerin avli kabul ettiklerini söyleyerek paydanın yükseltileceğini belirtmiş, fakat avli uygulayıp ortak paydayı 24’ten 27’ye çıkarmamıştır. Üçüncüsü, Hanefîlere göre bu durumda babanın ekstradan pay alamamasını avlin payları tüketmesine bağlamıştır. Hâlbuki baba, bu sebepten ötürü değil paylar nedeniyle geride mal kalmadığı için ek hisse almamaktadır. Dördüncüsü, diğer mezheplerin görüşünü aktarırken muayyen pay sahiplerinden artan kısmı babayla kız arasında asabe statüsüyle ikiye bir şeklinde taksim etmiştir. Bu bilgi, babayla kızın mirası açısından hatalıdır. Çünkü baba ve kızın bu meseledeki hisselerinin böyle olmadığı bilinmektedir. Kaldı ki ölenin babasıyla kızının birlikte asabe olmaları miras fıkhı açısında hiçbir durumda vaki değildir.

3) Ölenin Geride Ana, Bir Kız ve Bir Oğul Kızı Bırakması Durumu:

Annenin payı, ölenin evladı olduğundan 1/6'dır. Kız bir tane olduğu için 1/2 oranında pay alır. Oğul kızı da tekmiletü's-sülüseyn kapsamında 1/6 miktarında hisseye sahip olur. Birinci kategoriden 1/2 oranındaki hisse diğer kategoriden 1/6 ile bulunduğu için ortak payda 6 olarak belirlenir. Bu ortak payda üzerinden hesaplama yapıldığındaysa payların toplamının 5 olduğu, geriye bir payın arttığı görülür. İşte red olarak isimlendirilen bu durumda ortak payda hisse oranınca küçültülür ve 5 olarak kabul edilir.

	(Red'den Önce) **6 X**	(Red'den Sonra) **5 X**
Anne	1/6= 1	1/5= 1
1 Kız	1/2= 3	3/5= 3
1 Oğul Kızı	1/6= 1	1/5= 1

Bu konuda yapay zekâya şöyle bir soru yöneltilecektir: Ölen kişinin geride annesi, bir kızı ve bir oğul kızı varsa fıkıh mezheplerine göre bunların miras payları nasıl olur?

A) ChatGPT [Tarih: 12.11.2025. Saat: 12.34]

"1. Hanefî Mezhebine Göre

Anne: 1/6 — çünkü ölenin çocukları var.

Kız: 1/2 — çünkü tektir.

Oğul kızı: 1/6 — çünkü kızla birlikte olduğundan "tamamlamak" için altıda bir alır.

Toplam: 1/2 + 1/6 + 1/6 = 5/6. Geri kalan 1/6 asabe yoksa "radd" yoluyla kız ve oğul kızı arasında oranlı paylaştırılır.

2. Şâfiî ve Hanbelî Mezheplerine Göre

Anne: 1/6

Kız: 1/2

Oğul kızı: 1/6

Aynı şekilde paylaşım yapılır. Kalan varsa radd edilir, ancak anneye radd verilmez.

3. Mâlikîler de genelde Hanefîlerle aynı hesaplamayı benimserler:

Anne: 1/6

Kız: 1/2

Oğul kızı: 1/6"

ChatGPT'nin verdiği yanıt iki yönlüdür. Mirasçıların payları konusunda isabetli sonuç vermiştir. Ancak red meselesiyle ilgili birkaç yanlışlık barındırmaktadır. Birincisi, Hanefî mezhebine göre artan miktarın red yoluyla kız ve oğul kızı arasında oranlı paylaştırılacağını belirtmiş, anneye bir pay takdir etmemiştir. Oysa bu, Hanefîlerin görüşüne aykırıdır. İkincisi, aynı hatayı Şâfiî ve Hanbelîlerin görüşlerini aktarırken de yaparak onlara göre anneye red ile ek pay verilmeyeceğini belirtmiştir. Bu da hatadır. Çünkü mezheplere göre red yoluyla ek pay alamayan vârisler sadece eşlerdir. Üçüncüsü, aktardığı görüşler sonuçta aynı olmasına rağmen sanki her biri farklıymış gibi ayrı ayrı aktarmıştır.

B) Gemini [Tarih: 12.11.2025. Saat: 12.51]

"Paylaşım şu şekilde gerçekleşir:

1. Ashâb-ı Ferâiz Olarak Belirlenen İlk Paylar

Öncelikle, mirasta payları net olarak belirlenmiş olan Ashâb-ı Ferâiz paylarını alır:

1. Anne: Müteveffanın fürû'u bulunduğu için 1/6 alır.
2. Kız: Tek olduğu ve yanında onu asabe yapacak bir erkek kardeşi bulunmadığı için 1/2 alır.
3. Oğul Kızı: Müteveffanın gerçek kızı 1/2 payı aldığında, oğul kızı devreye girer. Kız çocuklarının toplam payı olan 2/3'lük kotayı doldurmak için ("tekmileten li's-sülüleyn") 1/6 pay alır.

(Hesaplama: 2/3 [Toplam kız kotası] - 1/2 [Gerçek kızın payı] = 1/6)

2. Reddiyye Durumu ve Nihai Paylaşım

Bu aşamada payları topladığımızda (1/6 + 1/2 + 1/6) toplam 5/6 elde edilir. Terikenin tamamı (6/6) dağıtılamamış, geriye 1/6'lık bir pay kalmıştır. İslam hukukunda, asabe bulunmadığı durumlarda, arta kalan bu payın (eşler hariç) Ashâb-ı Ferâiz'e kendi payları oranında geri dağıtılmasına "Reddiyye" denir. Bu durumda mirasın paydası 6'dan 5'e "reddedilir" ve tereke 5 eşit parçaya bölünür.

Nihai Sonuç (Mezheplerin İttifakıyla):

1. Anne: 1 pay alır (1/5)
2. Kız: 3 pay alır (3/5)
3. Oğul Kızı: 1 pay alır (1/5)

Toplam = 5/5 (Terekenin tamamı dağıtılmış olur)."

Gemini'nin yanıtı her yönüyle isabetlidir. Nitekim hem payları doğru bir oranla taksim etmiş hem de reddiye meselesinde bir hataya düşmemiştir.

C) Deepseek [Tarih: 12.11.2025. Saat: 13.04]

"1. Hanefi mezhebinde, ölenin kızı mirasın asıl vârisidir. Oğul kızı ise, kızın bulunması durumunda normalde "asabe" olarak miras alır. Ancak burada önemli bir engel vardır: "Ölenin kızı, oğlun kızına mirastan mahrum eder." Buna "hacb-i nûman" denir.

1. Anne: 1/6 alır. Çünkü ölenin çocuğu bulunmaktadır.
2. Kız: 1/2 alır. Çünkü tek kızdır.
3. Oğul Kızı: Kızın bulunması sebebiyle mirastan mahrum kalır.

Toplam: 1/6 + 3/6 = 4/6 (2/3) eder. Geriye kalan 2/6 (1/3) ise "artık miras" olarak tekrar hesaplanır. Bu durumda kız, aynı zamanda "asabe" olduğu için bu kalan payı da alır ve toplamda tüm malın sahibi olur. Yani pratikte:

1. Anne: 1/6
2. Kız: 5/6 (1/2 + kalan 1/3)

2. Şafii ve Maliki Mezhepleri, torunun hakları konusunda daha farklı ve modern miras hukukuna daha yakın bir yaklaşım benimser. Bu mezheplerde "reddiye" veya "te'sîs" metodu uygulanır. Temel mantık, torunu mirastan tamamen mahrum bırakmamak, onu babasının yerine koymaktır.

1. Anne: Yine ölenin çocuğu olduğu için malın 1/6'sını alır.
2. Kız ve Oğul Kızı: Bu ikisi, babalarının hakları oranında paylaşırlar. Önce miras, sanki ölenin bir oğlu ve bir kızı varmış gibi düşünülür. Bir oğul bir kızın payı, "iki erkeğe

eşit" olduğundan, paylar 2 (oğul) + 1 (kız) = 3 hisse olur. Kız, 1 hisse alır. Ölen oğul 2 hisse alırdı, ancak o ölmüştür. Onun hakkı, çocuklarına kalır.
Paylaşım:
1. Anne: 1/6
2. Kalan 5/6, kız ve torun arasında 1'e 2 oranında paylaştırılır.
3. Kız: Kalanın 1/3'ünü alır. ((5/6) x (1/3) = 5/18)
4. Oğul Kızı: Kalanın 2/3'ünü alır. ((5/6) x (2/3) = 10/18)."

Deepseek'in bu yanıtında ferâiz ilmi açısından ciddi problemler bulunmaktadır. Hanefî mezhebine göre ölenin kızının mirasın asıl vârisi olduğunu, oğul kızının normalde asabe olarak miras alacağını, fakat kız sebebiyle mirastan mahrum kalacağını belirtmiştir. Bu bilgi hata barındırdığı gibi kendi içinde çelişki de içermektedir. Zira ne Hanefîlere ne de diğer mezheplere göre hiçbir durumda oğul kızı kızdan ötürü asabe olmaz. Ayrıca asabe durumunda olan kişi başkasından ötürü hacbe uğramaz. Kaldı ki bir tek kız, oğul kızını mirastan mahrum etmez. Bunun yanında kızın asabe durumunda olduğu ve mirasın aratanını alacağı yönündeki bilgi de yanlıştır. Söz konusu platformun diğer mezhepler adına verdiği bilgiler tamamen hatalıdır. Nitekim kızla oğul kızının birlikte asabe olduklarını ve oğul kızının babasının yerine onun payını alacağını belirtmiştir. Buysa hiçbir mezhep tarafından ileri sürülmemiştir. Meselenin asıl odak noktası olan reddiyeyi de kız ile oğul kızını asabe yapan bir yöntem olarak sunarak tamamen yanlış işletmiştir.

4) Ölenin Geride Karı, Beş Kız, Baba, Anne, Öz Erkek Kardeş Bırakması Durumu:

Karı, ölenin çocuğu olduğu için 1/8; anne 1/6; baba 1/6; kızlar da birden fazla olduklarından 2/3 oranında pay alırlar. Öz erkek kardeşse babadan ötürü hacbe uğrar. Tabii çocuklar kız olduklarından taksimden bir şeyin artması halinde kalan, asabe olarak babaya verilirdi. Ancak bu meselede bir şey artmamakta aksine ortak payda paylara yetmemektedir. Zira birinci kategoriden 1/8, ikinci kategoriden 2/3 ile beraber bulunduğundan ortak payda normalde 24 olmalıdır. Fakat bu ortak payda üzerinden hesap edildiğinde paylara yetmediği görülmektedir. Çünkü 24'ün 1/8'i 3; 1/6'sı 4+4=8; 3/2'si 16 eder. Bunların toplamıysa 27'dir. O bakımdan önce avl yöntemiyle ortak payda 24'ten 27'ye çıkarılır. Ne var ki bu durumda da kızların payı olan 16 onların baş sayısı olan 5'e küsuratız bir şekilde bölünmemektedir. Onun için tashihe de ihtiyaç vardır. Bu kapsamda 16 ile 5 arasında tebâyün bulunduğu için baş sayısı olan 5 doğrudan ortak payda olan 27'ye çarpılır. Çıkan 135 sonucu yeni ortak payda kılınır ve miras bunun üzerinden taksim edilir.

	(Avl'den Önce) **24 X**	(Avl'den Sonra, Tashihten Önce) **27 X**	(Tashihten Sonra) **135 X**
Karı	1/8= 3	3/27= 3	15/135= 15
5 Kız	2/3= 16 /5=3,2	16/27= 16 /5=3,2	80/135= 80 /5=16
Baba	1/6= 4	4/27= 4	20/135= 20
Anne	1/6= 4	4/27= 4	20/135= 20
Öz Erkek Kardeş	Mahcub	Mahcub	Mahcub

Bu hususta yapay zekâya sorulan olan soru şöyledir: Ölen kişinin geride karısı, beş kızı, babası annesi ve bir öz erkek kardeşi varsa fıkıh mezheplerine göre bunların miras hisseleri nasıl olur?

A) ChatGPT [Tarih: 12.11.2025. Saat: 15.17]

"Ölenin geride karısı, 5 kızı, babası, annesi ve bir öz erkek kardeşi var. Kardeş, baba bulunduğu için miras alamaz. Miras payları:

1. Eşi: 1/8 (çocuk bulunduğu için)
2. 5 kızı: Toplam 2/3 (birden fazla oldukları için)
3. Anne: 1/6 (çocuk bulunduğu için)
4. Baba: Geriye kalanı alır (asabe olarak)

Sonuç:

1. Karısı: 1/8
2. 5 kız: toplam 2/3
3. Anne: 1/6
4. Baba: kalanı
5. Kardeş: mirasçı olamaz

Bu paylaşım Hanefi, Şafiî, Maliki ve Hanbeli mezheplerinde aynıdır."

ChatGPT'nin verdiği bu yanıtta bir hata ve iki eksiklik bulunmaktadır. Babayı doğrudan asabe olarak tayin emiştir. Hâlbuki baba bu durumda önce 1/6 oranında pay alır ve artması durumunda malın kalanını elde eder. Ayrıca ortak paydayı belirtmemiş ve meselede bulunan avliyye ile tashih hususlarına hiç değinilmemiştir. Teyit amaçlı aynı soru ilkinden yaklaşık on beş dakika sonra bir daha sorulmuştur. İkinci yanıtta da aynı şekilde avl ve tashih konularına hiç değinmemiş, fakat babayla ilgili bilgiyi düzeltmiştir.[1]

B) Gemini [Tarih: 12.11.2025. Saat: 15.51]

"Bahsettiğiniz miras paylaşımı, İslam hukukunda "Avliyye" olarak bilinen teknik bir durumu içermektedir. Çözüm, Sünni fıkıh mezheplerinin neredeyse tamamı için aynıdır.

1. Vârislerin Tespiti: Öncelikle, mirasçılar arasında mirastan pay almayı engelleyen bir durum olup olmadığı incelenir.

-Vârisler: Karı, Beş Kız, Baba, Anne, Öz Erkek Kardeş.

-Engellenen Vâris: Öz Erkek Kardeş. Mirasçının babası hayatta olduğu için, baba "asabe" sıralamasında erkek kardeşten önce gelir. Bu nedenle, babanın varlığı öz erkek kardeşi mirastan tamamen engeller (Hacb-i Hırman). Paylaşım, geriye kalan dört grup vâris arasında yapılır.

2. Payların Belirlenmesi: Kalan mirasçıların tamamı "Ashab-ı Ferâiz"dir.

1. Karı: Ölenin çocukları olduğu için, payı 1/8'dir.
2. Beş Kız: Ölenin birden fazla kızı olduğu için, kızların toplu payı 2/3'tür.
3. Anne: Ölenin çocukları olduğu için, annenin payı 1/6'dır.

[1] "Sorudaki durumda ölen kişinin geride kalan mirasçıları şunlardır:
• Karısı
• Beş kızı
• Babası
• Annesi
• Bir öz erkek kardeşi Bu durumda miras şu şekilde paylaştırılır:
1. Eş (karısı): Çocuk bulunduğu için, karının payı 1/8 (sekizde bir) olur.
2. Kızlar (beş kişi): Beş kız birlikte, erkek çocuk bulunmadığı için, toplam mirasın 2/3 (üçte ikisi)ni paylaşırlar.
3. Anne: Çocuk bulunduğu için, annenin payı 1/6 (altıda bir) olur.
4. Baba: Çocuk bulunduğu için, baba hem pay alır (1/6) hem de artan kalanı asabe olarak alır. Ancak bu durumda kızlar 2/3, eş 1/8, anne 1/6 aldığı için paylar tamamlandığında mirasın tamamı dağıtılmış olur. Dolayısıyla babaya yalnızca 1/6 (altıda bir) düşer; fazlalık kalmaz.
5. Öz erkek kardeş: Baba hayatta olduğu için kardeş mirasçı olamaz. Çünkü baba, kardeşleri mirastan düşürür (hacb eder)."

4. Baba: Ölenin çocukları olduğu için, babanın payı 1/6'dır. (Baba burada hem Ashab-ı Ferâiz olarak pay alır. Eğer paylaşımdan sonra geriye bir şey kalsaydı 'asabe' olarak onu da alırdı, ancak bu meselede kalmamaktadır).

3. Payların Hesaplanması: Bu mesele, payların toplamının terekenin tamamını aştığı özel bir durumdur. Buna fıkıhta "Avliyye" denir.

-Payları Toplayalım: 1/8 (Karı) + 2/3 (Kızlar) + 1/6 (Anne) + 1/6 (Baba)

-Payda Eşitleme (Ortak Payda 24):

1. Karı: 1/8 = 3/24
2. Kızlar: 2/3 = 16/24
3. Anne: 1/6 = 4/24
4. Baba: 1/6 = 4/24

-Toplam Pay: 3 + 16 + 4 + 4 = 27

Görüldüğü gibi, mirasın 24 pay kabul edilmesi durumunda dağıtılması gereken pay 27'dir. Miras (24 pay) yetersiz kalmaktadır.

4. Çözüm: Avliyye Uygulaması: Sünni mezheplerin çözümüne göre, bu durumda "Asl-ı Mes'ele" 24'ten 27'ye yükseltilir. Bu, her mirasçının alacağı pay oranının orantısal olarak azaltılması demektir.

-Nihai Dağılım:

1. Karı: 3 pay alır (mirasın 3/27'si)
2. Beş Kız: 16 pay alır (mirasın 16/27'si)
3. Anne: 4 pay alır (mirasın 4/27'si)
4. Baba: 4 pay alır (mirasın 4/27'si)
5. Öz Erkek Kardeş: 0 pay alır (Baba tarafından engellendiği için)”

Gemini’nin bu yanıtı, bir öncekine göre daha isabetlidir. Zira hem payları doğru taksim etmiş hem de meselede bulunan avl hususuna değinmiştir. Ne var kızların sayısından ötürü başvurulması gereken tashih işlemine hiç değinmemiştir. Soru ikinci kere yöneltilmiş, farklı ifade biçimiyle de olsa aynı yanıtı vermiştir.

C) Deepseek [Tarih: 12.11.2025. Saat: 16.11]

“1. Hanefi Mezhebi:

1. Eş: Malın 1/8'ini (çocuk olduğu için) alır.
2. Kızlar: Malın 2/3'ünü paylaşırlar (İkiden fazla oldukları için).
3. Anne: Malın 1/6'sını alır (çocuk olduğu için).
4. Baba: Malın 1/6'sını alır (çocuk olduğu için) + kalanı "asabe" sıfatıyla alır.
5. Öz Erkek Kardeş: Hiçbir şey alamaz. Çünkü baba mirasçı olduğu için, onun vasıtasıyla "hacb" olur.

2. Maliki Mezhebi:

1. Eş, Kızlar, Anne payları Hanefi'deki gibidir.
2. Baba: Sadece farz payı olan 1/6'sını alır, artandan almaz.
3. Öz Erkek Kardeş: Burada fark ortaya çıkar. Baba ile birlikte kardeş de mirasçı olur. "Asabe" olarak babadan kalan artan malı erkek kardeşle birlikte paylaşırlar. Baba iki, erkek kardeş bir hisse alır.

3. Şafii ve Hanbeli Mezhepleri: Bu iki mezhepteki paylaşım, temel olarak Hanefi mezhebiyle aynıdır.”

Deepseek, bu yanıtında öncekilerde olduğu gibi ciddi hatalar yapmıştır. Hanefî Şâfiî ve Hanbelîlerin görüşlerini aktarırken payları doğu taksim etmiştir. Ancak Mâlikîlere atfettiği görüş yanlıştır. Çünkü Mâlikîler, cumhur gibi kardeşin baba tarafından hacbedileceği görüşündedirler. Dolayısıyla babayla kardeş birlikte asabe olmamaktadır. Bununla beraber yanıtta avl ve tashih konularına hiç değinilmemiştir.

Sonuç

Bu çalışmada ChatGPT, Gemini ve Deepseek bağlamında yapay zekâ platformları tarafından miras konularına ilişkin verilen yanıtların doğruluk ve tutarlılık oranı değerlendirilmiştir. İnceleme sonuçları, söz konusu platformların miras hesaplamalarına dair bütüncül, tutarlı ve ilmî bir çerçeve sunmaktan uzak olduklarını açıkça göstermiştir. Basit ve ihtilafsız meselelerde çoğu zaman doğru sonuçlar vermişlerdir. İhtilaflı ve karmaşık meselelerde de aynı sonuçları vermeleri beklenirdi. Çünkü çevrimiçi ortamda ferâize ilişkin yığınla bilgi bulunduğu gibi miras paylarının taksimiyle ilgili birçok dijital hesaplama aracı da mevcuttur. Ayrıca ferâiz, matematiksel hesaba dayalı olması hasebiyle yapay zekâ platformlarının algoritmik yapısıyla da uyumludur. Bu itibarla hesaplamaların daha doğru ve didaktik yapılması gerekirdi. Ne var ki sonuçlar bu beklentiyi karşılamamış, aksine yapay zekânın ilmî tahlilden uzak bilgi ürettiği görülmüştür. Aynı meselelerin ikinci kez sorulması durumunda farklı yanıtlar vermeleri, usulî sabitelerden yoksun olduklarını ve fıkhî ölçütler çerçevesinde bir tutarlılığa dayanmadıklarını açıkça ortaya koymuştur.

ChatGPT'nin yanıtları incelendiğinde yer yer doğru pay tespitleri yaptığı ancak metodolojik ve kavramsal açıdan eksiklikler barındırdığı anlaşılmıştır. Özellikle dede-kardeş meselesinde annenin payını kardeşlerin birden fazla olması durumuyla karıştırarak 1/6 olarak vermesi ve ardından aynı soruya verdiği ikinci yanıtta fakihlerin görüşlerini tersine çevirerek hatalı isnad etmesi sistematik bir kararsızlığı yansıtmaktadır. Bununla birlikte reddiye hükmünde anneye pay takdir etmeyerek, ittifak edilen meseleleri ihtilaf edilmiş gibi sunarak, avl-tashih konularına dair eksik açıklamalarda bulunarak ve baba-kız-asabe ilişkilerinde önemli ayrıntıları gözden kaçırarak ilmî titizlikten uzak bir yaklaşım sergilemiştir.

Gemini, genel olarak diğerlerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve bütünlük göstermiştir. Özellikle miras paylarını doğru oranlarla taksim etmiş, bazı durumlarda avl konusuna yer vererek meseleyi fıkhî çerçevede daha tutarlı biçimde ele almıştır. Bununla birlikte karı-anne-dede-bir öz erkek kardeş kombinasyonunda dedenin kardeşi hacbedeceği görüşünü Hanbelîlere de isnad etmesi ve annenin payını 1/6 olarak vermesi, ilaveten tashihin gerekli olduğu yerde bu işlemi yapmaması gibi hatalar dikkat çekmiştir.

Deepseek'in yanıtlarıysa genel olarak ferâiz ilmi açısından ciddi hatalar ve kavramsal karışıklıklar içermektedir. Nitekim annenin payını sürekli olarak 1/6 şeklinde sunması, Mâlikî mezhebinin görüşünü Hanefîlerle karıştırması, "mukâseme" kavramını "mustereka" şeklinde vermesi ve mezheplerin ortak kabullerine aykırı yorumlar yapması hem ilmî hem de metodolojik açıdan ciddi sorunlardır. Ayrıca baba-kız ilişkisini asabe kapsamında değerlendirmesi ve reddiye meselelerinde fıkhî prensiplerle bağdaşmayan hükümlere ulaşması bu platformun ferâiz ilminin temel esaslarından uzak bir mantıkla işlediğini göstermektedir. Bu platform, avl uygulamasıyla ilgili mezhepler arasında bir ihtilaf bulunduğunu ileri sürerek de tarihî ve fıkhî gerçekliklere aykırı bir bilgi sunmuştur.

Genel bir değerlendirmeyle üç yapay zekâ platformunun da İslam miras hukukuna dair ilmî derinlikten yoksun, yüzeysel ve yer yer hatalı bilgiler sundukları sonucuna varılmıştır. Özellikle ferâizin matematiksel ve sistematik karakterinin yanı sıra diğer fıkhî meselelere nispetle daha az ihtilaf barındıran yapısı göz önüne alındığında bu platformların basit hesaplamaların ötesine geçerek daha doğru ve tutarlı bilgi üretmeleri beklenirdi. Ancak yapılan inceleme göstermiştir ki yapay zekâ bağlamında miras hukukuna dair elde edilen veriler, metodolojik istikrarsızlık, kaynak güvensizliği ve kavramsal yetersizlik gibi temel sorunlardan mustariptir.

Yapay zekâ platformlarının sundukları hatalı yanıtları, kendilerini geliştirme mekanizmaları veya kullanıcı geri bildirimleri aracılığıyla ilerleyen dönemlerde tashih etmeleri mümkündür. Nitekim bazı durumlarda kullanıcıların ek komutlarla sorgulayıcı veya eleştirel yönlendirme yapmaları, verdikleri bilgileri düzeltmelerini sağlayabilmektedir. Fakat bu tür sorgulayıcı yönlendirmeler, genel kullanıcı kitlesi tarafından her zaman bilinen veya uygulanabilen yöntemler değildir. Bu tutumu sergileyebilecek olanlar

daha çok konuya ilişkin belirli düzeyde bilimsel yetkinliğe sahip kişi ve araştırmacılardır. Kaldı ki sunulan bilgilerin hiçbir aşamada akademik bir denetim veya ilmî süzgeçten geçmediği dikkate alındığında sonuç ne olursa olsun bu platformlardan alınan yanıtların doğruluğu konusunda daima ihtiyatlı davranılması gerektiği açıktır.

KAYNAKÇA

Buhûtî, M. Y. (1968). *Keşşâfü'l-kinâ an metni'l-İknâ* (6 Cilt). Mektebetü'n-Nasri'l-Hadise.

Heytemî, Ş. E. İ. H. (1983). *Tühfetü'l-muhtâc fî şerhi'l-Minhâc* (10 Cilt). el-Mektebetü't-Ticariyye.

İbn Abdilberr, E. Ö. C. (1980). *el-Kâfî fî fikhi ehli'l-Medîne* (2. Baskı, 2 Cilt). Mektebetü'r-Riyad.

İbn Kâdî Şühbe, B. E. (2011). *Bidâyetü'l-muhtâc fî şerhi'l-Minhâc* (4 Cilt). Dârü'l-Minhâc.

İbn Kudâme, M. E. M. (1997). *el-Muğnî* (3. Baskı, 15 Cilt). Dârü'l-Âlemi'l-Kütüb.

İbn Rüşd, E. (2004). *Bidâyetü'l-müctehid ve nihâyetü'l-muktasid* (4 Cilt). Dârü'l-Hadis.

İbn Rüşd, E. (1988). *el-Mükaddimâtü'l-mümehhidât* (3 Cilt). Dârü'l-Garbi'l-İslami.

İbnü'l-Müneccâ, E. (2003). *el-Mümti' fî şerhi'l-Mükni'* (3. Baskı, 4 Cilt). Mektebetü'l-Esedî.

Kâdi Abdülvehhab, E. M. (t.y.). *el-Meûne 'ala mezhebi âlimi'l-Medine*. el-Mektebetü't-Ticariyye.

Mâverdî, E. (1999). *el-Hâvi'l-kebîr fi fikhi mezhebi'l-İmami'ş-Şafiî* (19 Cilt). Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.

Müslim, M. (2004). *Mebâhis fî ilmi'l-mevârîs* (5. Baskı). Dârü'l-Menâre.

Sâbûnî, M. A. (t.y.). *el-Mevârîs fi'ş-Şeriati'l-İslâmiyye*. Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.

Serahsî, Ş. (1993). *el-Mebsût* (30 Cilt). Dârü'l-Marife.

Şîrâzî, E. İ. C. (t.y.). *el-Mühezzeb fî fikhi'l-İmami'ş-Şafiî* (3 Cilt). Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.

Şirbînî, Ş. H. (1994). *Muğni'l-muhtâc ilâ ma'rifeti me'âni elfâzi'l-Minhâc* (6 Cilt). Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.

Zeylaî, E. M. F. O. (1313). *Tebyînü'l-hakâik şerhü Kenzi'd-dekâik* (6 Cilt). Matbaatü'l-Emirîyye.

ENJEKSİYONLA KALIPLANAN YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN MALZEMENİN SÜRÜNME DAVRANIŞININ TAHMİNİNDE NORTON-BAILEY SÜRÜNME MODELİNİN VE ANSYS TN MODELİNİN UYGULANMASI

Asst. Prof. Şenol ŞAHİN

Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7823-2245

Undergraduate Student Didem OLGUN

Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering.

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-6775-3950

Res. Asst. Ferhat AKPINAR

Dogus University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2842-6276

Undergraduate Student Ayçanur GÜNDOĞDU

Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering.

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-8890-0049

MSc. Ayşegül Bodur YILMAZ

Kocaeli University, Institute of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering

ORCID ID: 0000-0003-1456-1282

ÖZET

Yüksek sürünme dayanımı ve çevresel yüklemelere karşı yüksek çatlak direnci gibi sağladığı avantajlarından dolayı Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) malzeme basınçlı içme suyu boru sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Uzun süre sabit yüklemeye maruz kalabilen bu polimer malzemede sürünme genlemesi meydana gelebilmektedir. Sürünmeden kaynaklı hasar meydana gelmeden önce, kararlı sürünme bölgesi sonunda parçanın değiştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, sürünmeye maruz kalan parçaların ömrünün belirlenmesi ve en uygun zamanda değiştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kalibre edilmiş olan ANSYS TN modeline ait çekme akma malzeme parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen ANSYS TN model parametreleri ile sürünme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Norton-Bailey sürünme modeli kalibre edilmiş ve modelin sabit katsayıları belirlenmiştir. ANSYS TN ve Norton-Bailey modelleri, sürünme simülasyon analizlerinin sonuç verileri üzerinden mukayese edilmiştir. Sürünme ömrü tahmini için sayısal bir yaklaşım benimsenmiş ve verisi bulunmayan sürünme gerilmesi ile sürünme süresi değerleri için YYPE malzemenin sürünme davranışı tahmin edilebilir hale getirilmiştir. Çalışma kapsamında plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen YYPE numunelere; sabit 0,003 s^{-1} genleme hızında, farklı sürünme gerilmesi değerlerinde (4, 6, 8, 11 ve 16 MPa) ve sabit 1800 s sürünme süreli testler uygulanmıştır. Beş farklı gerilme değeri için zamana bağlı olarak akma sınırının altında gerilme, genleme ve kuvvet değerleri kaydedilmiş, bu sayede YYPE malzemenin gerilme duyarlı bir davranış sergilediği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tek eksenli sürünme testleri sonrasında numuneler incelenmiştir ve bazı gerilme değerlerinde kalıcı deformasyon oluştuğu belirlenmiştir. Testlerden elde edilen veriler, sürünme bölgelerine ayrılmıştır. Norton-Bailey Sürünme Modelinin etkin olduğu birincil ve ikincil sürünme bölgeleri için model, MATLAB yazılımı kullanılarak kalibre edilmiştir. Modelin sabit katsayıları hesaplanmış ve bu katsayılar ile genleme miktarı ve genleme hızı değerleri belirlenmiştir. Son olarak, hesaplanan değerlerin deneysel verilerle uyumu karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, YYPE malzemede test uygulanmamış sürünme verilerinin tahmini, Norton-Bailey modeli kullanılarak mümkün hale getirilmiştir. Ayrıca, uzun süreli test süreçlerinin, kısa süreli testlerle başarılı bir şekilde tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Bu bulgular

doğrultusunda, Norton-Bailey ve ANSYS TN modelinin kısa süreli sürünme davranışlarını başarılı bir şekilde öngörebildiği ve fiziksel deney ihtiyacını azaltarak zaman, iş gücü ve maliyet açısından anlamlı avantajlar sağladığı sonucuna varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Sürünme Davranışı, Norton-Bailey Sürünme Modeli

THE APPLICATION OF THE NORTON-BAILEY CREEP MODEL AND ANSYS TN MODEL IN PREDICTING THE CREEP BEHAVIOR OF INJECTION-MOLDED HIGH-DENSITY POLYETHYLENE MATERIAL

ABSTRACT

High-Density Polyethylene (HDPE) is widely preferred in pressurized drinking water pipes due to its advantages, such as high creep resistance and excellent crack resistance under environmental loading. Creep strain may occur in this polymer-based material when exposed to long-term constant loading. To prevent damage caused by creep, the component should be replaced at the end of the stable creep phase. In this context, determining the lifespan of components subjected to creep and replacing them at the optimal time is of great importance. In this study, the tensile yield material parameters for the calibrated ANSYS TN model were determined. Creep simulations were performed using the determined ANSYS TN model parameters. Additionally, the Norton-Bailey creep model was calibrated, and the model's constant coefficients were determined. The ANSYS TN and the Norton-Bailey models were compared based on the results of creep simulation analysis. A numerical approach was employed for creep life estimation, enabling the prediction of HDPE material's creep behavior for stress and time conditions where no prior data is available. As part of the study, HDPE samples produced via plastic injection molding were subjected to creep tests at a constant strain rate of 0,003 s^{-1}, under different creep stress levels (4, 6, 8, 11 and 16 MPa) and with a constant creep duration of 1800 seconds. Stress, strain and force values which were below the yield point were recorded over time for five different stress levels, thereby enabling a detailed examination of the stress-sensitive behavior exhibited by HDPE material. The specimens were examined following uniaxial creep tests, and it was determined that permanent deformation had occurred at certain stress levels. The test data were categorized into distinct creep stages. For the primary and secondary creep phases, the model was calibrated using MATLAB software, where the Norton-Bailey Creep Model is effective. The constant coefficients of the model were calculated, strain amount and strain rate values were determined based on these coefficients. Finally, the calculated values were compared with experimental data to evaluate their consistency. As a result, the study demonstrated that predicting untested creep data for HDPE material is feasible using the Norton-Bailey Model. Furthermore, it was shown that long-term test processes can be effectively estimated through short-term tests. Based on these findings, it is concluded that the Norton-Bailey model and ANSYS TN model can successfully predict short-term creep behavior and offers significant advantages in terms of time, labor, and cost by reducing the need for physical experiments.

Keywords: High-Density Polyethylene, Creep Behavior, Norton-Bailey Creep Model.

POLİETİLEN NUMUNELERDE GENLEME HIZININ ÇEKME AKMA DAVRANIŞINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE PERZYNA MODELİYLE SAYISAL ANALİZİ

Asst. Prof. Şenol ŞAHİN

Asst. Prof., Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkiye.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7823-2245

Undergraduate Student Ayçanur GÜNDOĞDU

Undergraduate student, Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-8890-0049

Res. Asst. Ferhat AKPINAR

Res. Asst., Dogus University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering, Istanbul, Turkiye. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2842-6276

Undergraduate Student Didem OLGUN

Undergraduate student, Kocaeli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkiye.,
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-6775-3950

MSc. Ayşegül Bodur YILMAZ

Kocaeli University, Institute of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering

ORCID ID: 0000-0003-1456-1282

ÖZET

Bu çalışmada, polietilen (PE) malzemeden hazırlanan numunelere farklı genleme hızlarında çekme testleri uygulanmıştır. Her bir genleme hızı için zamana bağlı olarak akma sınırına kadar gerilme, genleme ve kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Bu sayede, malzemenin genleme hızına bağlı mekanik davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler, 0.0003 s^{-1}, 0.003 s^{-1} ve 0.00725 s^{-1} gibi üç farklı genleme hızları için akma gerilmesi – akma genlemesi grafiğinde işlenmiş ve sistematik bir davranış farklılığı olduğu gözlemlenmiştir. Akma gerilmesi değerinin, hız arttıkça gerilme ekseninde daha yüksek noktalara ulaştığı belirlenmiştir. Bu fark, malzemenin genleme hızıyla ilişkili bir davranışa sahip olduğunu sergilemektedir. Deneysel çalışma sonrası numunelerde yapılan inceleme neticesinde kalıcı deformasyonlar olduğu belirlenmiştir. Bu durum, malzemenin viskoelastik – viskoplastik davranış tarzına sahip olduğunu sergilemektedir. Malzemelerin davranışlarını temsil etmek ve tahmin edilebilir kılmak için malzeme modelleri kullanılmaktadır. Böylece az sayıda test ile çok farklı koşullardaki davranışı tahmin edilebilir hale getirilmektedir. Böylelikle zaman açısından ve maddi açıdan tasarruflar sağlanabilmektedir. Perzyna malzeme modeli, hıza bağımlı viskoplastik bir model olup sünek metal malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, literatürde polimer malzemeler için de tercih edilmekte olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, karmaşık malzeme modelleri yüksek temsil yeteneğine sahip olmakla birlikte, Perzyna modeli az sayıda parametre ile iyi seviyede malzeme davranışını temsil edebilmektedir. Ayrıca Perzyna modelinin çoklu lineer izotropik pekleşme (MISO) malzeme kartı ile ANSYS programında kullanıldığı literatürdeki çalışmalarda yer almaktadır. Perzyana malzeme modelinin parametreleri deneysel veriler doğrultusunda kalibre edilmiştir. ANSYS programında yarı – statik çekme testleri simüle edilmiştir ve deneysel verilerle korelasyonu incelenmiştir. Analiz sonucunda, Perzyna modeli kullanılarak elde edilen akma gerilmesi – akma genlemesi eğrileri ile deney sonuçları arasında iyi bir uyum gözlemlenmiştir. Kalibrasyon için kullanılan deney çalışmalarından bağımsız olarak farkı iki genleme hızında kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. ANSYS programında kontrol deneyleri simüle edilmiştir. Kontrol deneyleri ile tahmin verileri arasında iyi düzeyde bir korelasyon sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda kalibre edilen modelle yapılan bilgisayar simülasyonlarında, fiziksel deneylere ihtiyaç duyulmadan iyi uyum oranı sağlanabileceği

sonucuna varılmıştır. Böylece zaman, iş gücü ve maliyet açısından tasarruf sağlanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme Testi, Polietilen, Perzyna, Sonlu elemanlar analizi

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STRAIN RATE ON THE TENSILE YIELD BEHAVIOR OF POLYETHYLENE SPECIMENS AND NUMERICAL ANALYSIS USING THE PERZYNA MODEL

ABSTRACT

In this study, tensile tests were conducted on specimens prepared from polyethylene (PE) material at different strain rates. For each strain rate, the values of time, stress, strain, and force were recorded up to the yield point. Thus, the strain rate-dependent mechanical behavior of the material was investigated. The experimental data were processed in yield stress – yield strain graphs for 0.0003 s^{-1}, 0.003 s^{-1} and 0.00725 s^{-1} strain rates, and a systematic variation in behavior was observed. It was observed that the yield stress value of the material increased with rising strain rates. This observation demonstrates that the material exhibits strain rate – dependent behavior. Examinations of the specimens after the experimental study revealed permanent deformations, indicating the material's viscoelastic-viscoplastic behavior. Material models are used to represent and predict the behavior of materials, enabling the prediction of material behavior under a wide range of conditions with a limited number of tests. Thus, significant improvements in time and cost efficiency can be achieved. The Perzyna material model is a rate-dependent viscoplastic model that is widely used for ductile metallic materials. However, it is also observed in literature that it has been preferred for polymer materials. Although complex material models provide high accuracy in capturing material behavior, the Perzyna model can represent the behavior effectively with a relatively small number of parameters, as demonstrated in literature. Furthermore, studies have shown that the Perzyna model has been implemented in ANSYS using the multi-linear isotropic hardening (MISO) material card. The parameters of the Perzyna material model were calibrated based on experimental data. Quasi-static tensile test simulations were conducted in ANSYS, and the correlation with the experimental data was examined. As a result of the analysis, a good agreement was observed between the yield stress-yield strain curves obtained using the Perzyna model and the experimental results. Two independent validation tests were conducted at different strain rates that were not used during the calibration process. The control test was also simulated in ANSYS. A high level of correlation was observed between the experimental control data and the simulation results. In this context, it was concluded that high agreement rates could be achieved in computer simulations using the calibrated model without the need for physical experiments. Consequently, significant savings in time, labor, and cost can be realized.

Keywords: Tensile Test, Polyethylene, Perzyna Model, Finite Element Analysis (FEA)

TİYO VE OKSO KÖPRÜLÜ METOKSİ SUBSTİTÜE ÇİNKO AZAFTALOSİYANİN BİLEŞİKLERİNİN $NaBH_4$ METANOLİZİ İLE HİDROJEN ÜRETİMİNDE KATALİTİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE CATALYTIC PERFORMANCES OF THIO- AND OXO-BRIDGED METHOXY-SUBSTITUTED ZINC AZAPHTHALOCYANINES COMPOUND IN HYDROGEN PRODUCTION VIA $NaBH_4$ METHANOLYSIS

Dr. Mesut NAMLI

Artvin Çoruh Üniversitesi, Tıbbi-Aromatik Bitkiler Uygulama ve Araştırma Merkezi

Merkez, Artvin. ORCID NO: 0000-0001-9929-021X

Doç. Dr. Günay KAYA KANTAR

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü

Merkez, Rize. ORCID NO: 0000-0002-0259-0417

ÖZET

Enerji talebindeki hızlı artış, yüksek verimli, sürdürülebilir ve çevreyle uyumlu enerji taşıyıcılarının geliştirilmesini günümüzün öncelikli araştırma konularından biri hâline getirmiştir. Bu bağlamda hidrojen; yüksek enerji yoğunluğu, yanma sonucunda yalnızca su oluşturması ve yenilenebilir kaynaklardan üretilebilme potansiyeli nedeniyle geleceğin enerji sistemleri için güçlü bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte hidrojenin güvenli biçimde depolanması ve ihtiyaç duyulduğunda kontrollü olarak açığa çıkarılması, yaygın kullanımının önündeki temel teknik sınırlamalardan biridir. Bu nedenle yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip kimyasal hidrürler, özellikle metal borohidritler, hidrojen üretimi alanında dikkat çekmektedir. Sodyum borhidrür ($NaBH_4$), yüksek hidrojen içeriği, kararlı yapısı, düşük toksisitesi ve katalizör varlığında bir molünden dört mol hidrojen elde edilebilmesi nedeniyle en çok araştırılan borohidrit türevleri arasında yer almaktadır. $NaBH_4$'ten hidrojen üretimi hidroliz veya alkoliz reaksiyonlarıyla gerçekleştirilebilmekte; metanol ortamında yürüyen metanoliz süreci ise yüksek hidrojen üretim hızı sağlaması bakımından öne çıkmaktadır. Bu süreçte katalizör seçimi, reaksiyon kinetiğini, hidrojen üretim verimini ve sistemin uygulanabilirliğini doğrudan belirleyen kritik bir parametredir. Ftalosiyanin bileşiklerinin aza analogları olan bilinen azaftalosiyaninler, klasik ftalosiyanin yapısındaki bazı karbon atomlarının azot atomlarıyla yer değiştirmesi sonucu oluşan, geniş π-konjuge sisteme sahip makrosiklik bileşiklerdir. Yapılarındaki ek azot atomları, makrohalkanın elektronik yoğunluğunu, koordinasyon davranışını ve redoks özelliklerini değiştirerek katalitik uygulamalar açısından önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, $NaBH_4$'ün metanolizi yoluyla hidrojen gazı üretiminde katalizör olarak kullanılmak üzere tiyo ve okso köprüleri aracılığıyla azaftalosiyanin halkasına bağlanmış metoksi türevleri içeren çinko azaftalosiyanin bileşiği değerlendirilmiştir. Çinko merkezinin kararlı koordinasyon yapısı, azaftalosiyanin halkasının elektron aktarım potansiyeli ve metoksi gruplarının fonksiyonel katkısı birlikte değerlendirildiğinde, bu bileşik $NaBH_4$ metanolizinde etkin ve tasarlanabilir bir katalizör adayı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca tiyo ve okso köprülerinin farklı elektronik ve polar karakterleri, substrat-katalizör etkileşimlerini güçlendirerek hidrojen oluşum basamaklarını destekleyebilir. Mevcut literatür taramasına göre, ftalosiyaninlerin doğrudan katalizör olarak kullanımına ilişkin yalnızca araştırma grubumuz tarafından gerçekleştirilen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak azaftalosiyaninlerin $NaBH_4$ metanolizinden hidrojen üretiminde doğrudan katalizör olarak kullanılmasına yönelik, bilgimiz dâhilinde daha önce rapor edilmiş bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yönüyle çalışma, azaftalosiyanin temelli katalizörlerin hidrojen üretimindeki uygulanabilirliğini ortaya koymayı amaçlayan daha sonraki çalışmalar için bir ön çalışma niteliğindedir.

Anahtar kelimeler: Azaftalosiyanin, sodyum borhidrür, metanoliz, hidrojen, katalizör

ABSTRACT

The rapid increase in energy demand has made the development of highly efficient, sustainable, and environmentally compatible energy carriers one of today's priority research topics. In this context, hydrogen is considered a strong alternative for future energy systems due to its high energy density, the formation of only water as a combustion product, and its potential to be produced from renewable resources. However, the safe storage of hydrogen and its controlled release when needed remain among the main technical limitations preventing its widespread use. Therefore, chemical hydrides with high hydrogen storage capacity, particularly metal borohydrides, have attracted considerable attention in the field of hydrogen production. Sodium borohydride ($NaBH_4$) is one of the most extensively studied borohydride derivatives owing to its high hydrogen content, stable structure, low toxicity, and the ability to produce four moles of hydrogen from one mole in the presence of a catalyst. Hydrogen production from $NaBH_4$ can be carried out through hydrolysis or alcoholysis reactions; among these, the methanolysis process in methanol medium stands out due to its ability to provide a high hydrogen generation rate. In this process, catalyst selection is a critical parameter that directly determines the reaction kinetics, hydrogen production efficiency, and applicability of the system. Azaphthalocyanines, known as aza analogues of phthalocyanine compounds, are macrocyclic compounds with an extended π-conjugated system, formed by the replacement of some carbon atoms in the classical phthalocyanine structure with nitrogen atoms. The additional nitrogen atoms in their structures can alter the electronic density, coordination behavior, and redox properties of the macrocycle, thereby providing significant advantages for catalytic applications. In this study, a zinc azaphthalocyanine compound containing methoxy derivatives attached to the azaphthalocyanine ring through thio and oxo bridges was evaluated as a catalyst for hydrogen gas production via the methanolysis of $NaBH_4$. Considering the stable coordination structure of the zinc center, the electron-transfer potential of the azaphthalocyanine ring, and the functional contribution of the methoxy groups, this compound stands out as an effective and tunable catalyst candidate for $NaBH_4$ methanolysis. In addition, the different electronic and polar characteristics of the thio and oxo bridges may strengthen substrate–catalyst interactions and support the steps involved in hydrogen formation. According to the current literature review, only a limited number of studies carried out by our research group have reported the direct use of phthalocyanines as catalysts. However, to the best of our knowledge, no previous study has reported the direct use of azaphthalocyanines as catalysts for hydrogen production from $NaBH_4$ methanolysis. In this respect, the present study serves as a preliminary investigation for future studies aiming to reveal the applicability of azaphthalocyanine-based catalysts in hydrogen production.

Keywords: Azaphthalocyanine, sodium borohydride, methanolysis, hydrogen, catalyst

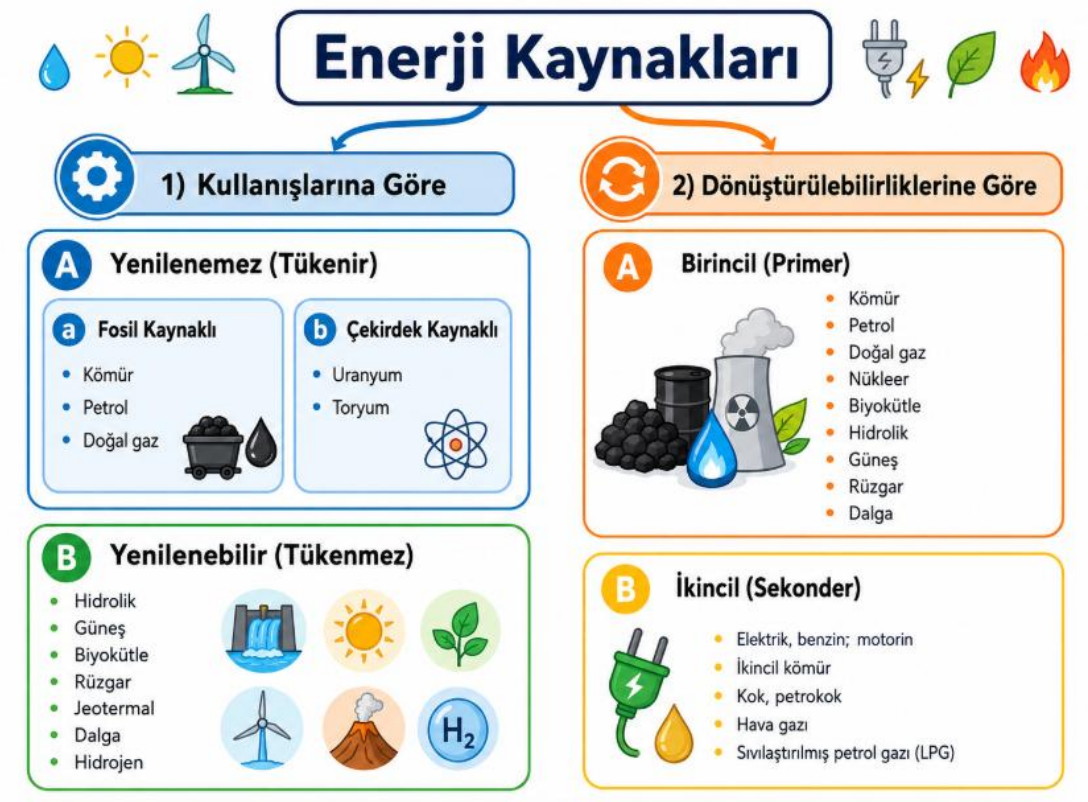
GİRİŞ

Ftalosiyaninler (Pcs) ve azaftalosiyaninler (AzaPcs), geniş π-konjuge yapıları, yüksek kimyasal kararlılıkları ve merkezlerinde farklı metal iyonlarını koordine edebilme özellikleri sayesinde çok yönlü fonksiyonel malzemeler olarak değerlendirilmektedir. Bu bileşikler; boya teknolojisi, kataliz, sensör sistemleri, fotodinamik terapi (PDT) ve optoelektronik uygulamalar başta olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın kullanım potansiyeline sahiptir (Nyangau vd., 2023; Wang vd., 2021). Bu uygulama alanları arasında kataliz, özellikle sürdürülebilir enerji dönüşümü ve hidrojen üretimi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Ftalosiyanin ve azaftalosiyanin türevleri, merkez metal iyonlarının aktif katalitik bölge oluşturabilmesi ve π-konjuge makrohalkanın elektron transfer süreçlerini desteklemesi sayesinde enerji odaklı reaksiyonlarda dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, hidrojen gelişim reaksiyonu ve hidrojen üretim süreçlerine yönelik olarak yapısal özellikleri düzenlenebilen bu bileşikler, katalizör adayı olarak önemli bir potansiyel taşımaktadır (Yang vd., 2021; Keshipour ve Asghari, 2022; Hirai vd., 2024).

Enerji ve Enerjinin Kaynakları

Enerji, yaşamın sürdürülebilmesi ve toplumsal faaliyetlerin devamlılığı açısından temel gereksinimlerden biridir. Genel olarak bir sistemin iş yapabilme veya değişim meydana getirebilme

kapasitesi olarak tanımlanan enerji, yoktan var edilemez ya da tamamen yok edilemez; ancak farklı formlar arasında dönüştürülebilir. Günümüzde enerji kaynakları; sanayi, ulaşım, ısıtma-soğutma sistemleri ve elektrik üretimi başta olmak üzere birçok alanda farklı biçimlerde kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji kaynaklarının sınıflandırılmasında elde edildikleri kaynak, kullanım alanları ve dönüştürülebilme özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda enerji kaynakları genel olarak yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar şeklinde ele alınırken, dönüştürülebilme durumlarına göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Koç ve Şenel, 2013). Enerji kaynaklarının sınıflandırılması Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Sınıflandırılmış hidrojen kaynakları

Doğal ortamda doğrudan elde edilebilen ve herhangi bir dönüşüm işlemine ihtiyaç duyulmadan kullanılabilen enerji türleri birincil enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Petrol, doğal gaz, kömür, güneş, biyokütle, rüzgâr ve hidrolik enerji bu grupta yer almaktadır. Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesiyle elde edilen elektrik, ısı ve mekanik enerji gibi enerji türleri ise ikincil enerji kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Sarıbaş, 2015). Fosil yakıtlar; petrol, doğal gaz ve kömür gibi hidrokarbon içerikli doğal enerji kaynakları olmakla birlikte, sınırlı rezervlere sahip olmaları ve çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilir enerji sistemleri açısından önemli dezavantajlar taşımaktadır. Artan enerji talebine bağlı olarak fosil yakıt tüketiminin yoğunlaşması, hem enerji arz güvenliği konusunda endişeleri artırmış hem de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır (Youm ve ark., 2000; Hiemstra-van der Horst ve Hovorka, 2009). Ayrıca fosil yakıtların aşırı kullanımı sonucunda atmosfere salınan CO_2 miktarının artması, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi sorunları daha belirgin hâle getirmiştir. Bu bağlamda hidrojen enerjisi; farklı kaynaklardan üretilebilmesi, çevre dostu yapısı ve uygulanabilirlik potansiyeli sayesinde yenilenebilir enerji alternatifleri arasında dikkat çeken önemli bir enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmaktadır.

Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, yüksek enerji içeriği, düşük molekül ağırlığı ve çevre dostu yapısı nedeniyle sürdürülebilir enerji sistemleri için önemli bir enerji taşıyıcısı olarak değerlendirilmektedir. Enerji dönüşüm süreçlerinde temel yan ürün olarak su açığa çıkarması ve toksik özellik göstermemesi, hidrojeni fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir alternatif hâline getirmektedir. Bununla birlikte hidrojen doğada çoğunlukla bileşikler hâlinde bulunduğundan, kullanılabilir forma dönüştürülmesi için uygun üretim, saflaştırma, depolama ve taşıma teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojen; yenilenebilir kaynaklardan üretilebildiği gibi doğal gaz, kömür ve nükleer enerji gibi yenilenemeyen kaynaklardan da elde edilebilmektedir. Bu nedenle üretim yöntemi ve karbon emisyonuna bağlı olarak yeşil, sarı, mavi, turkuaz ve gri hidrojen gibi sınıflara ayrılmaktadır. Yeşil hidrojen, yenilenebilir enerjiyle gerçekleştirilen elektroliz sonucu düşük karbon salımıyla üretilmesi nedeniyle en çevreci seçeneklerden biri olarak öne çıkarken, gri hidrojen fosil yakıt temelli üretimi ve yüksek sera gazı salımı nedeniyle çevresel açıdan dezavantajlıdır. Depolanabilir ve taşınabilir olması sayesinde hidrojen; yakıt hücreleri, içten yanmalı motorlar, türbinler ve ulaşım sektöründe kullanılabilecek stratejik bir enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir. (Prachi, R Prabhukhot, 2016; Rand, 2011; Becherif ve ark., 2015; Yeşil Hidrojen Raporu, 2020). Bu kapsamda, hidrojenin güvenli ve kontrollü biçimde depolanması ve ihtiyaç anında üretilebilmesi amacıyla metal hidrürler, özellikle de borhidrür bileşikleri, önemli hidrojen depolama materyalleri olarak öne çıkmaktadır.

Metal Hidrürler ve Sodyum Bor Hidrür ($NaBH_4$)

Metal hidrürler, hidrojenin güvenli biçimde depolanması ve gerektiğinde kontrollü olarak serbest bırakılması açısından önemli katı hidrojen taşıyıcıları arasında yer almaktadır. Bu sistemlerde hidrojen, metal veya metal alaşımlarıyla etkileşerek katı fazda kararlı hidrür yapıları oluşturur. Hidrojen atomları önce metal yüzeyinde adsorplanır, ardından metalik kafes yapısı içerisinde hareket ederek hidrojen içeren düzenli bir alt yapı meydana getirir. Bu süreç, metalin elektronik yapısı ve hidrojen-metal etkileşimlerinin niteliği ile doğrudan ilişkilidir (Sarmah ve ark., 2023). Metal-hidrojen bağlanma özelliklerine bağlı olarak farklı hidrür türleri oluşabilmektedir. Örneğin sodyum, magnezyum, lityum ve kalsiyum gibi metaller sırasıyla NaH, MgH_2, LiH ve CaH_2 gibi iyonik hidrür bileşikleri meydana getirmektedir (Meduri ve Nandanavanam, 2023). Bu bileşiklerde metal ile hidrojen arasındaki güçlü elektrostatik etkileşimler yapıya yüksek kararlılık kazandırırken, aynı zamanda hidrojenin serbest bırakılmasını zorlaştırabilmekte ve hızlı hidrojen salımı gerektiren uygulamalarda sınırlayıcı bir faktör oluşturabilmektedir (Öner, 2023).

Bu noktada bor esaslı hidrür bileşikleri, sahip oldukları kimyasal özellikler ve yüksek hidrojen depolama potansiyelleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bor elementi; hidrojen, oksijen, azot ve karbon gibi farklı elementlerle çeşitli bağ yapıları oluşturabilmesi sayesinde geniş bir bileşik çeşitliliğine sahiptir. Bu özellik, bor bileşiklerinin sanayi, malzeme bilimi, nanoteknoloji, enerji depolama ve yeşil teknoloji uygulamalarında önemli bir yer edinmesini sağlamaktadır (Bolaños ve ark., 2004; Fangaj, 2021; Wu ve Wang, 2018). Özellikle borun hidrojenle oluşturduğu borhidrür bileşikleri, hidrojen taşıyıcı materyaller olarak öne çıkmakta ve uygun koşullar altında hidrojen salımı sağlayabilmeleri nedeniyle temiz enerji sistemleri açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Görgülü ve Arslan, 2003).

Borhidrür bileşikleri içerisinde sodyum borhidrür ($NaBH_4$), sodyum, bor ve hidrojen elementlerinden oluşan yapısı ve yüksek hidrojen içeriği nedeniyle en fazla ilgi gören bileşiklerden biridir. $NaBH_4$; hidrojenin depolanması, taşınması ve ihtiyaç duyulduğunda kontrollü biçimde üretilmesi açısından avantajlı bir malzeme olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca kararlı yapısı, taşınabilirliği ve hidrojen üretim süreçlerinde kullanılabilirliği sayesinde hidrojen depolama teknolojileri için önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Öksüz, 2007).

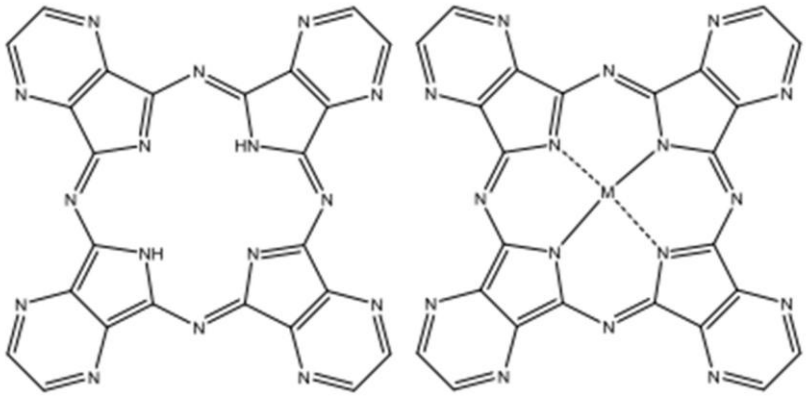
Borhidrür bileşiklerinin hidrojen depolama potansiyelinin daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla, bazı metal borhidrürlerin kütlesel ve hacimsel hidrojen yoğunlukları Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo1. Bazı borhidrür bileşiklerinin kütlesel ve hacimsel hidrojen depolama kapasiteleri

Bileşik	Hidrojen yoğunluğu (%kütle)	Hidrojen yoğunluğu (kg/m3)
$LiBH_4$	18,5	122,1
$NaBH_4$	10,8	114,5
KBH_4	7,5	87,8
$RbBH_4$	4,0	76,8
$CsBH_4$	2,7	65,3
$Be(BH_4)_2$	20,8	146,0
$Mg(BH_4)_2$	14,9	147,4
$Ca(BH_4)_2$	11,6	124,1
$Al(BH_4)_3$	16,9	133,5
$Zr(BH_4)_4$	10,7	126,2
$Hf(BH_4)_4$	6,8	112,2

Azaftalosiyaninler

Azaftalosiyaninler (AzaPcs), ftalosiyanin makrohalkasında yer alan bazı periferal ve non-periferal karbon atomlarının azot atomlarıyla yer değiştirmesi sonucu oluşan aza-analog bileşiklerdir (Şekil 2). İlk dönem çalışmalarında sübstitüe edilmemiş metal içermeyen ve metal merkezli AzaPc türevleri sentezlenmiş olsa da, bu bileşiklerin düşük çözünürlük göstermesi pratik uygulamalardaki kullanım potansiyellerini önemli ölçüde sınırlandırmıştır. Bu sınırlamaların giderilmesi amacıyla son yıllarda, çözünürlük ve fonksiyonel özellikleri iyileştirilmiş periferal sübstitüe metalli ve metalsiz AzaPc türevlerinin sentezine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. (P. Zimcik vd., 2006).



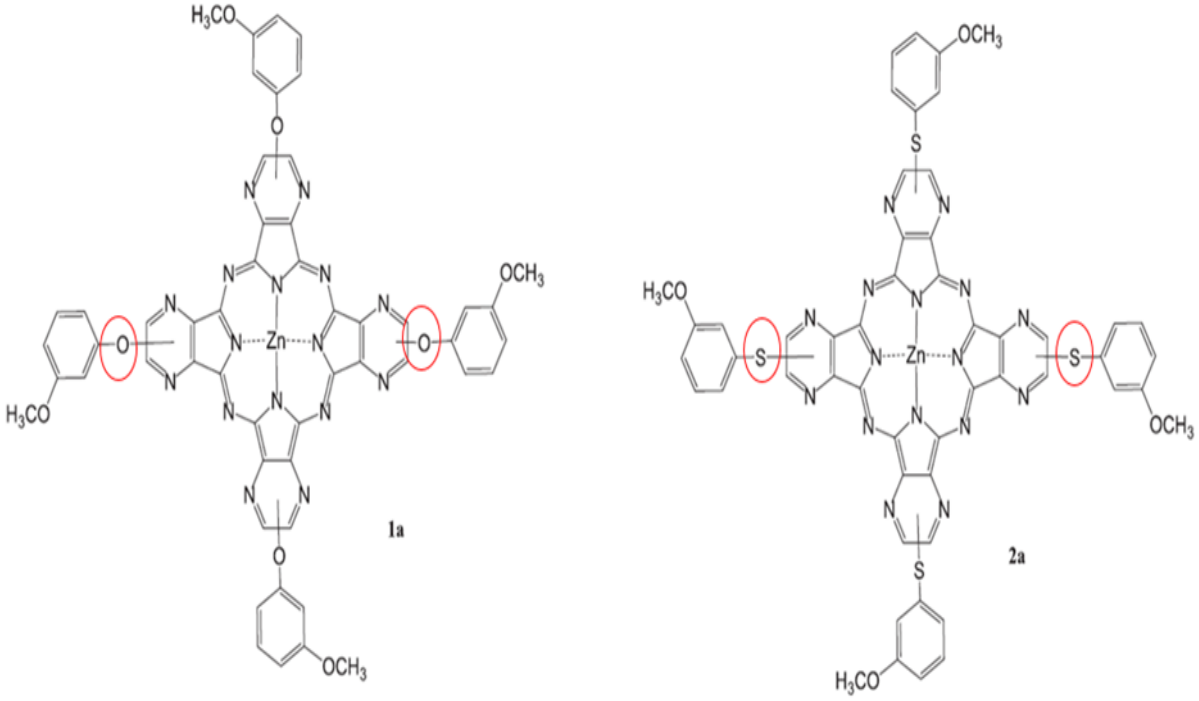
Şekil 2. Metalli ve metalsiz azaftalosiyanin bileşiklerinin yapısı

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada katalizör olarak kullanılan okso **(1a; 3MFZn)** ve tiyo **(2a; 3MTFZn)** köprüleri aracılığıyla metoksi grubu içeren çinko azaftalosiyanin bileşikleri (ZnAPc), literatürde bildirilen yönteme uygun olarak sentezlenmiştir (Çetinkaya Z. ve Kantar G. K., 2026). Deneysel çalışmalar Artvin

Çoruh Üniversitesi Tıbbi-Aromatik Bitkiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TABMER) gerçekleştirilmiştir.



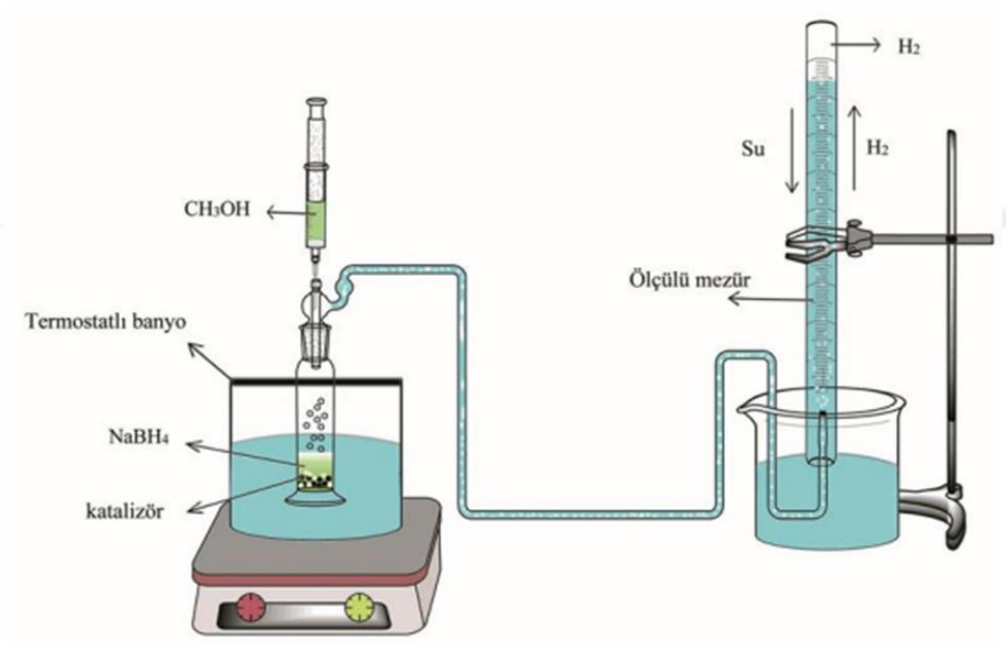
Şekil 3. Katalizör olarak kullanılan çinko azaftalosiyanin bileşikleri

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan materyaller aşağıda sunulmuştur.

Cihaz Adı	**Cihaz Markası**
Su Banyosu	: Nüve BM/402
Hassas Terazi	: Ohaus EX 224
Etüv	: Memmert 30/160
FT-IR	: Perkin Elmer
UV-Vis	: Agilent Carry 3500
Santrifüj Cihazı	: Hermle / Z-36 HK

Hidrojen Üretimi İçin Yöntem

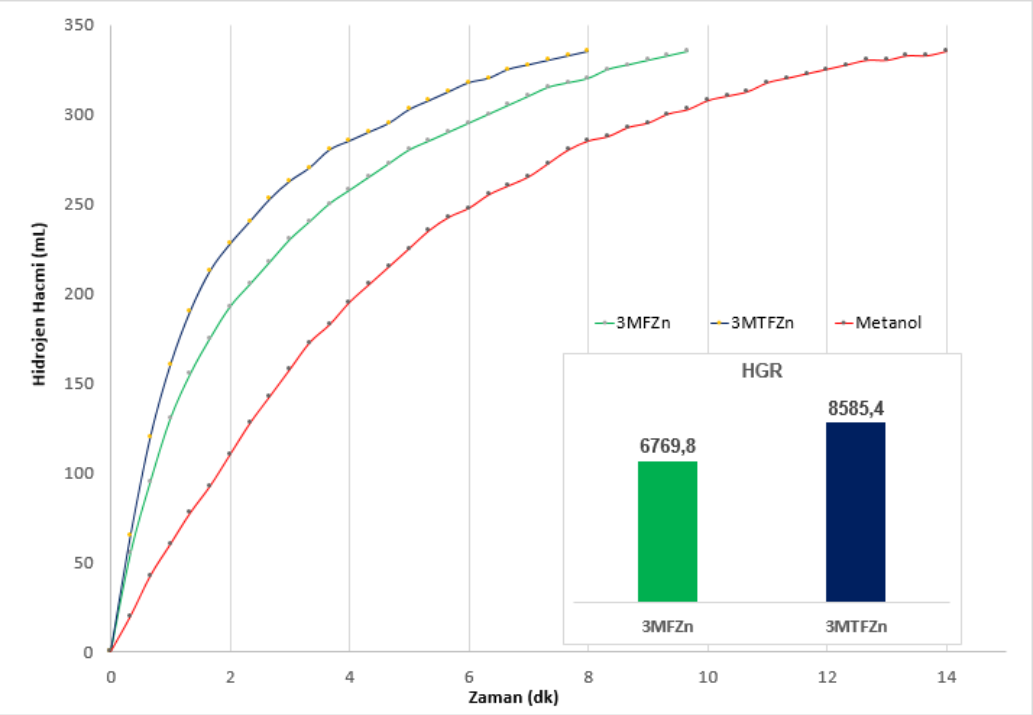
$NaBH_4$'ün metanoliz reaksiyonu ile hidrojen üretim performansı, çinko azaftalosiyanin bileşikleri **(1a ve 2a)** katalizör olarak kullanılarak su yer değiştirme yöntemiyle incelenmiştir. Deneysel işlemde, 125 mg $NaBH_4$ ve 10 mg katalizör **(1a veya 2a)** 50 mL hacimli reaksiyon balonuna ilave edilmiştir. Reaksiyonlar sabit 30 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ardından çözücü ortamı oluşturmak amacıyla reaksiyon balonuna bir şırınga yardımıyla 10 mL metanol eklenmiş ve reaksiyon başlatılmıştır. Metanoliz süresince açığa çıkan hidrojen gazı, su yer değiştirme yöntemi kullanılarak hacimsel olarak takip edilmiştir. Reaksiyon sırasında oluşan hidrojen miktarı, yer değiştiren su hacmi üzerinden belirlenmiş; hidrojen üretim hızı (HGR) değerleri ise zamana bağlı hidrojen hacmi grafiklerinin eğiminden hesaplanmıştır. Hidrojen üretim deneylerinde kullanılan düzenek Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Hidrojen üretim deneylerinin yapıldığı benzer düzenek

BULGULAR VE TARTIŞMA

$NaBH_4$'ün metanoliz reaksiyonu ile hidrojen üretiminde **1a** (3MFZn) ve **2a** (3MTFZn) katalizörlerinin etkisi Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Katalizörsüz metanol ortamında hidrojen üretiminin daha yavaş gerçekleştiği ve yaklaşık 335 mL hidrojen hacmine 14 dakika civarında ulaşıldığı görülmektedir. Buna karşılık, çinko azaftalosiyanin bileşiklerinin kullanıldığı reaksiyonlarda hidrojen çıkışının belirgin şekilde hızlandığı belirlenmiştir. **2a** (3MTFZn) katalizörü, reaksiyonun ilk dakikalarından itibaren daha hızlı hidrojen üretimi sağlayarak yaklaşık 8 dakika içinde maksimum hidrojen hacmine ulaşmıştır. **1a** (3MFZn) katalizörü ise benzer şekilde katalizörsüz ortama kıyasla daha yüksek aktivite göstermiş, ancak **2a** (3MTFZn) bileşiğine göre daha düşük bir hidrojen üretim hızı sergilemiştir. Hesaplanan HGR değerleri **1a** (3MFZn) ve **2a** (3MTFZn) için sırasıyla 6769,8 ve 8585,4 mL dk^{-1} $gkat^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, her iki çinko azaftalosiyanin bileşiğinin de $NaBH_4$ metanolizinde katalitik aktivite gösterdiğini, ancak **2a** yapısının daha etkin bir katalizör olduğunu ortaya koymaktadır. **2a**'nın daha yüksek performansı, yapısındaki tiyo köprülerinin ve azaftalosiyanin makrohalkasının reaksiyon ortamında elektron aktarımını ve substrat-katalizör etkileşimlerini daha etkin desteklemesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 5. Hidrojen üretim eğrileri ve HGR değerleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, bu çalışmada çinko azaftalosiyanin temelli **1a** (3MFZn) ve **2a** (3MTFZn) bileşiklerinin $NaBH_4$ metanolizi yoluyla hidrojen üretimindeki katalitik performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki bileşiğin de katalizörsüz ortama kıyasla hidrojen üretimini belirgin şekilde hızlandırdığını göstermiştir. Özellikle 3MTFZn katalizörü, 8585,4 mL dk^{-1} $gkat^{-1}$ HGR değeri ile 3MFZn'ye göre daha yüksek aktivite sergileyerek daha etkin katalizör olarak öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, çinko azaftalosiyanin bileşiklerinin $NaBH_4$ kaynaklı hidrojen üretiminde kullanılabilecek umut verici katalizör adayları olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu katalizör sistemlerinin uygulama potansiyelinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi için farklı katalizör miktarları, $NaBH_4$ derişimleri, sıcaklık değerleri ve çözücü hacimleri gibi reaksiyon parametrelerinin optimize edilmesi önerilmektedir. Ayrıca katalizörlerin tekrar kullanılabilirlik ve kararlılık özelliklerinin incelenmesi, söz konusu sistemlerin pratik hidrojen üretim uygulamalarına uygunluğunun belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Becherif, M., Ramadan, H. S., Cabaret, K., Picard, F., Simoncini, N., & Bethoux, O. (2015). Hydrogen energy storage: new techno-economic emergence solution analysis. Energy Procedia, 74, 371-380.

Bolaños, L., Lukaszewski, K., Bonilla, I., & Blevins, D. (2004). Why boron?. Plant Physiology and Biochemistry, 42(11), 907-912.

Çetinkaya, Z., & Kantar, G. K. (2026). New oxo and thio analogues of zinc (II) azaphthalocyanines: Synthesis and comparison of fluorescence properties. Polyhedron, 118229.

Fangaj, E. (2021). Biyobazlı Katalizör Kullanılarak Sodyum Borhidrür'den Hidrojen Üretimi (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).

Görgülü, A. O., & Arslan, M. (2003). Alternatif bor bileşikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 42-50.

Hiemstra-van der Horst, G., & Hovorka, A. J. (2009). Fuelwood: the "other" renewable energy source for Africa?. Biomass and bioenergy, 33(11), 1605-1616.

Hirai, Y., Ishibashi, K., Oku, K., Ito, K., & Yabu, H. (2024). Rare-metal-free hydrogen evolution reaction electrocatalysts based on metal azaphthalocyanine molecular layer for anion exchange membrane water electrolysis. Discover Chemical Engineering, 4, 13.

Keshipour, S., & Asghari, A. (2022). A review on hydrogen generation by phthalocyanines. International Journal of Hydrogen Energy, 47, 12865–12881.

Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44.

Meduri, S., & Nandanavanam, J. (2023). Materials for hydrogen storage at room temperature–an overview. Materials Today: Proceedings, 72, 1-8.

Nyangau, E. O., Abe, H., Nakayasu, Y., Umetsu, M., Watanabe, M., & Tada, C. (2023). Iron azaphthalocyanine electrocatalysts for enhancing oxygen reduction reactions under neutral conditions and power density in microbial fuel cells. Bioresource Technology Reports, 23, 101565.

Öksüz, Ş.,2007. Sodyum Borhidrür İle Çeşitli İndirgenme Reaksiyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-77.

Öner, H., 2023. Metal Oksit Destekli Bimetalik Kobalt Katalizörleri İle Sodyum Borhidrürün Hidrolizinden Hidrojen Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 20-25.

Prabhukhot, P. R., Wagh, M. M., & Gangal, A. C. (2016). A review on solid state hydrogen storage material. Advances in Energy and Power 4 (2): 11-22, 2016, 4, 11-22.

Rand, D. A. (2011). A journey on the electrochemical road to sustainability. Journal of Solid State Electrochemistry, 15(7), 1579-1622.

Sarıbaş, E. (2015). Türkiye'deki enerji kaynakları ve izlenen enerji politikaları (Master's thesis, Niğde Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).

Sarmah, M. K., Singh, T. P., Kalita, P., & Dewan, A. (2023). Sustainable hydrogen generation and storage–a review. RSC advances, 13(36), 25253-25275.

Wang, D., Li, H., Jiang, X., Zhao, C., & Zhao, Y. (2021). Comparison of Three Catalytic Processes in Degradation of HPAM by tBu-TPyzPzCo. Catalysts, 11(2), 181.

Wu, C., & Wang, J. (2018). Geminal bis (boron) compounds: their preparation and synthetic applications. Tetrahedron Letters, 59(22), 2128-2140.

Yang, S., Yu, Y., Gao, X., Zhang, Z., & Wang, F. (2021). Recent advances in electrocatalysis with phthalocyanines. Chemical Society Reviews, 50, 12985–13011.

Yeşil Hidrojen Raporu. (2020). https://www.dunyaenerji.org.tr/wp content/uploads/2020/11/Yesil-Hidrojen-Raporu. pdf adresinden alındı.

Youm, I. S. J. S., Sarr, J., Sall, M., & Kane, M. M. (2000). Renewable energy activities in Senegal: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4(1), 75-89.

Zimcik, P., Miletin, M., Musil, Z., Kopecky, K., Kubza, L., & Brault, D. (2006). Cationic azaphthalocyanines bearing aliphatic tertiary amino substituents—Synthesis, singlet oxygen production and spectroscopic studies. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 183(1-2), 59-69.

UNUN SU KALDIRMA KAPASİTESİNİN NOODLE TEKSTÜRÜ VE PİŞİRME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Cihat GÜNER

Erişler Gıda A.Ş., Eriş Ar-Ge Merkezi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7935-4674

Yusuf ÇAKMAKÇI

Erişler Gıda A.Ş., Eriş Ar-Ge Merkezi, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-5136-9102

Dr. Hakan BAŞDOĞAN

Erişler Gıda A.Ş., Eriş Ar-Ge Merkezi, ORCID ID: https:// 0000-0001-9332-4618

ÖZET

Unun su kaldırma kapasitesi, noodle üretiminde hamur oluşumu, gluten gelişimi ve nişasta hidratasyonu üzerinde belirleyici rol oynayan kritik bir fonksiyonel parametredir. Bu parametre, yalnızca hamur reolojisini değil, aynı zamanda pişirme davranışı ve nihai ürün tekstürünü de doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı su kaldırma kapasitesine sahip unların noodle tekstürü ve pişirme performansı üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir.

Çalışmada su kaldırma kapasitesi %55 ± 1, %60 ± 1, %65 ± 1 ve %70 ± 1 olan unlar kullanılmıştır. Noodle örnekleri standart laminasyon, buharlama ve kızartma proseslerinden geçirilerek üretilmiştir. Ürünlerde pişirme kaybı, su absorpsiyon oranı, optimum pişirme süresi ve tekstürel özellikler (sertlik, elastikiyet ve çiğnenebilirlik) analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, su kaldırma kapasitesinin hem yapısal bütünlük hem de pişirme performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermiştir ($p < 0.05$). Su kaldırma kapasitesinin %55'ten %65'e yükselmesi ile birlikte daha homojen ve kompakt bir gluten–nişasta matrisi oluşmuş, bu durum ürün kalitesine olumlu yansımıştır. Sertlik değerleri 27.8 ± 1.1 N'den 35.2 ± 1.4 N'ye yükselmiş, pişirme kaybı %8.2 ± 0.5'ten %5.6 ± 0.3'e düşmüştür. Ayrıca noodle su absorpsiyon kapasitesi %145 ± 3'ten %162 ± 4'e yükselmiş ve optimum pişirme süresi daha stabil hale gelmiştir.

Buna karşılık, su kaldırma kapasitesinin %70 seviyesine ulaşması aşırı hidratasyona neden olarak gluten ağ yapısının zayıflamasına yol açmıştır. Bu durum, tekstürel özelliklerin bozulmasına, sertlik değerinin 29.3 ± 1.2 N'ye düşmesine ve pişirme kaybının %8.9 ± 0.6'ya yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca bu örneklerde pişirme süresinin uzadığı ve ürünün yapısal dayanımının azaldığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak, unun su kaldırma kapasitesi noodle üretiminde kalite belirleyici bir faktör olup, %60–65 aralığı optimum tekstür, düşük pişirme kaybı ve dengeli su absorpsiyonu açısından önerilmektedir. Bu çalışma, hamur formülasyonunda su yönetiminin ürün performansı üzerindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su kaldırma kapasitesi, noodle, tekstür, pişirme kaybı, su absorpsiyonu.

EFFECT OF FLOUR WATER ABSORPTION CAPACITY ON NOODLE TEXTURE AND COOKING PERFORMANCE

ABSTRACT

Flour water absorption capacity is a critical functional parameter that governs dough formation, gluten development, and starch hydration in noodle production. It directly affects dough rheology, processing stability, cooking behavior, and final product texture. This study aimed to systematically evaluate the impact of different flour water absorption capacities on noodle texture and cooking performance.

Flours with water absorption levels of 55 ± 1%, 60 ± 1%, 65 ± 1%, and 70 ± 1% were used. Noodles were produced under standardized sheeting, steaming, and frying conditions. Cooking loss, water absorption rate, optimum cooking time, and texture profile parameters (hardness, elasticity, and chewiness) were analyzed.

Results showed that water absorption capacity significantly influenced both structural integrity and cooking performance ($p < 0.05$). Increasing water absorption from 55% to 65% promoted the formation of a more homogeneous and compact gluten–starch network, leading to improved product quality. Hardness increased from 27.8 ± 1.1 N to 35.2 ± 1.4 N, while cooking loss decreased from 8.2 ± 0.5% to 5.6 ± 0.3%. In addition, noodle water absorption increased from 145 ± 3% to 162 ± 4%, and cooking time became more stable.

However, excessive water absorption (70%) resulted in over-hydration, weakening the gluten network and reducing structural stability. This led to a decrease in hardness (29.3 ± 1.2 N), an increase in cooking loss (8.9 ± 0.6%), and prolonged cooking time.

In conclusion, flour water absorption capacity is a key determinant of noodle quality, and a range of 60–65% is recommended to achieve optimal texture, reduced cooking loss, and balanced hydration properties.

Keywords: Water absorption, noodle, texture, cooking loss, hydration.

İPEK BÖCEĞİNDE (*BOMBYX MORİ L.*) BAĞIRSAK MİKROBİYOTASININ GELİŞİM VE İPEK ÜRETİMİNDEKİ ROLÜ

ROLE OF GUT MICROBIOTA IN DEVELOPMENT AND SILK PRODUCTION IN THE SILKWORM (*BOMBYX MORI* L.)

Doç. Dr. Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bursa, Türkiye., ORCID NO: 0000-0001-9044-8092

Arş. Gör. Ezgi ŞENSES

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bursa, Türkiye. ORCID NO: 0000-0003-3707-6415

Doç. Dr. Arda ÇELİK

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bursa, Türkiye. ORCID NO: 000-0002-0955-4371

ÖZET

İpek böceğinin (*Bombyx mori L.*) bağırsağında yaşayan mikroorganizmalar, konak organizmanın besin maddelerinin sindirimi, amino asit ve vitamin sentezi, enerji metabolizması ile büyüme ve koza salgısı gibi biyolojik süreçlerinde kritik etkilere sahiptir. Bununla beraber, bu mikroorganizmalar bağışıklık sisteminin modülasyonuna katkı sağlayarak, ipek böceklerinin çeşitli patojenlere karşı direnç geliştirmesine önemli ölçüde destek vermektedir. Bağırsak mikrobiyatası, ipek böceği tarafından tüketilen dut yaprağının sindiriminde görev alan enzimlerin üretimine katılarak, besin maddelerinin daha etki şekilde kullanımını sağlamaktadır. Ayrıca, kolonize olmuş mikroorganizmalar çeşitli antimikrobiyal peptitler ve savunma proteinleri sentezleyerek konak organizmayı patojenik etkenlere karşı korumaktadır. Bu hususlar göz önüne alındığında, dengeli ve çeşitlilik gösteren bir bağırsak florasının, larval gelişim süreçlerinin sağlıklı ilerlemesi ve yüksek kaliteli ipek üretimi ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu bildiride, dut yaprakları ile beslenen ipek böceklerinde bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve işlevleri detaylı bir şekilde incelenmiş olup, mikrobiyal çeşitliliği etkileyen çevresel ve biyolojik faktörler hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: İpek böceği, bağırsak, mikroflora, beslenme, çevresel koşullar

ABSTRACT

Microorganisms inhabiting the gut of the silkworm (*Bombyx mori L.*) exert critical influences on various biological processes of the host organism, including nutrient digestion, amino acid and vitamin synthesis, energy metabolism, growth, and cocoon production. In addition, these microorganisms contribute to the modulation of the immune system, thereby significantly enhancing the resistance of silkworms against a wide range of pathogens. The gut microbiota participates in the production of enzymes involved in the digestion of mulberry leaves consumed by the silkworm, facilitating more efficient utilization of nutrients. Furthermore, colonized microorganisms synthesize a variety of antimicrobial peptides and defense-related proteins, which play a protective role against pathogenic agents. Considering these aspects, it is evident that a balanced and diverse gut microbiota is closely associated with healthy larval development and the production of high-quality silk. In this review, the composition and functional roles of the gut microbiota in silkworms fed on mulberry leaves were comprehensively examined, and information was provided on the environmental and biological factors influencing microbial diversity.

Keywords: Silkworm, gut, microflora, nutrition, environmental conditions

GİRİŞ

Dut ipekböceği (Bombyx mori L.), beslenme gereksinimleri için yalnızca dut (Morus spp.) yapraklarına bağımlı olan monofag bir böcektir; bu yapraklar optimal büyüme, gelişme ve ipek üretimi için kritik öneme sahiptir. Dut yapraklarının besin kalitesi, larva performansını, koza özelliklerini ve ipek verimini doğrudan etkiler (Aramani ve ark. 2025). Dut yapraklarıyla beslenen ipek böceği, ipek lifi verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için binlerce yıldır evcilleştirilmiş, ekonomik açıdan önemli bir böcektir. Binlerce yıllık evcilleştirmenin ardından, B. mori'nin alışkanlıkları, görünümü ve kozaları önemli ölçüde değişmiştir; ancak beslenme alışkanlıkları aynı kalmıştır. Bu durum ipek böceklerinin dut yapraklarının sindirimi için uygun bir bağırsak ortamı ve mikrobiyal yapı oluşturmasına olanak sağlamış bu da hastalıklara karşı bağışıklık geliştirerek dirençli olmalarına ve sağlıklı gelişimlerine olanak sağlamıştır (Xiang ve ark. 2018). Bağırsak mikroflorası, bağırsak sağlığı için temel bir düzenleyici unsurdur. Mikroorganizmalar, konakçının besin alımıyla ilgili önemli biyokimyasal işlevlere yardımcı olmak için bazı sindirim enzimlerini üretebilir. Konakçının yiyecekleri sindirmesine ve besinlerin emilimine katılmanın yanı sıra konakçının metabolizması ve bağışıklık sistemleriyle ilgili çeşitli biyolojik işlevlerde hayati bir rol oynar (Xie ve ark. 2013). B. mori'nin bağırsak mikroflorası, antimikrobiyal bileşiklerin üretimi yoluyla istilacı patojenlere karşı kolonizasyon direnci sağlamanın yanı sıra çeşitli fizyolojik süreçlerle de ilişkilidir. Bağırsak mikroflorası, ayrıca konağın büyümesi, gelişmesi ve çevresel adaptasyonunda çok önemli bir role sahiptir (Sun ve ark. 2016). Koza verimi ve kalitesi, ipek böceği türüne, iklim koşullarına, ipek böceğinin sağlığına ve besin emilimine bağlıdır. İpek böceğinin sindirim emilimi, besin kullanımı ve hastalıkların ortaya çıkması, ipek böceği larvalarının orta bağırsağında bulunan mikroflora ile yakından ilişkilidir (Yun ve ark. 2014).

İpek böceğinde bağırsak mikroflorası, konakçı için ana enerji kaynağı olarak kullanılan karbonhidratları parçalamada çok sayıda karbonhidrat sindiren enzim salgılamakta ve proteinleri, belirli taşıyıcılar tarafından hücrelere taşınan amino asitlere parçalamaktadırlar (Davila ve ark. 2013). Bu bağırsak mikroorganizmaları, antimikrobiyal peptitler salgılayarak ve patojenlerle rekabet ederek konak beslenmesinden ve detoksifikasyondan bağışıklık ve korumaya kadar çeşitli fizyolojik süreçlerde yer alabilir (Shao ve ark. 2024). Mikroflora-bağırsak-kan sistemi, konak homeostazını korumak için çok önemlidir, ipek böceği larvalarındaki orta bağırsak mikroflorası ise hastalık ortaya çıkışıyla bağlantılıdır (Li ve ark. 2023). Aynı zamanda bağırsak mikroflorası ağır metal alınıma karşı bir bariyer görevi yapmaktadır (Ding ve ark. 2019). Bağırsak mikroflorasının herhangi bir sebeple zarar görmesi, sindirimi ve besin alımını etkileyen ilişkili sindirim enzimlerinin aktivitesinin bozulmasına neden olmakta bu da larvaların ve üretilen kozaların büyümesini ve gelişimini olumsuz etkilemektedir (Shahila Ismail ve ark. 2023).

MİKROFLORA BİLEŞİMİ VE ÖNEMİ

İpek böceğinde vücut boşluğunun en büyük bölümünü oluşturan sindirim sistemi oldukça basittir, ön bağırsak, orta bağırsak, arka bağırsak olmak üzere üç bölgeden oluşur. Orta bağırsak, sindirim sisteminin büyük bir kısmını oluştururken, ön bağırsak ve arka bağırsak daha küçük kısımlarını oluşturur (Liu ve ark. 2016). İpek böceği bağırsağı alkalidir ve uygun mikrobiyal grupların oluşumunu kolaylaştırır. Bağırsak bakterilerinden etkilenen sindirim suyunun pH'ı, ipek böceklerinin patojenlere karşı direncinde rol oynar (Yun ve ark. 2014). Dut yaprakları esas olarak pektin, ksilan, selüloz ve nişastadan oluşur. Bu karbonhidratları parçalayan sindirim enzimlerinin bazıları ipek böceğindeki bağırsak bakterileri tarafından üretilir (Anand ve ark. 2010). İpek böceklerinin bağırsaklarında çok çeşitli faydalı bakteriler bulunur. Chen ve ark. (2018) ipek böceği bağırsak mikroflorasının *Bacteroidetes, Actinobacteria, Firmicutes* ve *Proteobacteria* olmak üzere dört ana filumdan oluştuğunu bildirmiştir. Bunların tümü azot fiksasyonu, karbonhidrat parçalanması ve bağışıklık modülasyonunda kritik roller oynayarak optimal bağırsak sağlığını ve besin emilimini desteklemektedir (Chen ve ark. 2023a; Herman ve ark. 2026; Shafique ve ark. 2026). Dong ve ark. (2018) ise filum düzeyinde, en bol bulunan filumun *Siyanobakteriler* olduğunu, bunu sırasıyla *Firmicutes, Proteobacteria ve*

Bacteroidetes'in izlediğini ve *Siyanobakteriler* ile *Firmicutes'in* bolluğunun toplam mikrobiyotanın %94,4'ünü oluşturduğunu ortaya koymuştur. İpek böceklerinin bağırsaklarındaki siyanobakteri bolluğunun, taze dut yapraklarında bol miktarda bulunan klorofil ve diğer bileşenlerin sindirimiyle ilişkili olabileceğini ortaya koymuştur (Sun ve ark. 2016). Hou ve ark. (2018), B. mori bağırsağında baskın filumları *Firmicutes, Cyanobacteria, Proteobacteria, Actinobacteria* ve *Bacteroidetes* olarak, en baskın cinsleri ise sırasıyla *Enterococcus, Staphylococcus, Arthrobacter, Pseudomonas, Lactobacillus, Bacteroides, Paenibacillus* ve *Serratia* olarak saptamıştır.

Yuan ve ark. (2006) ipek böceği bağırsağındaki bakterilerin esas olarak *Arthrobacter, Lactobacillus, Pseudomonas, Escherichia, Micrococcus, Bacillus* ve *Staphylococcus* cinslerine ait olduğunu göstermiştir. Anand ve ark. (2010) B. mori'nin bağırsağında *Aeromonas sp., B. circulans, C. freundii, Enterobacter sp., Erwinia sp., K. pneumoniae, P. vulgaris, P. fluorescens* ve *S. liquefaciens* gibi çeşitli polisakkarit kullanan bakterilerin varlığını doğrulamıştır. *Bacillus circulans, Proteus vulgaris, E. coli* ve *Citrobacter freundii*'nin karbonhidratların parçalanmasına yardımcı olmak için sindirim enzimleri ürettiğini ve B. mori bağırsaklarından izole edilen alkalifilik bakterilerin polisakkaritleri parçalayabildiğini bildirmiştir. Zhang ve ark. (2022a) ipek böceklerindeki bağırsak mikroflorasının bileşiminin hem gram pozitif (*Bacillus spp.* ve *Enterococcus spp.* gibi) hem de gram negatif bakterileri (*Escherichia coli* ve *Klebsiella pneumonia* gibi) içerdiğini bildirmiştir. Qin ve ark. (2022) sağlıklı ipek böceklerinin bağırsaklarında baskın olarak *Ralstonia* ve *Rhodococcus spp.* yer aldığını göstermiştir. Phugare ve Jadhav (2015) *Rhodococcus*'un, asetamid insektisitleri biyolojik olarak parçalayarak ipek böceklerinde detoksifikasyona fayda sağladığını, bazı *Rhodococcus* suşlarının da *Mycobacterium tuberculosis*'in büyümesini engelleyen benzersiz peptit halkaları ürettiğini bildirmiştir.

İpek böcekleri bağırsaklarındaki yerleşik mikrobiyal flora, vitaminler gibi hayati maddeler üreterek, besinleri parçalayıp metabolize ederek, besinleri emerek, toksinleri detoksifiye ederek, feromon üreterek ve bağışıklığı güçlendirerek konağa yardımcı olur (Zhao ve ark. 2022). İpek böceği bağırsağındaki bakterilerin bazıları temel vitaminler, amino asitler ve diğer besinleri üretirken, bazıları diyet liflerinin parçalanmasına yardımcı olarak bağışıklık sistemini ve bağırsak sağlığını etkiler (Borah ve ark. 2024). İpek böceği bağırsağındaki bu bakteriler, sindirim ve emilim süreçlerini iyileştirmenin yanı sıra bitki metabolitlerinin sindirimini ve emilimini artırarak ipek böceklerinin hayatta kalma oranını artıran önemli metabolik kaynaklardır (Das ve ark. 2024).

MİKROFLORAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Böcek bağırsağının mikrobiyal çeşitliliği, çevresel yaşam alanı, diyet, gelişim evresi ve konak filogenisi dahil olmak üzere çeşitli faktörler tarafından belirlenir. Aynı kaynaktan toplanan dut yapraklarını yedikleri göz önüne alındığında konak filogenisinin bu dut yaprağı yiyen ipek böceklerindeki mikrobiyal topluluk yapısını şekillendirmede rol oynaması oldukça muhtemeldir (Yun ve ark. 2014). Bir hayvanın bağırsak mikroflorası, özellikle diyeti olmak üzere dış çevreden etkilenir. Örneğin, dut yaprakları esas olarak ksilan (%10-40) ve selülozdan (%19-25) oluşur; bu da ipek böceklerinde besin sindirimi için bağırsak mikrobiyotasının önemini gösterir (Anand ve ark. 2010). Dut yapraklarıyla beslenen B. mori'nin 5. evre larvalarında, bağırsak mikrobiyotasına *Rhodococcus, Escherichia* ve *Enterococcus* hakimdir (Zhang ve ark. 2022b). Ancak diyette dut yaprakları marul yapraklarına değiştirildiğinde, *Bacteroides* ve *Acinetobacter* baskın türler olmuştur (Liang ve ark. 2014). Liang ve ark. (2014) marul ile beslenen ipek böceklerinin bağırsak mikroflora çeşitliliğinde ve zenginliğinde bir azalma olduğunu, sağlıklı bağırsak mikroflorasının homeostazını bozduğunu, sindirim enzimi aktivitesinde azalmaya ve ipek böceklerinin büyümesinin engellenmesine yol açtığını göstermiştir. Normal koşullar altında, bağırsak mikrobiyomunun dalgalanabileceği bir aralık vardır; ancak, şiddetli çevresel değişiklikler bağırsak mikroflorasının dengesiz hale gelmesine neden olabilir. Dut yaprakları ipek böceğine daha zengin bir mikroflora sağlayarak bağırsak stabilitesinin korunmasına yardımcı olabilirken, yapay yem laktik asit bakteri birikimi nedeniyle bağırsak mikro ortamını daha asidik hale getirerek bağırsak mikroflorasını etkiler, bu da bağırsak suyunun fizikokimyasal özelliklerini etkileyerek besin emilim bozukluğuna ve bağışıklık-hastalık direncinde azalmaya yol açar (Li ark.

2021). Bununla birlikte farklı iki dut türüyle beslenen ipek böceklerinde bile bağırsak mikroflorası farklılık göstermektedir. Örneğin Morus alba ile beslenen B. mori larvalarının bağırsak mikrobiyotası ağırlıklı olarak *Proteobacteri*a (%36,46), *Bacteroidota* (%22,98), *Firmicutes* (%20,31) ve *Actinobacteriot*a (%20,15)'dan oluşmaktadır. Buna karşılık, Morus nigra ile beslenen ipek böceklerinde mikrobiyota ağırlıklı olarak *Proteobacteria* (%31,74), *Verrucomicrobiota* (%23,35), *Bacteroidota* (%12,58) ve *Bdellovibrionota* (%12,30)'dan oluşmaktadır. *Bdellovibrionota*, dengeyi bozabilen ve ipek böceği sağlığını ve büyümesini potansiyel olarak etkileyebilen yırtıcı bir bakteridir. Sonuçta bu çalışma dut türleri arasında besin madde bileşenleri bakımından varolan farklılıkların da mikroflorayı etkilediğini, Morus alba'nın B. mori'de orta derecede çeşitli ve karmaşık bir bağırsak mikrobiyotasını desteklediğini, istikrarlı bir bağırsak ortamını koruduğunu ve bunun konakçı sindirimi ve bağışıklığı için avantajlı olduğunu göstermiştir (Shafique ve ark. 2026). Feng ve ark. (2011) dut yaprağı yiyen ipek böcekleriyle trikuspid cudrania yaprağı yiyen ipek böceklerinin bağırsak mikrofloralarını karşılaştırıldığında, trikuspid cudrania yaprağı yiyen larvaların bağırsaklarında lipaz bakterilerinin bolluğunun daha düşük olduğunu saptamıştır. Sonuçta ipek böceğinde diyetin bağırsak bakteri topluluğu, özellikle de lipaz üreten bakteriler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiş ve lipaz üreten bakteri çeşitliliğindeki farklılığın, ipek böceğinin hastalıklara karşı direnciyle de ilişkili olduğunu öne sürmüştür.

Ayrıca bağırsak mikroflorası, konak böceğin gelişiminde ve çevresel adaptasyonunda çok önemli bir rol oynar. İpek böceğinin gelişimi için en uygun sıcaklık yaklaşık 20-30 °C'dir. Sun ve ark. (2022) yüksek sıcaklığın (34 °C) ipek böceğinin bağırsak mikroflorasını etkilediğini, özellikle dişilerin daha hassas olduğunu ortaya koymuştur. Yüksek sıcaklık altında ipek böceği bağırsak dokularının hasar görerek metabolizma ve taşıma yeteneğinde meydana gelen değişiklikler, bağırsak mikroflorasıyla ilişkilidir ve yüksek sıcaklıklar, ipek böceğinin mikroflora bolluğunu etkileyerek, ilgili sindirim enzimlerinin aktivitesini ve bağırsaktaki madde taşınmasını değiştirerek ipek böceğinin sindirimini ve besin emilimini etkiler ve sonuç olarak da büyüme ve gelişme geriliği gözlenir (Sun ve ark. 2022). Shahila Ismail ve ark. (2023) da yüksek sıcaklığın (40±2 °C) beşinci evrede ipek böceği larvalarının bağırsak mikroflorasındaki çeşitliliği azaltarak sindirimi ve besin alımını olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Bunun sonucunda da larvaların büyüme ve gelişimi yavaşlamış ve kozalarının morfometrik parametrelerinde önemli düşüşler gözlemlenmiştir (Shahila Ismail ve ark. 2023).

Diğer taraftan ipeğe olan artan talep ve maliyet, etkin ve verimli üretim yöntemlerine duyulan ihtiyaç, ticari ipekböcekçiliğinde yapay diyetlerin yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır (Qin ve ark. 2020; Shu ve ark. 2023b). Genellikle soya unu, mısır tozu ve çeşitli besin takviyelerinin bir kombinasyonuna dayanan bu formüle edilmiş yemler, ipek böceğinin optimum büyümesi için dengeli ve kolay sindirilebilir bir besin profili sağlamayı amaçlamaktadır (Li ve ark. 2023). Ancak yapay yemler verimliliği artırıp endüstrinin dut yetiştiriciliğine olan bağımlılığını azaltmış olsa da, ipek böceklerinin bağırsak mikroflorasının değişmesine neden olarak bağışıklığı azaltmış ve dolayısıyla ipek böceğinin sağlığı ve üretilen ipeğin kalitesiyle ilgili yeni zorluklar ortaya çıkarmıştır. Yani ipek böceğinin beslenmesinde dut yapraklarından yapay diyete geçildiğinde bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler, konakçının besin metabolizmasını ve bağışıklık direncini olumsuz etkilemiştir (Dong ve ark. 2018). Yapay diyetle beslenme, ipek böceklerinde bağırsak bakteri çeşitliliğini azaltarak basit bir bağırsak mikrobiyota yapısına yol açar. Yapay diyet, daha kolay fermente olarak ipek böceklerinin bağırsaklarında laktik asit bakterileri miktarını artırır. Bu durum bağırsak asitleşmesine ve mikroflora dengesizliğine (disbiyoz) neden olur. Özellikle de yapay diyet, kolonize edici fırsatçı bir patojen olan Enterococcus mundtii, disbiyoza neden olarak ipek böceklerinde sık sık bakteriyel hastalıkların ortaya çıkmasına neden olur (Qin ve ark. 2022). Benzer şekilde Shu ve ark. (2023a) tarafından da yapay diyetle beslenmenin, ipek böceklerinde asidik bir bağırsak ortamına neden olarak hem mikroflorayı hem de bağırsak sıvısının fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyerek, besin emilimini zayıflattığı ve hastalıklara karşı bağışıklık direncini düşürdüğü bildirmiştir. Shu ve ark. (2023b), birinci-üçüncü larva evrelerinde yapay diyetle beslenen ipek böceğinde, larva evresi büyümesiyle ilişkili bağırsak mikroflorası tek bir eğilim gösterdiğini ve dut yaprağıyla beslenen ipek böceği bağırsaklarından farklı olarak bağırsak pH'sının asidik olduğunu bildirmiştir. Ancak yapay diyetle beslemeden dut yaprağı

beslenmesine geçtikten sonra, ipek böceklerinin büyümesinin ve bağışıklığının normale dönebileceğini, fakat yapay diyet değiştirilmeden uzun süre beslenen ipek böceklerinde büyümenin yavaşladığını ve zararlı patojenik bakterilerin miktarının arttığını vurgulamıştır. Yapay diyetle beslemede ipek böceklerinin tırmanma ve beslenme davranışı ve dışkının birlikte fermantasyonu yapay diyette *Lactobacillus* ve *Weissella* gibi laktik asit bakterilerinin zenginleşmesine yol açarak ekşi bir koku yayılmasına ve ipek böceklerinin yaşam ortamının değişmesine neden olur. İpek böceklerinin bu yapay diyeti yutmasından sonra bağırsak pH'ı düşer ve bağırsakta baskın bakterilerin bolluğunda değişim meydana gelir. Bu durum; bağırsak homeostazının vazgeçilmez bir düzenleyicisi olması, asit birikimi ve pH değişimi de dahil olmak üzere tüm mikroflora ve bağırsak mikroortamının işlevini büyük ölçüde etkiler. Sonuçta bağırsak ekolojisi dengesiz hale gelir ve bağırsak mikrobiyal homeostazı bozulduğu için konak zarar görür ve hastalanır (Cappellozza ve ark. 2011). Asidik bir bağırsak ortamı ipek böceklerinin bağırsak mikroflorasının büyümesini engeller, bu da düşük ROS içeriği ve yüksek antioksidan enzim aktivitesi (SOD, TPX, CAT) ile eş zamanlı olarak gözlemlenir (Shu ve ark. 2023b). Öte yandan yapay diyetlerle beslemenin ve yapay diyetlere antibiyotik eklenmesinin ipek böceği larvalarının bağırsak mikrobiyal çeşitliliği üzerinde ve hatta B. mori sitoplazmik polihidroz virüsü enfeksiyonuna karşı konakçının bağışıklığını değiştirerek direnç üzerinde önemli olumsuz etkileri olduğu bildirilmiştir (Liang ve ark. 2014). Qin ve ark. (2022) da yapay diyetle antibiyotik verilen sağlıklı ipek böceklerinin bağırsaklarındaki tür çeşitliliğinin, normal sağlıklı ipek böceklerine kıyasla önemli ölçüde azaldığını ve baskın cinslerin büyük ölçüde farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Ekolojik açıdan bakıldığında, biyoçeşitliliğin azalması, topluluk yapısının bozulma olasılığını artırır ve bu da fırsatçı suşların hastalığa neden olabileceği ortam hazırlayarak hastalık bulaşma olasılığını artırır (Pongsiri ve ark. 2009).

Ayrıca ipek böceğinin bağırsak mikroflorası erken (1. ve 2. larva evresi) ve geç (3. larva evresi ve sonrası) larva evreleri arasında büyük ölçüde farklılık gösterir (Chen ve ark. 2018). B. mori'nin beşinci larva evresinde *Rhodococcus, Enterococcus* ve *Escherichia* gibi baskın bakteriler bulunur (Zhang ve ark. 2022a). Anand ve ark. (2010) tüm bakteri suşlarının alkali pH'ta büyüdüğünü ve polisakkaritleri parçaladığını ve selülozik bakteri sayısının her larva evresinde arttığını bildirmiştir. Ancak bağırsak mikroflorasının bileşimi ve çeşitliliği beşinci larva evresinin son döneminde belirgin şekilde azalır. Bu durum beşinci larva evresinin sonlarına doğru larvanın besin tüketiminin azalması ve sonunda yemeyi bırakarak kozaya girmeden önce metamorfoz için bağırsak içeriğini boşaltmasıyla ilişkilidir (Sun ve ark. 2016).

Bağırsak florası, ağır metal alımına karşı yararlı bir bariyerdir ve ağır metal biyoyararlanımını ve toksisitesini etkiler (Ding ve ark. 2019). Herhangi bir şekilde ağır metallere maruz kalma, normal bağırsak mikroflorasının değişmesine yol açarak biyolojik işlevlerin bozulmasına neden olmaktadır (Zhang ve ark. 2020). Ayrıca ağır metaller bağırsak mikroflorasıyla etkileşime girerek büyüme geriliğine ve bağırsak mikroflora yapısının değişmesine neden olur. Ağır metallere maruz kalma, ipek böceğinin bağırsak mikrobiyotasının düzenli faaliyetlerine ve biyolojik sisteme zarar verir. Sonuçta ağır metal kaynaklı disbiyoz, hastalıklara yol açar (Arun ve ark. 2021). Bununla birlikte, detoksifikasyona yardımcı olan dirençli mikroplar, bağırsak mikrobiyotası tarafından güçlendirilerek ağır metallerin toksisitesini düşürmeye yardımcı olur (Chen ve ark. 2023a). Örneğin, dut yapraklarının yüzeyindeki kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak B. mori'nin bağırsak bakterilerinde hem filum hem de cins düzeyinde dramatik bir değişiklik meydana gelmiş ve bağırsak bakteri topluluğunun yapısını değişmiştir. Filum düzeyinde, B. mori'nin bağırsak bakterilerinde *Actinobacteriota* bolluğunda önemli bir artış gözlenmiştir. Cins düzeyinde, hastalık direncine bağlı *Enterococcus, Brachybacterium* ve *Brevibacterium* gruplarının bolluğu ve metal detoksifikasyonuna bağlı *Sphingomonas, Glutamicibacter* ve *Thermus* gruplarının bolluğu kadmiyum maruziyetinden sonra önemli ölçüde artmıştır. Bu arada, patojenik bakteriler *Serratia* ve *Enterobacter*'in bolluğunda önemli bir azalma olmuştur. Bu durum belirli bakteri topluluğundaki önemli bir değişimin, B. mori bağırsaklarının ağır metal detoksifikasyonu ve bağışıklık fonksiyonu düzenlemesindeki rolüne yönelik adaptasyonunu göstermektedir (Chen ve ark. 2023).

Özellikle son yıllarda, çevresel kirlilik ve pestisit yayılımı nedeniyle, böcek bağırsak mikroflorasının bileşimi bozulmuştur. Li ve ark. (2020) foksim maruziyetinin, ipek böceği bağırsak bakteri topluluğunun

yapısını değiştirdiğini, baskın bakterilerin nispi bolluğunun önemli ölçüde azalttığını ve ipek böceğini hastalıklara karşı daha duyarlı hale getirdiğini bildirmiştir. Nitekim ipek böceği larvalarının pestisitlerle kontamine olmuş dut yapraklarını yiyerek zehirlenmesi nedeniyle gözlenen koza örememe sendromu da ipek endüstrisini olumsuz etkilemektedir (Chen ve ark. 2023b). Dao ve ark. (2021) ipek böceği bağırsaklarındaki *Enterobacter, Blautia, Bifidobacterium, Faecalibacterium* ve *Collinsella* bolluğunun Dimetoata maruz kaldıktan sonra önemli ölçüde azaldığını ve bunun konakçının bağışıklık fonksiyonunu etkilediğini bildirmiştir. Bu bağlamda bağırsak mikrobiyotasının yapısı ve çeşitliliği ile metabolik aktiviteleri, besin emiliminin yanı sıra pestisit bozunmasını ve direncini teşvik etmede de önemli bir rol oynayarak konakçı sağlığını korumaktadır (Chen ve ark. 2020).

SONUÇ

İpek böceklerinin bağırsak mikroflorası, besinlerin sindirimi ve emilimi için gerekli enzimleri üreterek bu süreçleri kolaylaştırır, sindirim sularının pH seviyeleri, enzimlerin aktivitelerini optimize etmelerini sağlar, konağın enfeksiyonlara karşı savunmasını güçlendiren antimikrobiyal peptitler üretir ve bağışıklığının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Yapay diyet, antibiyotik ve çevresel faktörler bu mikroflorayı değiştirerek larva gelişimini ve koza verimini doğrudan etkiler.

KAYNAKLAR

Anand AAP, Vennison SJ, Sankar SG, Prabhu DIG, Vasan PT, Raghuraman T, Geoffrey CJ, Vendan SE. (2010). Isolation and characterization of bacteria from the gut of Bombyx mori that degrade cellulose, xylan, pectin and starch and their impact on digestion. Journal of Insect Science, 10: 107. https://doi.org/ 10.1673/031.010.10701

Aramani K, Tejaswini AS, Nikita K, Veenita MK, Basanagouda J, Vinayak M. (2025). Enhancing performance of Bombyx Mori L. via nutrient-fortified mulberry leaves. Uttar Pradesh Journal of Zoology 46(14): 1-13. https://doi.org/10.56557/upjoz/2025/v46i145110

Arun KB, Madhavan A, Sindhu R, Emmanual S, Binod P, Pugazhendhi A, Sirohi R, Reshmy R, Awasthi MK, Gnansounou E, Pandey A. (2021). Probiotics and gut microbiome - Prospects and challenges in remediating heavy metal toxicity. J Hazard Mater, 420: 126676. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126676.

Borah P, Das P, Bordoloi R, Deori S, Chutia BC, Dutta R, Baruah C. (2024). Potential of probiotic bacteria to improve silk production: boosting the sericulture ındustry in Northeast India. Journal of Applied and Natural Science, 16(4): 1431-1443. https://doi.org/10.31018/jans.v16i4.5873

Cappellozza S, Saviane A, Tettamanti G, Squadrin M, Vendramin E, Paolucci P, Franzetti E, Squartini A. (2011). Identification of Enterococcus mundtii as a pathogenic agent involved in the “flacherie” disease in Bombyx mori L. larvae reared on artificial diet. J Invertebr Pathol 106: 386-393.

Chen B, Du K, Sun C, Vimalanathan A, Liang X, Li Y, Wang B, Lu X, Li L, Shao Y. (2018). Gut bacterial and fungal communities of the domesticated silkworm (Bombyx mori) and wild mulberry-feeding relatives. ISME J, 12: 2252-2262.

Chen B, Zhang N, Xie S, Zhang X, He J, Muhammad A, Sun C, Lu X, Shao Y. (2020). Gut bacteria of the silkworm Bombyx mori facilitate host resistance against the toxic effects of organophosphate insecticides. Environ Int, 143: 105886. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105886.

Chen Y, Liu G, Ali MR, Zhang M, Zhou G, Sun Q, Shirin J. (2023a). Regulation of gut bacteria in silkworm (Bombyx mori) after exposure to endogenous cadmiumpolluted mulberry leaves. Ecotoxicology and Environmental Safety, 256: 114853. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114853

Chen Q, Sun S, Yang X, Yan H, Wang K, Ba X, Wang H. (2023b). Sublethal effects of neonicotinoid ınsecticides on the development, body weight and economic characteristics of silkworm. Toxics, 11: 402. https://doi.org/10.3390/toxics11050402

Dao TK, Do TH, Le NG, Nguyen HD, Nguyen TQ, Le TT, Truong NH. (2021). Understanding the role of Prevotella genus in the digestion of lignocellulose and other substrates in Vietnamese native goats' rumen by metagenomic deep sequencing. Animals, 11(11): 3257. https://doi.org/10.3390/ani11113257

Das P, Borah P, Bordoloi R, Pegu A, Dutta R, Baruah C. (2024). Probiotic bacteria as a healthy alternative for fish and biological control agents in aquaculture. Journal of Applied and Natural Science, 16(2), 674-689. https://doi.org/10.31018/jans. v16i2.5543

Davila AM, Blachier F, Gotteland M, Andriamihaja M, Benetti PH, Sanz Y, Tom´e D. (2013). Intestinal luminal nitrogen metabolism: role of the gut microbiota and consequences for the host. Pharmacol Res, 69(1): 114-126.

Ding RX, Goh WR, Wu RN, Yue XQ, Luo X, Khine WWT, Lee YK. (2019). Revisit gut microbiota and its impact on human health and disease. Journal of food and drug analysis, 27(3): 623-631. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.012

Dong HL, Zhang SX, Chen ZH, Tao H, Li X, Qiu JF, Xu SQ. (2018). Differences in gut microbiota between silkworms (Bombyx mori) reared on fresh mulberry (Morus alba var. multicaulis) leaves or an artificial diet. RSC Adv, 8: 26188-26200.

Feng W, Wang XQ, Zhou W, Liu GY, Wan YJ. (2011). Isolation and characterization of lipase-producing bacteria in the intestine of the silkworm, Bombyx mori, reared on different forage. J Insect Sci, 11: 135. https://doi.org/10.1673/031.011.13501

Herman RA, Khurshid M, Zhang ZP, Yan CH, Ayepa E, Li YJC, You S, Sheng S, Wang J. (2026). Silkworm (Bombyx mori) gut bacteria respond positively to exposure of magnetic Fe3O4@urease-doped nanoconjugates: potential reconstruction for nutritional efficiency. Anim microbiome 8(2): 1-27. https://doi.org/10.1186/s42523-025-00500-1

Hou C, Shi Y, Wang H, Li R, Nartey MA, Guo X. (2018). Composition and diversity analysis of intestinal microbiota in the fifth instar silkworm, Bombyx mori L. Research Report, 5: 223-233.

Li F, Li M, Mao T, Wang H, Chen J, Lu Z, Qu J, Fang Y, Gu Z, Li B. (2020). Effects of phoxim exposure on gut microbial composition in the silkworm, Bombyx mori. Ecotoxicol Environ Saf, 189: 110011. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110011

Li F, Li M, Zhu Q, Mao T, Dai M, Ye W, Bian D, Su W, Feng P, Ren Y. (2021). Imbalance of intestinal microbial homeostasis caused by acetamiprid is detrimental to resistance to pathogenic bacteria in Bombyx mori. Environ Pollut, 289: 117866.

Li J, Deng J, Deng X, Liu L, Zha X. (2023). Metabonomic Analysis of Silkworm Midgut Reveals Differences between the Physiological Effects of an Artificial and Mulberry Leaf Diet. Insects, 14: 347.

Liang X, Fu Y, Tong L, Liu H. (2014). Microbial shifts of the silkworm larval gut in response to lettuce leaf feeding. Appl Microbiol Biotechnol, 98: 3769-3776.

Liu H, Chen B, Hu S, Liang X, Lu X, Shao Y. (2016). Quantitative proteomic analysis of germination of Nosema bombycis spores under extremely alkaline conditions. Front Microbiol, 7: 1459.

Phugare SS, Jadhav JP. (2015). Biodegradation of acetamiprid by isolated bacterial strain Rhodococcus sp. BCH2 and toxicological analysis of its metabolites in silkworm (Bombax mori). Clean Soil Air Water 43: 296-304.

Pongsiri MJ, Roman J, Ezenwa VO, Goldberg TL, Koren HS, Newbold SC, Ostfeld RS, Pattanayak SK, Salkeld DJ. (2009). Biodiversity loss affects global disease ecology. Bioscience 59: 945-954.

Qin D, Wang G, Dong Z, Xia Q, Zhao P. (2020). Comparative Fecal Metabolomes of silkworms Being Fed Mulberry Leaf and Artificial Diet. Insects, 11: 851.

Qin L, Qi J, Shen G, Qin D, Wu J, Song Y, Cao Y, Zhao P, Xia Q. (2022). Effects of microbial transfer during food-gut-feces circulation on the health of Bombyx mori. Microbiol Spectr, 10(6): e0235722. https://doi.org/10.1128/spectrum.02357-22.

Shafique M, Ali W, Bukhari SM, Mehmood S. (2026). Comparative analysis of gut microbiota in Bombyx mori fed on M. alba and M. nigra using 16S rRNA amplicon sequencing. Open Vet J, 16(1): 275-286. https://doi.org/10.5455/OVJ.2026.v16.i1.25

Shahila Ismail KI, Kumar CVS, Aneesha U, Syama PS, Sajini KP. (2023). Comparative analysis of gut bacteria of silkworm Bombyx mori L. on exposure to temperature through 16S rRNA high throughput metagenomic sequencing. J Invertebr Pathol, 201: 107992. https://doi.org/10.1016/j.jip.2023.107992

Shao Y, Mason CJ, Felton GW. (2024). Toward an Integrated understanding of the lepidoptera microbiome. Annual Review of Entomology, 69: 117-137. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020723-102548

Shu Q, Guo X, Tian C, Wang Y, Zhang X, Cheng J, Li F, Li B. (2023a). Homeostatic Regulation of the Duox-ROS Defense System: Revelations Based on the Diversity of Gut Bacteria in Silkworms (Bombyxmori). Int J Mol Sci, 24: 12731. https://doi.org/10.3390/ijms241612731

Shu Q, Wang Y, Gu H, Zhu Q, Liu W, Dai Y, Li F, Li B. (2023b). Effects of artificial diet breeding on intestinal microbial populations at the young stage of silkworm (Bombyx mori). Arch Insect Biochem Physiol, 113: e22019.

Sun Z, Lu Y, Zhang H, Kumar D, Liu B, Gong Y, Zhu M, Zhu L, Liang Z, Kuang S, Chen F, Hu X, Cao G, Xue R, Gong C. (2016). Effects of BmCPV Infection on Silkworm Bombyx mori Intestinal Bacteria. PLoS One, 11(1): e0146313. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146313.

Sun X, Yuan Q, Du B, Jin X, Huang X, Li Q, Zhong Y, Pan Z, Xu S, Sima Y. (2022). Relationship between changes in intestinal microorganisms and effect of high temperature on the growth and development of Bombyx mori larvae. Int J Mol Sci, 23: 10289. https://doi.org/10.3390/ijms231810289

Xiang H, Liu X, Li M, Zhu Y, Wang L, Cui Y, Liu L, Fang G, Qian H, Xu A, Wang W, Zhan S. (2018). The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. Nat Ecol Evol, 2: 1268-1279. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0593-4.

Xie G, Zhang S, Zheng X, Jia W. (2013). Metabolomics approaches for characterizing metabolic interactions between host and its commensal microbes. Electrophoresis, 34: 2787-2798

Yuan ZH, Lan XQ, Yang T, Xiao J, Zhou ZY. (2006). Investigation and analysis of the bacteria community in silkworm intestine. Wei Sheng Wu Xue Bao, 46(2): 285-291.

Yun JH, Roh SW, Whon TW, Jung MJ, Kim MS, Park DS, et al. (2014). Insect gut bacterial diversity determined by environmental habitat, diet, developmental stage, and phylogeny of host. Appl Environ Microbiol, 80: 5254-5264.

Zhang Y, Shang R, Zhang J, Li J, Zhu G, Yao M, Sun J, Shen Z. (2020). Isolation and identification of two Serratia marcescens strains from silkworm, Bombyx mori. Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology, 113(9): 1313-1321.

Zhang X, Zhang F, Lu X. (2022a). Diversity and functional roles of the gut microbiota in lepidopteran insects. Microorganisms, 10(6): 1234.

Zhang X, Feng H, He J, Liang X, Zhang N, Shao Y, Zhang F, Lu X. (2022b). The gut commensal bacterium Enterococcus faecalis LX10 contributes to defending against Nosema bombycis infection in Bombyx mori. Pest Manag Sci, 78(6): 2215-2227. https://doi.org/10.1002/ps.6846.

Zhao M, Lin X, Guo X. (2022). The role of insect symbiotic bacteria in metabolizing phytochemicals and agrochemicals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 13(7): 583-583. https://doi.org/10.3390/insects13070583

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

G20 ÜLKELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ YATIRIM ÇEKİCİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BÜTÜNLEŞİK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME ÇERÇEVESİ

Mohammed Abdulqader Thabet MUQBEL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-0021-086X

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ziyaeddin BULUM

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2374-0135

ÖZET

Bu çalışma, G20 ülkelerinin güneş enerjisi yatırım çekiciliğini bütünleşik bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) çerçevesi kullanarak değerlendirmektedir. Güneş enerjisi yatırımları yalnızca güneşlenme potansiyeli veya kurulu güç düzeyi ile açıklanamayacak kadar çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu yatırımlar teknik koşullar, ekonomik göstergeler, finansmana erişim, çevresel öncelikler ve politika temelli düzenlemelerden eş zamanlı olarak etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmada, ülke düzeyinde güneş enerjisi yatırım ortamlarını karşılaştırmalı biçimde incelemek amacıyla kapsamlı ve sistematik bir değerlendirme yapısı geliştirilmiştir. Önerilen çerçevede kriterlerin göreli önem düzeyleri Rank Order Centroid (ROC) yöntemi ile belirlenmiş, ülkelerin performansları ise Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. ROC yöntemi, kriterlerin önem sırasını sayısal ağırlıklara dönüştürmesi nedeniyle şeffaf ve uygulanabilir bir ağırlıklandırma yapısı sağlamaktadır. WASPAS yöntemi ise ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım yaklaşımlarını birleştirerek alternatiflerin performansını hem toplamsal hem de çarpımsal açıdan değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Elde edilen sonuçların yöntem seçimine duyarlılığını incelemek amacıyla TOPSIS, COPRAS ve CoCoSo yöntemleriyle karşılaştırmalı analiz yapılmış ve sıralamalar arasındaki uyum korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bulgular, G20 ülkeleri arasında güneş enerjisi yatırım potansiyeli bakımından belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. WASPAS sonuçlarına göre Çin 0,625 skorla ilk sırada yer alırken, Amerika Birleşik Devletleri 0,537 ve Avustralya 0,474 skorla onu takip etmiştir. Suudi Arabistan 0,224, Rusya 0,239 ve Endonezya 0,239 skorla dikkate alınan kriterler kapsamında en düşük performans gösteren ülkeler arasında yer almıştır. Korelasyon analizi, WASPAS ve CoCoSo yöntemleri arasında güçlü bir uyum bulunduğunu göstermiştir (Spearman ρ = 0,974). Buna karşılık WASPAS ile TOPSIS ve WASPAS ile COPRAS arasındaki ilişkiler orta düzeyde gerçekleşmiş, TOPSIS ile COPRAS arasındaki ilişkinin ise zayıf olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ülkeler arası güneş enerjisi yatırım değerlendirmelerinde kullanılan ÇKKV yönteminin nihai sıralamalar üzerinde etkili olabildiğini göstermektedir. Çalışma, yatırımcılar ve politika yapıcılar için analitik temelli bir karar destek aracı sunmakta ve büyük ekonomilerde güneş enerjisi yatırım ortamlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Yatırım Çekiciliği, ÇKKV, ROC, WASPAS, CoCoSo, G20 ülkeleri.

A ROBUST MULTI-CRITERIA FRAMEWORK FOR ASSESSING SOLAR ENERGY INVESTMENT ATTRACTIVENESS IN G20 COUNTRIES

ABSTRACT

This study evaluates the solar energy investment attractiveness of G20 countries using an integrated multi-criteria decision-making (MCDM) framework. Solar energy investment cannot be adequately explained by a single indicator such as solar radiation, installed capacity, or investment cost. Rather, it is shaped by the simultaneous interaction of technical, economic, financial, environmental, and policy-related factors. Therefore, this study develops a comprehensive assessment structure to compare country-level solar energy investment environments in a systematic and analytically consistent manner. Within the proposed framework, the relative importance of the criteria is determined using the Rank Order Centroid (ROC) method, while the performance of the countries is evaluated using the Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) method. The ROC method provides a transparent weighting structure by converting the ordinal importance ranking of the criteria into numerical weights. The WASPAS method enables a balanced assessment of country performance by combining the weighted sum and weighted product approaches, thereby considering both additive and multiplicative effects. To examine the robustness of the ranking results and the possible influence of methodological selection, the findings are further compared using TOPSIS, COPRAS, and CoCoSo methods, supported by correlation analysis. The results indicate substantial differences among G20 countries in terms of solar energy investment attractiveness. According to the WASPAS results, China ranks first with a score of 0.625, followed by the United States with 0.537 and Australia with 0.474. Saudi Arabia, Russia, and Indonesia obtain the lowest composite scores, with values of 0.224, 0.239, and 0.239, respectively. The correlation analysis reveals a strong concordance between WASPAS and CoCoSo rankings (Spearman $\rho = 0.974$). By contrast, the correlations between WASPAS and TOPSIS and between WASPAS and COPRAS are moderate, while the association between TOPSIS and COPRAS is weak. These findings suggest that the choice of MCDM method can significantly influence the final ranking outcomes in cross-country solar investment assessments. The study offers a systematic decision-support tool for policymakers and investors and contributes to the comparative evaluation of solar energy investment environments across major economies.

Keywords: Solar energy, Investment attractiveness, MCDM, ROC, WASPAS, CoCoSo, G20 countries

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

AVRUPA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ KOOPERATİFLERİNİN GELİŞİM SÜRECİNİN İNCELENMESİ

AN EXAMINATION OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF RENEWABLE ENERGY COOPERATIVES IN EUROPE[1]

Prof. Dr. Tayfun BÜKE

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kötekli, Muğla. ORCID NO: 0000-0002-5662-5101

Ökkeş Yaşar DURSUN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kötekli, Muğla. ORCID NO: 0009-0009-6909-9575

ÖZET

"Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Gelişim Sürecinin İncelenmesi" konulu çalışma, "Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Enerji Geçişine Katkıları" konulu Yüksek Lisans Bitirme tezimden türetilmiştir.İncelediğim kooperatifler, Avrupa'daki Rescoop (Avrupa Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri Federasyonu)'a kayıtlı ve üye sayısı 1000'in üzerinde olan gelişmiş ve popüler kooperatiflerden seçilmiştir.İncelenen kooperatiflere ait veriler kooperatiflerin web sayfalarından ve ResCOOP veri tabanından sağlanmıştır.Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, Avrupa'da REScoop (Renewable Energy Source Cooperative) Federasyonu çatısı altında örgütlenmişlerdir.Yenilenebilir enerji kooperatifleri, enerji üretimini teşvik etmek amacıyla sağlanan destekler sayesinde, farklı ülkelerde faaliyetlerini sürdürme zemini bulmuşlardır.Yenilenebilir Enerji Koooperatifleri, "Kendi Elektriğini Kendin Üret" politikasını gütmekte, faydalı, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması açısından büyük önem arz etmektedir.Yenilenebilir enerji kooperatiflerinin amaçlarından bir tanesi giderlerini karşılamak maksadıyla kâr elde etmektir fakat asıl kurulma nedenleri kâr gütme amacı değildir.Kooperatifçilik konusunda Avrupa ülkelerinin gelişmişlik seviyeleri analiz edilmiştir.Kooperatiflerin Avrupa ülkelerinde yaygınlaşması çalışanların yetkinlik düzeyini artırarak kariyer planlamasını yapmak için zemin hazırlamıştır.Bu çalışmada Avrupa'da kooperatiflerin birkaç üyenin bir araya gelmesiyle kurulmalarına rağmen kaydettikleri ilerlemeler, gelişmeler, büyük projelere imza atabilecek kapasitede büyük ve profesyonelleşmiş kooperatifler haline gelmesi üzerinde durulmuştur. Konumun var olan çalışmalardan farklı olması, Türkiye'de yeni olması, Avrupa'da popüler bir konu olması ve Avrupa ülkelerindeki gelişmişliklerden bahsederek Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerine ihtiyacı ortaya çıkarmasından dolayı faydalı ve değerli bir çalışma olduğuna dikkat çekilmesi hedeflenmiştir.Kooperatifler bünyesinde Enerji Verimliliği, Enerji Tasarrufu, Enerji Yönetimi gibi konuları içerdiğinden enerji konusunda çeşitliliği kapsamakta ve birçok uzmanlık alanına çağrışım yapmaktadır.Aynı zamanda bu konunun Enerji Sistemleri Mühendisliği ve Elektrik Mühendisliğine hitap etmesine ek olarak Sosyoloji, Ekonomi ve Çevre Bilimi ile de örtüşmesinden dolayı disiplinlerarası bir çalışma olduğundan kıymetli bir çalışma olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, Rescoop, Enerji Verimliliği.

[1]Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilen "Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Enerji Geçişine Katkıları" başlıklı Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

ABSTRACT

The study entitled "Investigation of the Development Process of Renewable Energy Cooperatives in Europe" has been derived from the author's master's thesis titled "Contributions of Renewable Energy Cooperatives to the Energy Transition in Europe." The cooperatives examined in this study were selected from improved and popular cooperatives registered under the REScoop.eu federation in Europe, each having more than 1,000 members. The data related to the analyzed cooperatives were obtained from the official websites of the cooperatives and the REScoop database. Renewable energy cooperatives in Europe have organized under the federation of the REScoop.eu (Renewable Energy Source Cooperative Federation). Renewable energy cooperatives have ground to sustain their activities in different European countries due to providing supports for the purpose of incentive renewable energy generation.Renewable energy cooperatives adopt the principle of "Generate Your Own Electricity," which is of significant importance in terms of beneficial, environmental awareness and sustainability.Although one of the purposes of renewable energy cooperatives is to provide sufficient revenue to defray their expenditures, their primary established purpose is not profit maximization. Within the scope of this study, the levels of development of European countries in terms of cooperative structures have been analyzed. The widespread expansion of cooperatives in European countries has prepared the ground by increasing the competency levels of employees to implement their career planning.This study emphasizes that they have achieved improvings, evolved into professionalized cooperatives and having capacity which can manage large-scale projects although the cooperatives in Europe were initially established by several members.The study has been aimed to emphasize that is a beneficial and valuable study because the subject is different from existing subjects, unimproved in Turkey, a popular subject in Europe and essential for demonstrating the growing need for renewable energy cooperatives in light of the developmental progress by European countries.Cooperatives involve the diversity about energy and adopt numerous area of expertise because Renewable energy cooperatives include various subjects such as Energy Efficiency, Energy Saving, Energy Management.Also, this subject is considered remarkable as it is an interdisciplinary subject, due to it is not only directly related to Energy Systems Engineering and Electrical Engineering, but also intersects with Sociology, Economics, and Environmental Science.

Keywords: Renewable Energy Cooperatives, Rescoop, Energy Efficiency.

GİRİŞ

Avrupa'da kentsel alanlarda tüketilen enerjinin içerisindeki yenilenebilir kaynakların payının arttırılmasının ekonomik ve ekolojik açıdan avantajlı yanları bulunmaktadır.Bu yüzden kentsel alanlarda yaşamlarını sürdürenlerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için mikro yapılarda organizasyonlar oluşturmalıdır.Bu örgütler **kooperatif** şeklinde tasarlanmışlardır.Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, bir sivil toplum örgütü olduğundan ve Toplumsal Sorumluluk İlkesi prensibiyle yürütüldüğünden enerji kooperatiflerinin toplumsal kalkınmaya hizmet etmesi ülkeleri sosyal/toplumsal anlamda refaha kavuşturmuşlardır.Kooperatifçiliğin kurallarından biri, üyelerin kooperatifin sermayesine eşit olarak katkıda bulunmaları ve onu demokratik bir şekilde yönetmeleridir.

Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Avrupa ülkelerinde yaygınlaşması, çalışanların yetkinlik düzeyini artırarak kariyer planlamasını yapması, istihdamı arttırarak ekonomik kalkınmayı sağlaması fosil yakıtlara olan ihtiyacı minimize etmiş, dışa bağımlılığı azaltmışlardır. Ayrıca kendi elektriğini üretme sayesinde kooperatif ortaklarının enerji tüketim maliyetleri azaltılmıştır. AB enerji politikasında Enerji verimliliği en önemli önceliktir. Enerji Kooperatiflerinin temel amacı enerji kaynaklarının etkin ve güvenli bir şekilde düşük fiyatla kullanılmasıdır. Enerji politikalarının genel amacı, en az maliyetle nüfus ve ekonominin enerji ihtiyacına binaen enerji arz planlaması yapabilmektir. Tüm bu avantajlar Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin **enerji güvenliğini** ve **ekonomik güvenliğini** belirtmektedir.

Bu çalışmada Avrupa'daki Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin nasıl oluştuğu, üyelerinin nasıl bir araya geldiği, katettikleri ilerlemeler, elde ettikleri avantajlar, devlete ve topluma ekonomik ve sosyal katkıları, başarıları, geliştirdikleri proje ve programlar, düzenledikleri eğitimler, kooperatifler bünyesindeki işleyiş/organizasyonel planlamalar üzerinde durulmuştur.Ayrıca enerji maliyetlerinin makul seviyelere indirgenmesi, kooperatif içi finansal işleyişin dengelenmesi için geliştirilen programlardan bahsedilmiştir.Aynı zamanda kooperatiflerin geliştirdikleri yazılım, program, yürüttükleri projeler, yaptıkları anlaşmalar, belediyelerle ve muhtelif firmalarla/kurumlarla yaptıkları işbirliklerinden, Avrupa'daki kooperatiflerin yaptıkları enerji tasarruflarından, **Enerji Verimliliğine ve Enerji Geçişine** katkılarından bahsedilmiş ve detaylı olarak incelenmiştir.

Literatür Araştırması

2000 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası'nın (EEG) yürürlüğe girmesiyle elektrik sektöründe yenilenebilir enerjilerin büyümesi önemli ölçüde artmıştır. Avrupa'daki Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve biyokütle enerjisini kullanmışlardır. Enerji politikalarının genel amacı, en az maliyetle nüfus ve ekonominin enerji ihtiyacına binaen enerji arz planlaması yapabilmektir.

Kooperatifler, toplumların ortak ihtiyaçlarının karşılanmasında bir aktör olarak değerlendirilmektedir.Bireylerin kooperatif çatısı altında bir araya geldiği ve kendi çıkarlarını maksimize etmeyi amaçladığı bu yapılar, "gönüllülük, herkese açık üyelik, demokratik kontrol, ekonomik katılım, özerklik ve bağımsızlık, eğitim, öğrenim ve bilgilendirme, iş birliği ve sorumluluk" gibi temel ilkeler üzerine inşa edilmektedir (International Co-operative Alliance, 2018).Bu bağlamda önerilen "Şehir Enerji Kooperatifleri" bu temel dinamikler esas alınarak tasarlanmıştır.

Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri birçok yönden avantajlı olduğundan kazançlı bir yapılanmadır.Yenilenebilir Enerji Koooperatifleri, "Kendi Elektriğini Kendin Üret" politikasını gütmekte, faydalı, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olması açısından büyük önem arz etmektedir.Yenilenebilir enerji kooperatiflerinin amaçlarından bir tanesi giderlerini karşılamak maksadıyla kâr elde etmektir fakat asıl kurulma nedenleri kâr gütme amacı değildir (Durmaz, 2018; Beggio ve Kusch, 2015; Heras, vd., 2018; Wang, vd., 2024).

Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri sayesinde dünyada genel bir sorun olan karbondioksit emisyonları azaltılmış ve Avrupa'nın enerji politikası **Yeşil Enerjiye** yön vermiştir. Bu bağlamda enerji üretiminde meydana gelebilecek çevresel sorunlar minimize edilmiş, insanlar daha temiz bir ortamda yaşama şansı yakalamıştır. Söz konusu Avrupa ülkeleri arasında yenilenebilir enerji konusunda çok ileri bir ülke olan Danimarka, Avrupa'nın en güçlü yenilenebilir enerji kooperatiflerine sahip ülkesi olarak kabul edilmektedir.

Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, bir sivil toplum örgütü olduğundan ve Toplumsal Sorumluluk İlkesi prensibiyle yürütüldüğünden enerji kooperatiflerinin toplumsal kalkınmaya hizmet etmesi Avrupa ülkelerini sosyal/toplumsal anlamda refaha kavuşturmuştur. Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, Avrupa'da REScoop (Renewable Energy Source Cooperative) Federasyonu çatısı altında örgütlenmişler (REScoop, 2025) ve bulundukları ülkelerde fosil kaynaklardan yenilenebilir enerjiye geçişinde öncü olmak istemektedirler (ILO, 2013).
Literatür Araştırmasındaki tüm bu incelemeler ışığında; Avrupa ülkelerindeki Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin kaydettikleri ilerlemeler saptanmış, alanında devleşmiş firmalar gibi bünyesinde oluşturdukları yapılaşmalar incelenmiş, kooperatiflerin hedeflerine ulaştığı görülmüş, topluma başta eğitim olmak üzere birçok konuda destek verdikleri gözlemlenerek gelişim süreci incelenmiştir.

YÖNTEM

Rescoop Tanıtımı

REScoop.eu, 2011 yılında kurulan Avrupa yenilenebilir enerji kooperatifleri federasyonudur. Rescoop, Avrupa Birliği Temiz Enerji Paketi'nde resmi olarak tanınan bir enerji kooperatifidir. Yenilenebilir Enerji topluluğu, aynı zamanda yenilenebilir enerji veya enerji verimliliği projelerini halkın kendi ortaklaşa yaptığı bir iş modelidir.Rescoop'a göre kooperatifin yasal statüye sahip olması zorunlu değildir ancak iş yapma şekilleriyle kendilerini diğerlerinden ayırt etmektedirler.Onlar REScoop'un enerji demokrasisine geçişte öncü rol oynadığına inandığımız Uluslararası Kooperatifler Birliği tarafından 7 ilkeyi benimsemişlerdir.Bu ilkeler; gönüllü ve serbest giriş, demokratik yönetim, ortağın ekonomik katılımı, özerklik ve bağımsızlık, eğitim, öğrenim ve bilgilendirme, kooperatifler arasında işbirliği ile topluma karşı sorumlu olmaktır.

REScoop'lar vatandaşların, yenilenebilir enerji veya enerji verimliliği projelerine ortaklaşa sahip olduğu ve katıldığı bir iş modelidir; üyelerin mutlaka kooperatif yasal statüsüne sahip olması gerekmez, ancak iş yapma biçimleriyle kendilerini diğer girişimlerden ayırırlar. Federasyonun ana hedefleri şunlardır:

-Enerji politikası tartışmalarında vatandaşların sesinin duyulmasını sağlamak

-Vatandaş liderliğindeki enerji girişimleri arasında uluslararası işbirliğini teşvik etmek

-Üyelerin büyümesine ve gelişmesine yardımcı olmak

-Kooperatif iş modelini teşvik etmektir.

Genel Kurul, tam üyeler ve destekçiler dahil tüm üyeleri içerir.Tam üyeler olan enerji kooperatifleri ve ulusal/bölgesel federasyonlar oy hakkına sahiptir.Destekçilerin (ilgili kuruluşlar, şirketler veya yerel yönetimler) oy hakkı yoktur.Genel Kurul, "bir üye, bir oy" demokratik oylama ilkesine uyar ve kararlar her zaman mutlak çoğunlukla alınır.Yönetim Kurulu Genel Kurul tarafından 4 yıllığına seçilir.Üyeler yeniden seçilme hakkına sahiptir. Yönetim Kurulu politika, strateji ve organizasyonel planlama ile ilgili önemli kararları alır. Yönetim Kurulu üyeleri bütçeleri kontrol eder ve koordinatörleri denetler.Kararlar salt çoğunlukla alınır.REScoop.eu ekibi, Brüksel'deki merkezde çalışan ve farklı kökenleri, farklı geçmişleri olan 20 personelden oluşmaktadır. Koordinatörler, derneğin günlük faaliyetlerinden sorumludurlar ve Yönetim Kuruluna rapor verirler.

REScoop.eu'nun 2024 yılı sonu itibarı ile 2.000.000 vatandaş üyesi, 2500 enerji topluluğu üyesi, 20 çalışanı ve 26 ülkeden 124 üye (84 birim kooperatif, 23 federasyon, 17 destekçi) bulunmaktadır. REScoop.eu, Avrupa Birliği genelindeki enerji toplulukları arasında lider kuruluş olarak kabul görmüştür. Avrupa Birliği politikaları, kapasite geliştirme ve enerji topluluklarına etkin erişim alanlarındaki uzmanlıkları federasyonu Avrupa Birliği projelerinde işbirliği için değerli bir ortak haline getirmektedir.

REScoop.eu'nun birinci önceliği, enerji piyasasında enerji toplulukları için eşit şartlar sağlayan sağlam düzenleyici ve destekleyici çerçeveler oluşturmak amacıyla AB kurallarının tam ve etkili bir şekilde aktarılması, uygulanması ve yürürlüğe konmasıdır.Önümüzdeki dönemde, Enerji Toplulukları Eylem Planı ve Vatandaş Enerji Paketi odak noktası olmaya devam ederken, REScoop.eu enerji topluluklarını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yerel sahipliğini desteklemeye ve son yıllarda elde edilen önemli kazanımları savunmaya devam etmeyi planlamaktadır. REScoop.eu bünyesinde farklı tematik çalışma grupları oluşturulmuş olup federasyon bu gruplardaki üyelerin işbirliğini koordine etmektedir. Çalışma grupları, üyelerin uzmanlara doğrudan erişimine olanak sağlamayı ve fikir alışverişi için bir forum oluşturmayı amaçlamaktadır.

Rescoop, enerji demokrasisi kavramını ortaya çıkaran bir federasyondur.Kendi enerji sisteminin gücünü bir kişiyle değil bütün vatandaşların katkısıyla yaratmak isteyen bir yapılaşmadır.Kâr odaklı olmaktan çok değer odaklı olan enerji topluluklarıdır.Elde edilen kârlar genellikle sosyal veya çevresel fayda sağlamak için kullanılır.

Mevcut durumda Avrupa'da, enerji toplulukları, birkaç küçük varlığa sahip gönüllü olarak işletilen küçük kuruluşlardan, büyük kâr getiren ve son derece profesyonel yönetilen işletmelere kadar değişmektedirler.Örneğin, İspanya'nın tamamında faaliyet gösteren Som Energia'nın yaklaşık 76.500 üyesi vardır ve yenilenebilir enerji projelerine toplam 15 milyon Avro'luk yatırımı mevcuttur.Çoğu enerji topluluğu yenilenebilir enerji üretmekte ve tedarik sağlamaktadır.Ancak enerji verimliliği ve enerji tasarrufu hizmetleri, ısıtma ve ulaşım gibi faaliyetleri de giderek arttırdıkları gözlemlenmektedir.

BULGULAR

Ecopower (Belçika/Flanders) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Ecopower Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, Belediyenin arazileri üzerine türbin koymak isteyenlerin başvurmasıyla kurulmuş, Belçika'da bir grup vatandaşın sanal güç tesisi gibi işleyen yani bütün üretimi vatandaşlardan alıp bir araya getirmesiyle meydana gelmiş inovatif bir yapılaşmadır.Vatandaş, şebekenin işletmesini almış ve enerji toplayıcısı haline gelmiştir. Dolayısıyla şebekenin yönetiminde olsun, bakımında olsun, yerelde her anlamda sorumlu hale gelmişlerdir.Kooperatif ile bağlı bulunduğu belediyeler arasında muntazam bir şekilde işleyen doğal bir ortaklık bağı bulunmaktadır. Bu güçlü bağ sayesinde Ecopower Yenilenebilir Enerji Kooperatifi ürettiği yenilebilir enerji ile kendi ortaklarının yıllık tüketimlerini karşılayabilmektedir.

Kooperatif üyeleri kendi elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak için Rüzgar Enerjisi santraline yatırım yapmışlardır. Ecopower, üye sayısı açısından Avrupa'nın REScoop'a üye en büyük kooperatiflerinden biridir.Belçika'nın Flaman bölgesinden yaklaşık 60.000 vatandaşı bir araya getirerek, 24 adet büyük kara rüzgar türbini (3MW üzeri) dahil olmak üzere RES üretim tesislerinin ortak mülkiyetini üstlenmektedir.Bu tesislerin ürettiği yeşil elektrik, Kooperatif üyelerine maliyet fiyatından satılmaktadır.Bu, Ecopower'ın herhangi bir kâr elde etmediği, kendi kendini karşılayan bir hizmet verdiğini gösterir.

Ecopower Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, rüzgar enerjisi yanında REScoop'un oluşturduğu konsorsiyum tarafından yürütülen projeler kapsamında **enerji verimliliğini** ilke edinerek okul binalarının çatılarına güneş panelleri yerleştirerek okul binalarında önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamıştır.

Belçika'dan Ecopower, Ham'da yıllık toplam 40.000 ton odun peleti üretim kapasitesine sahip bir odun peleti fabrikası işletmektedir. Odun peletleri, vatandaşlar tarafından özel evlerini ısıtmak için kullanılmaktadır.Kooperatif, pelet ve briket tedarik etmektedir.Ecopower, atık ısıyı geri dönüştürülmüş odunu kurutmak için kullanarak ve bu hizmeti kooperatif üyelerinin istifadesine sunarak, ayrıca elektrik ve verimlilik danışmanlığı hizmeti sunarak üyelerine eksiksiz bir çözüm sunmaktadır.Kooperatif, 2010 yılından bu yana faaliyet göstermektedir.

Daha az tüketmenin en iyi yolu, enerji faturasını anlamaktır.Üyelerine faturayı basitleştirmek için Ecopower tek bir tarife yapısı kullanmıştır, yani tüketilen elektrik miktarına bakılmaksızın tek bir birim fiyat uygulamaktadır.Bu fiyata vergiler, nakliye maliyetleri ve enerji fiyatları dahildir. Bu önlemin şeffaflığı, vatandaşların enerji faturalarını daha iyi anlamalarına yardımcı olmakta ve üyelerin önemli miktarda enerji tasarrufu yapmalarını sağlamaktadır.

Belçika'daki Ecopower kooperatifi, maliyetleri karşılayan bir hizmet olan Ecotraject'i geliştirdi.Bu yenilikçi programla kooperatif, üyelerine özel evlerinde kapsamlı enerji yenileme çalışmaları konusunda yardımcı olmayı amaçlamaktadır.Program, üyelerin gerçekleştirebilecekleri yenileme çalışmaları hakkında fikir sahibi olmalarını sağlayan çevrimiçi hızlı bir tarama ile başlamaktadır.Üyenin talebi üzerine, kooperatiften bir enerji uzmanı, en etkili önlemlerin ne olabileceğini anlamak için evi kapsamlı bir şekilde incelemektedir.Uzmanlar daha sonra olasılıkları, beklenen yatırımı, enerji tasarruflarını ve geri ödeme süresini listeleyen bir plan hazırlayarak Kooperatif üyeleri ile güvenilir yerel müteahhitler arasında koordine kurmaktadırlar.

Ecopower Flanders'da bulunan yaklaşık 30.000 nüfuslu küçük bir şehir olan Eeklo'da bir bölgesel ısıtma ağı kurmuştur.Şehir 2050 yılına kadar karbonda nötr olmayı hedeflemektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek için önemli bir unsur, Eeklo bölgesindeki atık yakma tesisinde kaybedilen 15 MW'lık kondenser ısısını verimli şekilde kullanmaktır.Planlarını hayata geçirmek için şehir, bölgesel ısıtma sistemi için kamuya ait yeraltı alanını ihaleye çıkarmıştır.
Ortaklar, vatandaşların en az %30 oranında finansal katılımına izin vermeli, 2036 yılına kadar sistemde %100 yeşil ısıya geçmeli ve fosil yakıtlardan elde edilen ısıya benzer bir maliyetle ısı sağlamalıydı.Belçikalı kooperatif Ecopower, atık ve enerji endüstrisi devi Veolia ile işbirliği yaparak ihaleyi kazandı.Belediye, her türlü yerel paydaşı sürece dahil etmek istediğinden, bölgesel ısıtma sistemine bağlı tüm taraflar, bireysel vatandaşlar, KOBİ'ler, okullar, huzurevleri ve hastaneler, projenin sahibi ve işletmecisi olacak kuruluşta ortak yatırım yapma ve söz sahibi olma hakkına sahip.Bu bölgesel ısıtma projesi sayesinde Eeklo, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %40'ın üzerinde azaltacaktır.

Middelgrunden (Danimarka) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Middelgrunden Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, 1999 yılında Danimarka'nın Middelgrunden bölgesinde kurulmuştur.Middelgrunden rüzgar santrali, 40 MW nominal güç kapasitesiye sahip her biri 2 MW gücünde 20 rüzgar türbininden oluşmakta olup 2007 yılında kurulmuştur.Bu büyük rüzgar santralinin yarısı Middelgrunden Yenilenebilir Enerji Kooperatifi tarafından yapılmıştır.Proje, Danimarka'nın açık deniz rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmak için yapılan ilk projelerden biridir.Danimarka, 2050 yılına kadar fosil yakıtlardan ve nükleer enerjiden tamamen bağımsız olmayı hedeflemektedir.

Bugün 150.000'den fazla aile rüzgar enerjisi kooperatiflerinin üyesidir.Middelgrunden Rüzgar Türbini Kooperatifi ve Kopenhag Enerji Rüzgarı tarafından geliştirilen, yirmi adet modern

2 MW rüzgar türbinine sahip 40 MW'lık rüzgar çiftliği, Kopenhag'daki 40.000'den fazla haneye elektrik üretmektedir.

Kopenhag Elektrik Şirketi (CEC), Kopenhag Belediyesi'ne aittir.Sürecin başlangıcında, projenin mülkiyeti konusunda kooperatif ile kamu hizmeti kuruluşu arasında rekabet vardı.İki yıllık müzakereler ve siyasi farklılıkların aşılmasının ardından, ortaklar, kooperatif ve kamu hizmeti kuruluşu arasında bir sözleşme imzalandı.Bu tür bir işbirliği, kamu hizmeti kuruluşu ile kooperatif arasında yapılan ilk anlaşma niteliğindedir.Bu işbirliği, politikacılar, kamuoyu vb. nezdinde projeye güvenilirlik kazandırmıştır.Belediyenin projedeki rolü, yerel parlamentoların projeye olan bağlılığı ve kamu hizmetleri CEC ile işbirliği arasındaki işbirliği şartlarının hazırlanması yoluyla çoğunlukla siyasi olmuştur.

Kopenhag'da bulunan 20x2 MW açık deniz rüzgar türbini kooperatifi Middelgrundens Vindmøllelaug, 8.000'den fazla üyesiyle dünyanın en büyük rüzgar türbini kooperatifi ve son yıllarda kurulan en büyük kooperatif olması nedeniyle Avrupa Güneş Enerjisi Ödülü'ne layık görüldü (Europ, 2000).

Kooperatifin 10.000 üyesi vardır ve bunlar çoğunlukla yerel vatandaşlardır ve her biri nispeten küçük miktarlarda yatırım yapmaktadır.Bu kamu hizmeti tamamen belediyeye aittir ve yerel politikacıların çoğu en başından beri bu kamu hizmetinin katılımını desteklemiştir.Belediyelerden sağlanan bu destek, kamu hizmeti personelinin projedeki birçok zorlu sorunu çözmek için gerekli desteği almasını sağlamıştır.Kamu hizmetinin finansal ve profesyonel yeteneklerine duyulan güven, kamu otoritelerinin yanı sıra genel olarak halkın da proje organizasyonunu kabul etmesine yardımcı olmuştur.Parlamentonun projeyi desteklemesi ve fon sağlaması; kooperatifin 1000 üyesinin güçlü halk desteği ve yerel enerji şirketiyle iş birliğiyle birlikte projenin önünü açmıştır.

CEEO ve kooperatife Çevre ve Enerji Bakanlığı tarafından 5,2 milyon DKK (699.000 EUR) hibe verildi.Hibenin amacı, sığ su rüzgar enerjisi geliştirmeyle ilgili teknik ve çevresel konuları araştırmak ve kooperatif mülkiyetindeki açık deniz rüzgar santrallerinin organizasyonel ve ekonomik olarak

uygulanabilirliğini kanıtlamaktı.Danimarka Enerji Ajansı, yetkililer ve çıkar gruplarını da içeren doğrudan bir duruşma düzenlemiştir.

Genel olarak, tüm kuşlar rüzgar türbinlerinden etkilenir ve bazı durumlarda, rüzgar türbinlerinin kurulmasıyla bağlantılı olarak yerel üreyen kuş popülasyonları azalmıştır.Ancak, Middelgrunden'de üreyen kuşlar bulunmadığından planlanan rüzgar santralinin kuşlar için önemli bir tehdit oluşturmadığı sonucuna varılmıştır.Middelgrunden Rüzgar Çiftliği, balıkçılığı olumsuz etkilememekte ve çevreye önemli bir zararı bulunmamaktadır.

Resim 1. Middlegrunden'daki Rüzgar Çiftliği



Eylül 1999'da, kurulması planlanan Kopenhag yakınlarındaki Middelgrunden bölgesinde rüzgar santralinin bölgedeki flora ve fauna üzerindeki etkisinin araştırılması maksadıyla bir dalış araştırması gerçekleştirilmiştir.Yapılan araştırmalara istinaden rüzgar santralinin kurulmasının Middelgrunden'deki deniz bitki örtüsü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı kanaatine varılmıştır.Rüzgar santrali, 12,5 km yarıçaplı bir yay şeklinde düzenlenmiştir. Middelgrunden'deki rüzgar santrali, ortalama bir yılda 80 milyon kWh elektrik üretmektedir.Bu değer, Kopenhag şehrinin elektrik tüketiminin %3'ünden biraz fazlasına karşılık gelmektedir.

Resim 2. Rüzgar Türbini Kanatlarının Montaj Faaliyeti



Yerel elektrik üretimi sayesinde şebeke kayıpları en aza indirilmektedir. Danimarka'da ortalama şebeke kaybı elektrik üretiminin %9'u kadardır ve bazı ülkelerde bu oran %17'ye kadar çıkmaktadır. Middelgrunden rüzgar çiftliğindeki kayıp %2,7 olarak ölçülmüştür; kıyıya giden kablo ve dağıtım dahil kayıp %5'in altındadır.

Courant d'Air (Belçika) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Belçika'nın doğusunda faaliyet gösteren Courant d'Air Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, 2009 yılında kurulmuş olup rüzgar, güneş, hidroelektrik ve biyokütle sektörlerinde yenilenebilir enerji üretim projeleri yürütmektedir.REScoop Tüzüğü'ne uygun olarak, Courant d'Air evrensel kooperatif ilkelerini uygulamakta, yerel paydaşların elinde demokratik bir enerji geçişine bağlı kalmakta ve ortak çıkarlar doğrultusunda misyonlar yürütmektedir.Kooperatif ayrıca enerji tasarrufuna da aktif olarak yatırım yapmaktadır.

Courant d'Air (Belçika), ilkokul çocuklarını gerçek enerji uzmanları haline getirmek ve sınıflarda enerji tasarrufu sağlamak için eğiten "Sıfır Watt Üretimi" adlı bir programı başarıyla geliştirdi.Çocuklara enerji denetimi yapma, yenilenebilir enerjinin faydaları ve enerji tasarrufu yapma yöntemleri öğretiliyor.Sıfır Watt Üretimi programı, Belçika'da oldukça etkili oldu ve yerel okulların %25'e varan oranda enerji tasarrufu yapmasına yardımcı oldu (Programme, 2020).

Kooperatif, edindiği beceriler sayesinde, rüzgar enerjisi ve enerjinin rasyonel kullanımı da dahil olmak üzere enerji konularında vatandaşları ve belediyeleri bilgilendirmektedir.Courant d'Air, Waimes belediyesindeki dört okulun çatısına dört adet fotovoltaik sistem kurarak okulların tükettiği elektriğin %80'inin üretilmesini sağlamıştır.Geri kalan %20'lik kısım ise belediye tarafından gerçekleştirilen enerji dönüşümleri ve akıllı enerji kullanımı yoluyla tasarruf edilmekte ve her okulun bağımsız olarak çalışmasına olanak tanımaktadır.

Vizyon: Yarının enerji sistemine dair vizyon, enerji tüketiminde ölçülülük ve verimlilik ilkelerinin uygulanması sayesinde tüketimin azaltılması ve bu tüketimi karşılamak için, bölgelerin dengeli bir şekilde gelişmesi çerçevesinde, yenilenebilir enerjilere dayalı üretimin tamamen sağlanması ve her insan topluluğunun aktif katılımıyla mevcut ve gelecek nesiller arasında, ilgili bölgedeki herkesin enerjiye erişimini sağlayan gerçek bir kamu hizmeti ruhuyla ve uluslararası enerji dayanışmasını da entegre ederek gerçekleştirmektir.

Misyon: enerji verimliliği ve tasarruf yoluyla enerji tüketiminin azaltılmasını teşvik etmek, kooperatifin misyonlarından biridir.Kooperatif, enerji geçişinin zorluklarıyla başa çıkmak için şu iki unsurun hayati önem taşıdığına inanmaktadır; enerji bağımsızlığı kazanmak ve özellikle daha az malzeme kullanarak çevreyi korumak.Bu amaç doğrultusunda tüm bölgelerde vatandaş projelerinin ortaya çıkmasını desteklemektedirler.

Hedef: kâr amacından ziyade üyelere veya topluma hizmet etmektir.Yönetim özerkliği ilkesiyle hareket edilen kooperatifte; gelir dağıtımında sermaye yerine halkın ve emeğin öncelikli olması "Demokratik karar alma stratejisinin" uygulandığını göstermektedir.Bilgilendirme ve farkındalık yaratmanın yanı sıra okullarda eğitim faaliyetleri de hedefleri arasındadır.

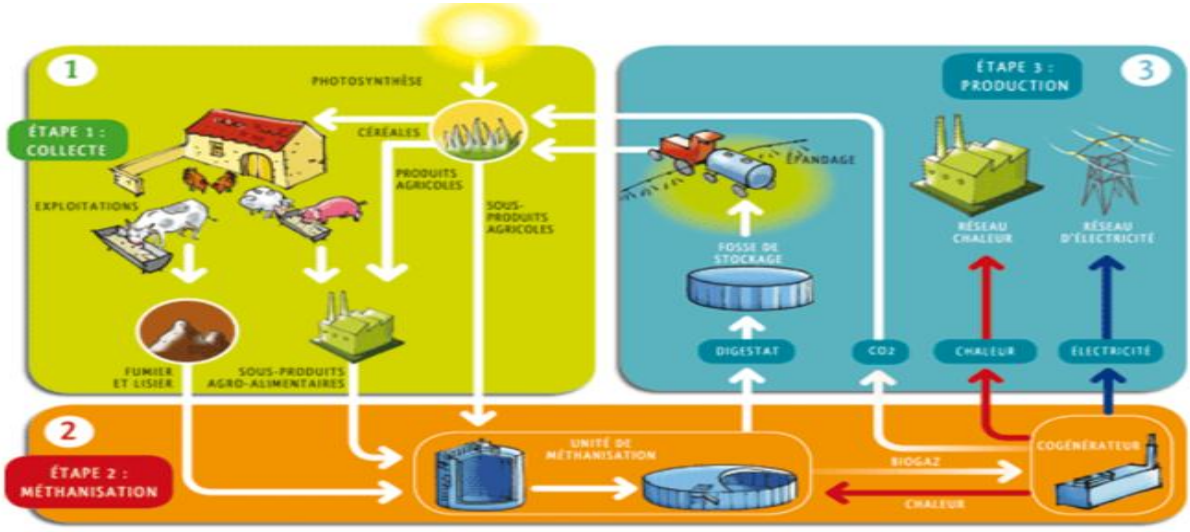
Çalışma Prensibi: en az bir hisse satın alarak kooperatif üyesi olmaktır.Bu para, mevzuatta yer alan yenilenebilir enerji üretim araçları ve projelerinin finansmanında kullanılmaktadır.Genel kurul toplantısında, hazır bulunan tüm üyeler kooperatifin önemli kararları hakkında oy kullanır.Her tür proje, kooperatifin tüzüğünde tanımlanan faaliyetlere uygun olarak yürütülür.Yıllık bilançoya bağlı olarak, her kooperatif üyesine hisselerinin değerinin %6'sına kadar temettü dağıtır.2011 yılından itibaren her yıl düzenli temettü ödenmiştir.

Resim 3. Bina Çatılarına Kurulan Güneş Panelleri



Émissions Zéro'nun (Sıfır Emisyon projesinin) ortak olduğu tesislerde 2025 yılında elektrik üretimi yıllık 34,5 GWh'ye ulaşmıştır.Elde edilen bu elektrik enerjisi 10.000 hanenin tüketimine (ortalama 3.500 kWh/yıl) denk gelmektedir.Bu değerin elde edilmesi kooperatifin imkan ve kabiliyetlerinin ileri seviyede olduğunu, alanında çok geliştiğini göstermektedir.Aynı zamanda kooperatif, kojenerasyon ve odun talaşı kazanı aracılığıyla yılda 6 GWh'den fazla ısı da üretmektedir.

Şekil 1. Biyometanizasyon



Valonya'da rüzgar ve güneş enerjisi gibi kesintili enerji kaynaklarının geliştirilmesi, elektrik şebekesini dengelemek için sürekli bir enerji kaynağı gerektirmektedir.Yılda 8.200 saat kesintisiz çalışan tarımsal biyometanizasyon, bu zorluğun üstesinden gelmektedir.Ochain Energy biyometanizasyon tesisi, iki adet 600 kW'lık motor sayesinde 2200 hanenin ihtiyacına eşdeğer yenilenebilir elektrik üretiyor.Bu sayede 7.000 tondan fazla CO2 eşdeğeri emisyonu önlemektedir.

Resim 4. Valon Bölgesinde Zero Emissions Tarafından Desteklenen Üretim Birimleri (Biyokütle, Rüzgar, Hidroelektrik ve Güneş panelleri)



Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2030 yılına kadar yılda yaklaşık 1.000 TWh'lık bir büyüme öngörüyor ve bu artışın 600 TWh'ından fazlasını güneş fotovoltaik enerjisi oluşturmaktadır.Courant d'Air, 17 Ocak 2017'de Eupen'de "Yenilenebilir Enerjiler–Her Zamankinden Daha Önemli!" başlıklı bölgeler arası bir sempozyum düzenledi.Bu sempozyum, paydaşların enerji geçişindeki gelişmeleri anlamalarına, kalan şüpheleri gidermelerine ve her şeyden önemlisi, yerel aktörler için fırsatları değerlendirmelerine yardımcı olmak amacıyla düzenlenmiştir.

Sempozyumda, Yenilenebilir enerjilerin önemi, uluslararası alanda tanınmış bilim uzmanlarının katılımıyla, toplum, teknoloji, ekonomi ve çevre temelleri çerçevesinde ele alındı.Kopenhag'daki Aalborg Üniversitesi'nde profesör ve Sürdürülebilir Enerji Planlama araştırma birimi direktörü Henrik Lund, Avrupa'da 2050 yılına kadar %100 yenilenebilir enerjiye geçişin teknik ve ekonomik fizibilitesini sunmuş, "akıllı bir enerji sisteminin" elektrik tedarikine ek olarak ısı üretimi, ulaşım ve endüstriyel gelişmenin eş zamanlı planlamasını entegre ettiğini ve bunun %100 yenilenebilir enerjiye maliyet etkin bir geçişin anahtarı olduğunu açıklamıştır.

Resim 5. Courant d'Air tarafından Eupen'de 17 Ocak 2017 tarihinde düzenlenen "Yenilenebilir Enerjiler-Her Zamankinden Daha Önemli" Başlıklı Sempozyum



Enercoop (Fransa) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

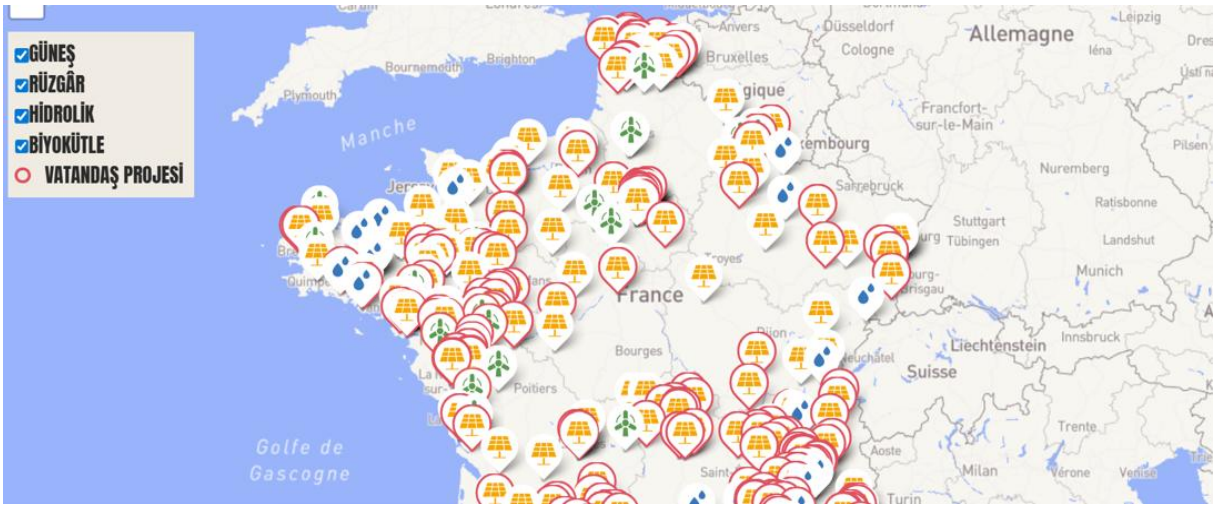
Enercoop, Fransa'da yaklaşık 20 yıldır yerel, vatandaş odaklı, dayanışma temelli bir enerji dönüşümünü savunan 11 kooperatiften ve 524 yenilenebilir elektrik üreticisinden oluşan bir ağdır.Yerel topluluklarla yakın işbirliği içinde çalışarak Sosyal ve Dayanışma Ekonomisi değerlerine uygun olarak, enerji verimliliğini, tasarrufu, ekonomik kalkınmayı ve dayanışmayı teşvik eden yenilenebilir enerji ve hizmetlerin üretimi ile tedariği yoluyla harekete geçmektedir.Enercoop'ta elektrik; su, güneş, rüzgar veya biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir.Enercoop ağı ve ortakları, yerel sorunlarla doğrudan ilgilenmektedir.

Kooperatifin amacı; Piémont Cévenol Bölgesi ve çevresindeki alanlarda yenilenebilir enerji üretim tesisleri geliştirmek ve yerel halk arasında enerji geçişi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji ile ilgili konularda farkındalık yaratmaktır.Enercoop ağı, güneş enerjisi projelerine giderek daha fazla yönelen profesyonellerin ve toplulukların ihtiyaçlarını karşılayarak enerji dönüşümünü hızlandırmayı amaçlamaktadır.Kooperatifin prensibi ise adil ve eşit bir enerji fiyatı için işbirliği yapmaktır.

2024 yılında kooperatifin müşterileri 573 GWh tüketmiş ve üreticilerden doğrudan 606 GWh satın alınmıştır.Üreticilerden müşterilerin tükettiğinden daha fazla elektrik satın alındığı için, %100 doğrudan sözleşme sözü fazlasıyla yerine getirilmiştir.Bu başarı kooperatifin istikrarlı çalıştığını ve üyelerine bağlı olduğunu göstermektedir.2024 yılında Enercoop'a elektrik sağlayan 524 üretim tesisinden 402'si vatandaş veya topluluk projeleridir.Dolayısıyla tesislerin üçte ikisi yerel paydaşlara aittir.Avrupa elektrik piyasasını yöneten kuruluş EEX, 2024 yılı için Fransız elektrik karışımının kWh başına 1,83 mg radyoaktif atık ürettiğini açıkladı.Enercoop'un ürettiği her bir kWh tamamen nükleer enerjiden arındırıldığı için, tedarik modelimiz 1,1 ton radyoaktif atığın üretilmesini engelleyerek çevreye ve insan sağlığına yol açabilecek büyük bir zararı engellemiştir.

Şirketin kârının önemli bir kısmı, okullarla ortaklaşa yürütülen, enerji geçişine odaklanan yerel dernekleri ve topluluk eğitim projelerini desteklemeye ayrılmaktadır.Bu proje, Sosyal ve Dayanışma Ekonomisi (SSE) değerlerine dayanmaktadır.Gelişimi ve başarısı, yerel vatandaşların katılımına bağlıdır.Kooperatif, gönüllü vatandaşlar tarafından yönetilmektedir.Sermayesi, 90'dan fazla vatandaşın, yerel yönetimlerin, derneklerin ve işletmelerin tasarruflarından oluşmaktadır.

Şekil 2. Fransa'da Yenilenebilir Enerji Kaynağı Çeşitlerinin Bölgesel Dağılımı



700'den fazla vatandaşın desteğiyle 2014 yılında tamamlanan Bégawatts'ın dört rüzgar türbini, Fransa'daki ilk topluluk mülkiyetindeki rüzgar enerjisi santrali kabul edilmiştir.Bu santral, 6.300 kişinin elektrik tüketimine eşdeğer enerji üretmektedir.

ECL SAS, Durfort ve Saint-Martin-de-Sossenac belediyelerinde, eski belediye çöplüğünün bulunduğu alanda, yere monte edilmiş bir fotovoltaik parkın inşaatına başlanmıştır.Bu büyük ölçekli proje, %100 yenilenebilir enerji sağlayan bağımsız bir elektrik tedarikçisi olan ENERCOOP, Bölge Konseyi ve ADEME (Fransız Ekolojik Geçiş Ajansı) tarafından desteklenmektedir.Bu sayede Enercoop kooperatifi kullanım dışı olan çöplüklerden yenilenebilir enerji üreterek çöplükleri yeşil enerjiye dönüştürmüştür.

"Daha Çok Eylem, Daha Az Watt" yaklaşımıyla enerji tüketiminizi analiz etmenize, para tasarrufuna, güneş panelleri kurmanıza, evinizi ya da iş yerinizi yenilemenize yardımcı olarak enerji verimliliğine yönlendirmektedir.Enercoop Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, %100 doğrudan sözleşmeye dayalı yenilenebilir elektrik tedariki garantisi sunan tek ulusal kooperatif tedarikçisidir.Enercoop'a katılarak, tüketiciler piyasadaki standart bir arza kıyasla MWh başına 11 kg CO_2 eşdeğerini azaltmaya yardımcı olmuşlardır.Elde edilen tüm elektrik sayesinde 6.131,1 ton CO_2 eşdeğerinde bir azalma sağlanmıştır.Bu miktar, Dünya'nın etrafında 1.580 kez araba ile dolaşmakla eşdeğerdir.

Belediye, Yenilenebilir enerjilerin gelişimini hızlandırabilen veya yavaşlatabilen bir aktördür.Kamu arazileriyle ilgili olarak; arazi veya çatıların kullanıma sunulup sunulmayacağına karar vererek belediye meclisi ve belediye başkanı, kentsel planlama konularında yetkiye sahiptir.Rüzgar enerjisi santrali projeleri için türbin kanatlarını taşımak amacıyla belediye yollarının kullanılması gerekmekte olup bunun için de geliştiricilerin belediyeden izin almaları gerekmektedir.Sonuç olarak, belediyelerin yenilenebilir enerjinin gelişimini etkilemede yerel düzeyde çok önemli bir rolü vardır.

Enercoop Languedoc-Roussillon, Qualiopi sertifikalı bir eğitim kuruluşudur.2005 yılından beri enerji dönüşümüne, Sosyal ve Dayanışma Ekonomisine kendini adamış kooperatifler ağının bir üyesi olan Enercoop; Languedoc-Roussillon, Qualiopi sertifikalı kalite standartlarına bağlı kalarak profesyoneller, kamu kuruluşları ve bireyler için eğitimler sunmaktadır.Enercoop tarafından yürütülen sertifikalı eğitimler kapsamında; Ales Maden Okulu ile 2012'den itibaren genç mühendislere teknik konularda (biyokütle, rüzgar, fotovoltaik) ve proje geliştirme (finansal analiz) alanlarında fizibilite çalışmasından en iyi projeyi tasarlamaya, proje yönetimi desteğinden şartnamelerin yazılmasına ve montajcıların seçilmesine kadar eğitim verilmektedir.Enercoop, RGE Studies (Tanınmış Çevre Garantörü) yeterliliğini elde etmiştir.Bu avantaj, müşteri ve ortaklara koooperatif çalışmalarının kalitesini ve profesyonelliğini garanti etmekle beraber Enercoop Yenilenebilir Enerji Kooperatifi'nin alanında çok ileri düzeyde olduğunu göstermektedir.

Enercoop Sektörde öncü ve özel bir yönetim yazılımı geliştirmiştir.Elocoop, düzenleyici tüzel kişiliğe, üreticilere ve tüketicilere, her birinin rolüne göre görselleştirme eşliğinde, toplu öz tüketim işlemlerinin yönetimi için gerekli tüm eylemleri ve takibi gerçekleştirme olanağı sunar.Enerji ve sosyal dönüşüme hizmet eden açık kaynaklı bir yazılımdır.Elocoop, ekolojik ve dayanışma dönüşümüne hizmet eden, kolektif çıkarları hedefleyen dijital bir araçtır.

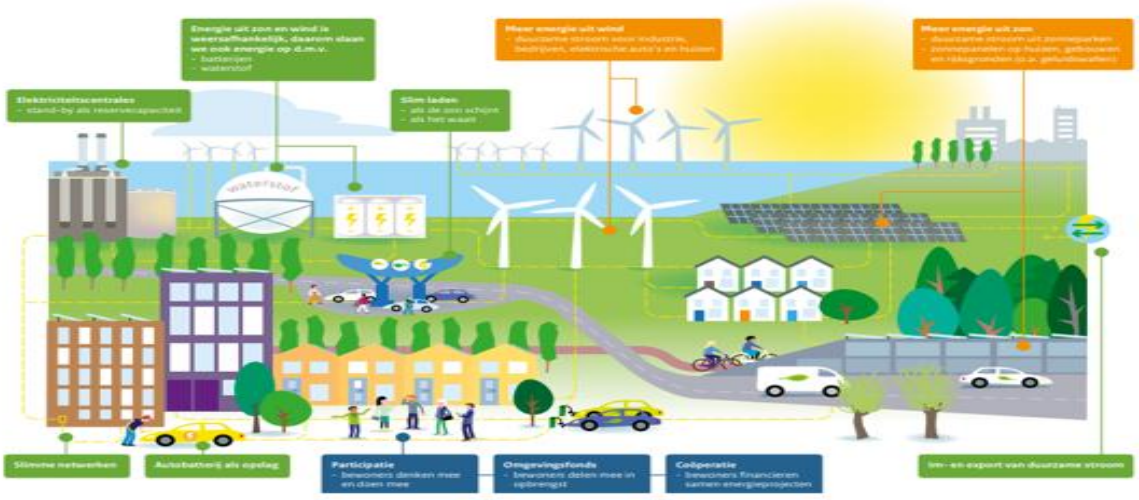
Elocoop, elektriğin kısa, sürdürülebilir ve etik bir devre üzerinden paylaşılmasına olanak tanımaktadır.Bu sayede Enercoop Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, Enterkonnekte Şebekenin tesis edilmesine ve kesintisiz enerjiyi sağlayarak amacına ulaşmasına hizmet etmektedir.Enerji toplulukları yerel ekonomiyi canlandırır, enerji geçişiyle elde edilen gelirlerin daha adil dağılımını sağlar ve enerji sistemi içindeki kontrol ve seçimleri demokratikleştirir.

Enerji geçişi, yerel paydaşların aktif katılımı olmadan gerçekleşemez.Elocoop, bu geçişi kolaylaştırmak için bir başka yapı taşıdır.Elocoop, ekolojik ve sosyal dönüşüme hizmet eden, kolektif çıkarlara yönelik dijital bir platformdur.Elocoop, hem kolektif öz tüketim için kurulan ilk yer üstü güneş enerjisi parkı (250 kWp, çeşitli profillere sahip yaklaşık 10 katılımcı) hem de Ariege'deki Appy köyünün enerji topluluğu (15 hane ve topluluk) tarafından kullanılmaktadır.

Zeeeuwind (Hollanda) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Hollanda'da 600.000'den fazla hane enerji yoksulluğuyla karşı karşıya.Enerji faturaları o kadar yüksek ki, ödemeye yetecek gelirleri yok.Ödeme sorunlarından kaçınmak için genellikle aşırı önlemler almak zorunda kalıyorlar.Bazı insanlar kaloriferleri kapatmayı, içeride kalın kışlık giysiler giymeyi ve daha az duş almayı tercih ediyor.Energiek Zeeland'daki enerji koçları da bu tür vahim durumlarla karşılaşıyor.Amaç, her hanenin kendi ürettiği elektriği mümkün olduğunca kullanması ve şebeke üzerindeki yükü en aza indirmektir; bu en sürdürülebilir yaklaşımdır.Zeeuwind, güvenilir ve kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olarak görülüyor.

Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Yaşam Döngüsüne Katkıları



Zeeland Yenilenebilir Enerji Projesi, Zeeland'ın yaklaşık 10,5 Petajoule olan tüm elektrik ihtiyacını 2030 yılına kadar rüzgar, güneş ve hidroelektrik enerjisi kullanarak sürdürülebilir bir şekilde üretmeyi hedefliyor.Zeeuwind Kooperatifi ve Deltawind Kooperatifi'nin 5.000'den fazla üyesi, Krammer Rüzgar Çiftliği'ndeki 34 rüzgar türbininin hayata geçirilmesini mümkün kılmıştır.Zeeland eyaleti, 2018 çevre planında, bölgedeki güneş ve rüzgar enerjisiyle 2030 yılına kadar Zeeland'ın elektrik ihtiyacının tamamını karşılamayı hedeflediğini belirtmiş ve Terneuzen belediyesinden bu araştırmaya katılmasını istemiştir.Zeeuwsestroom, MyBit ile iş birliği yaparak, enerji tüketiminizi gerçek zamanlı olarak görüntülemenizi ve bu tüketimle ilişkili maliyetleri takip etmenizi sağlayan kullanışlı bir uygulama geliştirmiştir.

Zeuwind'den yeşil enerji satın alarak, CO2 ayak izimizi yaklaşık %35 oranında azaltıyoruz.Eski çöp depolama alanına kurulan 10.000 panel, yılda yaklaşık 3.500 megawatt-saat enerji üretiyor.Bu miktar, Koudekerke'deki hanelerin ihtiyaç duyduğunun yaklaşık yarısına karşılık gelmektedir.Kooperatif köyü tamamen enerji açısından nötr hale getirmeyi hedeflemektedir.

Kooperatif sektörü 380.000 haneye enerji sağlıyor, bu da Hollanda'daki tüm hanelerin yüzde beşine denk geliyor.Bir otomobil aküsü, yaklaşık 50 kWh, beş hanenin günlük kullanımına eşdeğerdir.Hollanda İklim Anlaşması, sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar yarıya indirmeyi ve 2050 yılına kadar neredeyse sıfıra indirmeyi hedefliyor.

Elektrizitätswerke Schönau (EWS)-Almanya Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Ocak 1994'te, Schönau Elektrik İşleri (EWS) kuruldu; bir buçuk yıl sonra, belediye meclisi yeni bir çoğunlukla EWS'ye gelecekteki elektrik imtiyazını verme kararı aldı.Ana şirket EWS Elektrizitätswerke Schönau eG, 18 Eylül 2009 tarihinde kurulmuştur.Kooperatifin iş amacı, kâr maksimizasyonu değil, üyelerinin ilerlemesidir.Almanya'nın toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin payı, elverişli rüzgar koşulları ve kurulu kapasitedeki artış sayesinde 2023 yılında %44,1'den %53,0'a yükseldi.Böylece 2023, neredeyse her ay yenilenebilir enerji kaynaklarından geleneksel enerji kaynaklarından daha fazla elektrik üretildiği ilk yıl oldu. Yenilenebilir kaynaklardan toplam 272,4 milyar kWh elektrik üretilmiştir.

Tüm kooperatiflerin ortak noktası, enerji tedarikinde merkezi olmayan bir yapı oluşturma ve kendi kendine yeterlilik ve bağımsızlık arayışıdır.Almanya'da tüm iş sektörlerinde yaklaşık 8.000 kooperatif bulunmakta olup, 22 milyondan fazla üyesi ve bir milyon çalışanı vardır;

bu da kooperatif sektörünü üye sayısı bakımından Almanya'daki en büyük ekonomik kuruluş yapmaktadır.Kooperatifler, sosyal açıdan giderek daha önemli hale gelmektedir.

Tedarik güvenliği açısından Almanya, uluslararası karşılaştırmada lider konumdadır.EWS, Almanya'nın kuzeyinden güneyine kadar çatıların elektrik üretimi için sunduğu potansiyeli ve bu potansiyelin nasıl kullanılabileceğini belirlemek üzere Energy Brainpool adlı analiz firmasının enerji uzmanlarını görevlendirdi.2020 yılında, 732 fotovoltaik finansman başvurusu onaylanmış ve yaklaşık 7.600 kWp güneş enerjisi üretim kapasitesi sağlanmıştır.

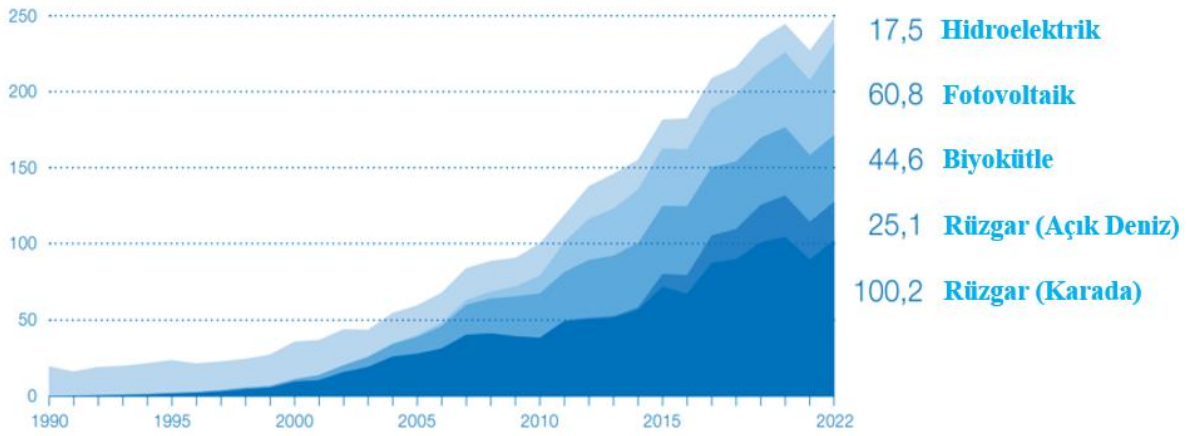
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası'nın (EEG) yürürlüğe girmesinden bu yana, Almanya'da toplam elektrik tüketiminde (brüt elektrik tüketimi) yenilenebilir enerjilerin payı 2000 yılında %6,5'ten 2020 yılında %45,5'e yükselmiştir.2030 yılına kadar Almanya'da tüketilen elektriğin %65'inin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması hedeflenmektedir.

Önceki yıllarda olduğu gibi, EWS Grubu çalışanlarını özel emeklilik planlarına katkılarla desteklemektedir.2014 yılından bu yana, EWS Grubu, Concordia oeco Lebensversicherungs-AG aracılığıyla tüm çalışanlar için ek bir şirket emeklilik planı sunmaktadır.Ayrıca şirket bisikletlerinin ve toplu taşıma biletlerinin kullanımını da teşvik etmektedir.Sonuç olarak, diğer Avrupa ülkelerindeki ortalama ücretli bir kişi, bir kWh elektriği karşılayabilmek için Almanya'dakinden üç kat daha uzun süre çalışmak zorundadır.Çevresel açıdan bakıldığında, elektrik müşterilerimizin düşük tüketimi olumlu bir gelişmedir ve bizim tarafımızdan memnuniyetle karşılanmaktadır, çünkü tüketilmeyen her kWh'nin üretilmesi, taşınması ve dağıtılması gerekmez; bu da onu en çevre dostu ve maliyet etkin kWh yapar.

EWS'nin temel değerlerine ve mevcut koşullara uygun olarak, “We Save That” sloganıyla büyük bir enerji tasarrufu kampanyası başlattık.Kampanyanın amacı, insanları enerji tasarrufu yapmaya teşvik ederken aynı zamanda enerji yoksulluğundan etkilenenleri desteklemekti.

Şu anda kooperatifin 13.000'den fazla üyesi var.Aşağı Saksonya'da Schönau havası: Mayıs ayında Thomasburg'da, 12.000 haneye elektrik sağlayan yeni bir EWS rüzgar santrali, bir topluluk festivaliyle hizmete açıldı.

Grafik 1. Almanya'da 1990-2022 Yılları Arasında Yenilenebilir Enerjilerden Elde Edilen Brüt Elektrik Üretimi (TWh cinsinden)



Rüzgar ve güneş enerjisi teknolojileri, Almanya'daki yenilenebilir elektriğin %75'ini karşılıyor.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası'nın (EEG) yürürlüğe girmesinden bu yana, Almanya'da toplam elektrik tüketiminde (brüt elektrik tüketimi) yenilenebilir enerjilerin payı 2000 yılında %6,5'ten 2023 yılında %53'e yükselmiştir.2030 yılına kadar Almanya'da tüketilen elektriğin %80'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir.31 Aralık 2023 tarihi itibarıyla kooperatif üye sayısı 13.130'dur.EWS Grubu'nun gelişimi öncelikle enerji sektörünün siyasi ve rekabetçi çerçevesinden etkilenmektedir.30 Haziran 2024 itibarıyla grup yaklaşık 190.000 elektrik ve 13.000 doğalgaz müşterisine hizmet vermektedir. 2030 yılına kadar Almanya'da tüketilen elektriğin %80'inin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması hedeflenmektedir.

Som Energia (İspanya) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

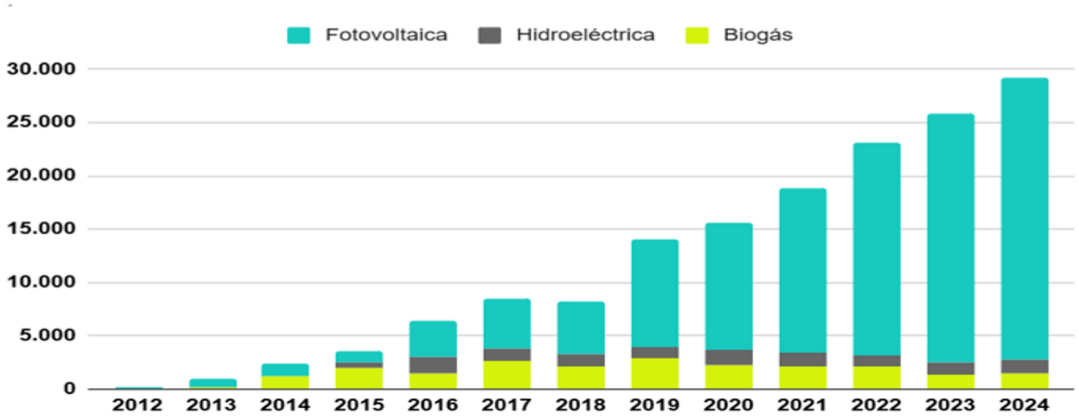
Som Energia, 2010 yılında Girona Üniversitesi'nden bir grup eski öğrenci ve akademisyenin, fosil yakıtlara alternatif bulmak maksadıyla bir araya geldiği 350 üye ve 3 çalışan ile kurulmuştur.Bu fikir, Belçika'daki Ecopower ve Fransa'daki Enercoop gibi Avrupa'daki başarılı kooperatif modellerinden esinlenerek geliştirilmiştir.Kooperatifin kurulmasındaki amaç, adil bir fiyata %100 yenilenebilir enerji sağlayarak mevcut enerji modelini dönüştürmek, yeşil enerji üretebilen, ticarileştirebilen, aynı zamanda kirletici enerji sistemlerinden ve nükleer enerji modelinden yeşil ve yenilenebilir enerjiye geçişe katkıda bulunan yerel kâr amacı gütmeyen ve büyük şirketlerin hegemonyasını kırabilen bir enerji kooperatifini başlatmaktı.

Som Energia, bir üniversite projesi olarak başladığı ilk yıllardan itibaren topluluk tarafından desteklenen ve tüm İspanya'ya yayılan bir yenilenebilir enerji kooperatifi haline gelmiştir.Bugün kooperatif, hem tüketimde hem de üretimde aktif olarak enerji modelini demokratikleştirmeye ve sürdürülebilir enerjiye geçişi hızlandırmaya çalışmaktadır.Som Energia Yenilenebilir Enerji Koooperatifinin misyonu, enerji modelini dönüştürerek gücü halkın eline vermektir.Kooperatif kısa zamanda gelişmiş, kendisini ileri seviyelere taşımıştır.

Som Energia (İspanya) Yenilenebilir Enerji Kooperatifinin Gelişim Süreci

Koooperatif sekiz yıl sonra yaklaşık 55.000 üyeye, 90.000 elektrik sözleşmesi ve 70 kişinin oluşturduğu bir kadroya ulaşmıştır.Asıl amaç, kooperatifin üye sayısını arttırmak değil, iyi bir iş yapmak ve üyeleri mutlu ve gururlu kılmaktır.Kooperatif, "Hayat güneşte, rüzgarda, doğanın bize sunduklarında" ilkesini prensip edinmiştir.Som Energia Yenilenebilir Enerji Kooperatifine bağlı ekip mühendislik, iletişim, hukuk, pazarlama ve daha birçok alandan profesyonellerden oluşmaktadır.Kooperatifin iç işleyişi bir şirketinkine benzer, ancak salt ekonomik kaygıların ötesine geçen ilkelerle hareket edilir ve önemli kararlar kolektif olarak alınır.Kooperatif yılda 11.862.500 kWh/yıl elektrik üretmektedir.Som Energia Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, özellikle fotovoltaik, rüzgar enerjisi ve küçük ölçekli hidroelektrik alanlarında yenilenebilir enerji üretim projeleri geliştirmek için çalışmaktadır.

Grafik 2. Tescilli Üretim (MWh/Yıl)



Som Energia, 2012'den 2024'e kadar 162.004 MWh üretim yapmıştır.Eğer bir İspanyol hanesinin yılda 3.000 kWh elektrik tükettiğini varsayarsak, üretilen elektrik yaklaşık 54.000 hanenin bir yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilir.2012'den 2024'e kadar 26.469,59 ton CO_2'nin çevreye yayılması önlenmiştir.Bu CO_2 miktarı yaklaşık 1.323.479 ağaç tarafından bir yılda emilebilir.Bu sayede kooperatif, büyük bir çevre kirliliğini önlemiştir.Kooperatif elde ettiği kârı en büyük ofislerdeki insanlara dağıtmak yerine, yeni yenilenebilir enerji santrallerine yeniden yatırmaktadır.Bugüne kadar 86.000'den fazla insan Som Energia'ya katılmıştır.

İspanya uzun yıllar boyunca yenilenebilir enerjiye yönelik çelişkili politikalar uyguladı."Güneş Vergisi" özellikle 2010'lu yıllarda kendi enerjisini üreten tüketicilere ek maliyetler getirdi.Bu durum topluluk temelli üretim projelerinin önünü kısmen kesti.Küçük üreticiler için bürokrasi yükü arttı.Bu politika daha sonra kaldırıldı ancak ilk yıllarda büyümeyi zorlaştırdı.Elektrik Piyasası Fiyat Dalgalanmaları Avrupa enerji krizi (özellikle 2021–2022) toptan elektrik fiyatlarını ciddi şekilde artırdı.Kooperatif, üyelerini korumaya çalışırken finansal dengeyi sağlamakta zorlandı.Fiyat istikrarı sağlamak için risk yönetimi mekanizmalarını geliştirmek zorunda kaldı.

Som Energia, 2011 Ekim ayında Katalonya'da yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik satmaya başlayan ilk enerji tedarikçisi oldu.2012 yılında, ilk büyük yatırım kampanyası açıldı; yaklaşık 3,5 milyon € sermaye toplandı.Kooperatifin ilk kendi üretim projeleri için fon oluşturuldu.Ardından gelen yıllarda, fosil yakıt temelli enerji piyasasına alternatif olarak yüzde 100 yenilenebilir elektrik tüketimi hedefiyle hizmet alanı genişledi.Bu dönemde kooperatif, yüzlerce yerel gruba yayılarak İspanya'nın farklı bölgelerinde tanındı ve büyüdü. Ardından gelen yıllarda, fosil yakıt temelli enerji piyasasına alternatif olarak yüzde 100 yenilenebilir elektrik tüketimi hedefiyle hizmet alanı genişledi.Bu dönemde kooperatif, yüzlerce yerel gruba yayılarak İspanya'nın farklı bölgelerinde tanındı ve büyüdü.2016 yılında "Generation kWh" kampanyası sayesinde topluluk finansmanıyla kurulan ilk güneş tarlası faaliyet göstermeye başladı ve binlerce konuta enerji sağladı.Kooperatif yalnızca tedarikçi değil, kendi

yenilenebilir enerji üretim projeleriyle de etki alanını genişletti; fotovoltaik güneş, biyogaz ve diğer yenilenebilir kaynaklara yatırım yaptı.Üyelik sayısı hızla arttı ve İspanya genelinde on binlerce ortak ile yüz binlerce sözleşme yapılmaya başlandı.

Coopérnico (Portekiz) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi

Coopérnico yenilebilir enerji kooperatifi, kurucu Nuno Brito'nun küçük bir güneş enerjisi santraline yatırım yapmak için 16 vatandaşı bir araya getirmesiyle 2013 yılında kurulmuştur.Kurulduğu günden bu yana giderek daha çok kişi kooperatifin faaliyetlerine ve yönetimine katılmış ve gelinen noktada ortak sayısı 2.200'e ulaşmıştır.%100 yenilebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan ve tüm ülkeye rekabetçi fiyatlarla elektrik satan kooperatif, Portekiz'in ilk yenilenebilir enerji kooperatifidir.Yeni bir sosyal, ekonomik ve çevresel paradigmanın oluşturulmasına bireylerin katılımını destekleyen bir kooperatif olan Coopérnico REScoop üyesidir.Şimdi 2.200'den fazla üyesi bulunan kooperatif, 32 fotovoltaik sisteme 1,85 milyon Euro'dan fazla yatırım yapmış olup, toplam kurulu gücü yaklaşık 2,1 MWp ve yıllık üretimi 3.200 MWh'dir.

Coopérnico güneş enerjisi temelli üretim yapan bir yenilenebilir enerji kooperatifidir.Portekiz, güneş enerjisi bakımından zengin bir ülkedir. İlk elektrik enerjisi üretim tesisi, bir grup arkadaşın Quinta do Caracol'da fotovoltaik üretim girişimi başlattığı Algarve bölgesindeydi.Şu anda Coopérnico üç ana alana odaklanmış durumda: yenilenebilir enerji üretimi, enerji ticareti ve üyelerine enerji verimliliği konusunda destek sağlamak.Kooperatifin misyonu şu dört noktayı içeriyor:

- %100 yenilenebilir enerji: Tüm elektrik yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilir.

- Sosyal değer yaratma: Tüm üretim projeleri, sosyal ekonomi içinde faaliyet gösteren kuruluşlarla yakın işbirliği veya gelir paylaşımı yoluyla sosyal değer yaratır.

- Yerel ekonominin geliştirilmesi: Yeni bir proje geliştirilirken yerel ortaklarla çalışmaya öncelik verilir.Bu, yerel istihdam yaratır ve sürdürülebilir bir ekonomiye geçişi teşvik eder.

- Dürüstlük ve şeffaflık: Coopérnico, kalıcı ve güvene dayalı ilişkiler kurmak için bu değerlere dayanarak faaliyet gösterir.Kooperatifin faaliyetlerine ilişkin güncel bilgiler tüm üyelerle paylaşılır. Coopérnico, Portekiz'de bireylere veya kendilerini farklı kılan özel ve kâr amacı gütmeyen tüzel kişilere verilen Gulbenkian Ödülü'nü, 2018 yılında sürdürülebilirlik alanında kazanmıştır.Gulbenkian Ödülü, Portekiz'de benzeri olmayan bir modelle çalışan Coopérnico'nun o güne kadar yaptığı çalışmaların ve elde ettiği sonuçların tanınırlık kazanması açısından önemli olmakla birlikte, esas olarak kooperatifin büyümesi için bir kaldıraç olmuştur.Üretilen tüm elektrik enerjisi sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir.Doğrudan işbirliği ile gerçekleştirilen tüm projelerden elde edilen gelirin bir kısmı, sosyal ekonomiye veya eğitim kuruluşlarına aktarılarak toplumsal değer yaratılmaktadır. Yerel düzeyde projeler yaratmak daha sürdürülebilir bir ekonomiye geçişi teşvik etmenin bir yoludur.Yenilenebilir enerjiye yatırım yapılması, fosil yakıt kullanımının azaltılmasını sağlar; dolayısıyla atmosferik kirlilik ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunur.Sosyal fayda olarak Coopérnico ile sosyal dayanışma örgütleri arasında geliştirilen projeler, bu örgütlerin finansmanına, kullanılmayan alanları (örneğin çatılar veya boş araziler) kullanmalarına yardımcı olmanın bir yoludur.Yatırım, planına uygun olarak tanımlanır ve kooperatifin diğer projelerine sermaye ve yatırım beklentisi sağlar. Yatırımlardan elde edilen tasarrufların bir kısmı, her bir ortağın istediği parçaya sahip olabileceği küçük yenilenebilir enerji projelerinde birleştirilmiştir.Üretilen elektrik, elektrik şebekesine entegre edilmiş; ailelere ve işletmelere tedarik sağlanmıştır.%100 yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi (karbondioksit ve diğer kirletici emisyonlar olmadan) ve satışı ile ekonomik ve çevresel faydalar sağlanır.Yaratılan faydalar toplum, yatırımcılar ve çevre arasında dağıtılır.Bir diğer önemli nokta ise Vatandaş Enerji Alanları ağının güçlendirilmesi ve demokratikleştirilmesidir.Teşhis aşamasından proje uygulamasına, teknik destek ve finansmana erişim

de dahil olmak üzere tüm yenileme sürecinde vatandaşları destekleyebilecek kooperatif ve topluluk tabanlı hizmet noktalarının entegrasyonunu öneriyoruz.

Elektrik enerjisi üretim yatırımları, ilk yatırımın geri ödenmesinden sonra yatırımcıların yılda %2,5-4 oranında temettü almasını sağlayacak şekilde planlanmaktadır.Coopérnico ile sosyal dayanışma örgütleri arasında geliştirilen projeler, bu örgütlerin finansmanına, kullanılmayan alanları (örneğin çatılar veya boş araziler) kullanmalarına yardımcı olmanın bir yoludur.

Enerji toplulukları, kırsal ve kentsel alanlar arasındaki uçurumu aşmaya, kuzeyi güneye, zengini fakire yaklaştırmaya ve yerel halkı güçlendirmeye yardımcı olabilir.Energy Cities, 30 ülkede 1000 belediyeden oluşan bir ağdır ve enerji geçişinin yenilenebilir enerji veya büyük teknolojilerden daha fazlası olduğuna inanmaktadır.Energy Cities, enerji sistemleri ve politikalarının radikal bir şekilde dönüştürülmesini hedefleyerek, vatandaşlara yenilenebilir ve merkezi olmayan enerjiye dayalı bir geleceği şekillendirme gücü vermektedir.

Coopérnico, enerjiyi üretildiği binada sattığı çatı üstü kendi kendine tüketim sistemleri için bir finansman modeli geliştirdi.Bu, kuruluşların şebekeden enerji tüketimlerini azaltmalarına, yenilenebilir enerji tüketimlerini artırmalarına ve daha düşük bir tarife ödemelerine olanak tanıyor.Coopérnico ayrıca ticarileştirme sektöründe de faaliyet göstermektedir; bu da elektriği üyelerine adil bir fiyattan doğrudan satabileceği ve Coopérnico'nun projeleri tarafından üretilen elektrik miktarının üyelerinin tükettiği miktarı aşmasını veya menşe garantilerinin satın alınmasıyla dengelenmesini sağlayabileceği anlamına gelir.Bu, başarısının nedenlerinden biridir.Dağıtım ağlarında enerji egemenliğinin uygulanması ve enerji sektörünün demokratikleşmesi için temel bir yapı olduğu kabul edilmektedir.Bu yapının ancak kamu yönetimiyle tüm vatandaşların katılımının ve Coopérnico gibi aktörlerin devam eden enerji geçiş sürecine dahil olmasının mümkün olacağı anlaşılmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Kooperatifler, günümüzün ve geleceğin sosyal ve ekonomik zorluklarının üstesinden gelmede giderek daha önemli hale gelmişlerdir.Kooperatifçiliğin kurallarından biri, üyelerin kooperatifin sermayesine eşit olarak katkıda bulunmaları ve onu demokratik bir şekilde yönetmeleridir.AB enerji politikasında Enerji verimliliği en önemli önceliktir.

Avrupa'daki Kooperatiflerin amacı; yenilenebilir enerji üretim tesisleri geliştirmek ve yerel halk arasında enerji geçişi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji ile ilgili konularda farkındalık yaratmaktır.Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kopeeratiflerinin insan hayatını ve çevreyi tehlikelerden koruması, devlete faydalı olması, kooperatif üyelerinin finansal bağımsız olmalarını sağladıklarından dolayı kritik öneme sahip oldukları değerlendirilmektedir.

Kopenhag Elektrik Şirketi (CEC), Kopenhag Belediyesi'ne aittir.Bu tür bir işbirliği, politikacılar, kamuoyu vb. nezdinde projeye güvenilirlik kazandırmıştır.Bu durum bir avantaj olduğundan kooperatifin önünü açmış, halk ile kooperatif arasındaki bağı güçlendirmiş ve onların desteğini almasına zemin hazırlayarak önündeki engelleri, zorlukları aşmasını kolaylaştırmıştır.Kopenhag'da bulunan 20x2 MW açık deniz rüzgar türbini kooperatifi Middelgrundens Vindmøllelaug, 8.000'den fazla üyesiyle dünyanın en büyük rüzgar türbini kooperatifi ve son yıllarda kurulan en büyük kooperatif olması nedeniyle Avrupa Güneş Enerjisi Ödülü'ne layık görülmüştür.

Kooperatiflerden örneğin Middelgrunden'ın, yıllardır Danimarka'da ekolojik olarak sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için çalışan enerji ve çevre faaliyetleri ile kentsel ekoloji projeleri başlatan sivil toplum kuruluşlarıyla işbirliği yapması büyük bir avantaj olması sebebiyle kooperatif faaliyetlerini ön plana taşımış ve büyük bir fırsat yakalamıştır.Danimarka enerji geçişi konusunda çok hızlı ilerleme kaydetmektedir.Günümüzde Danimarka'nın elektrik tüketiminin %14,4'ü rüzgardan sağlanmaktadır.Bu değerin yüksek bir oran olması Middelgrunden Kooperatifinin hedefine ulaşma yolunda büyük ilerlemeler kaydettiğini göstermektedir.

Avrupa'daki kooperatifler, Enerji Geçişi'nin sağlanmasında büyük bir görev üstlenmişlerdir.Enerji Geçişine bağlı kalırken enerji tasarrufuna aktif olarak yatırım yaparak, enerji verimliliğini sağlayarak ortak çıkarlar doğrultusunda misyonlar yürütmektedirler.Aynı zamanda kooperatifler misyonlarını yürütürken eğitime destek olarak öğrencilere ve topluma örnek olmuşlardır.Kooperatiflerin şu avantajları da var; sosyallik, eğitime destek vs.Örneğin Courant d'Air Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, Sıfır Watt Üretimi adlı bir program ile ilkokul çocuklarını eğitmiş, öğrencilere enerji denetimi yapma, yenilenebilir enerjinin faydaları ve enerji tasarrufu yapma yöntemlerini öğreterek eğitime destek olmuşlardır.Sıfır Watt Üretimi programı, Belçika'da oldukça etkili olmuş ve yerel okulların %25'e varan oranda enerji tasarrufu sağlamasına yardımcı olmuştur.

Enercoop kooperatifi de eğitime büyük ölçüde destek olmuştur.Enercoop tarafından yürütülen sertifikalı eğitimler kapsamında; Ales Maden Okulu ile 2012'den itibaren genç mühendislere teknik konularda (biyokütle, rüzgar, fotovoltaik) ve proje geliştirme (finansal analiz) alanlarında eğitim verilmektedir.Ayrıca Montpellier Üniversitesi ile özellikle "Enerji ve Enerji Hukuku ve Ekonomisi" yüksek lisans programları çerçevesinde düzenli olarak işbirliği yapılmakta, Enerji Tarihi ve Fransız Elektrik Sistemi gibi konular ele alınmaktadır.Enercoop, fizibilite çalışmasından en iyi projeyi tasarlamaya, proje yönetimi desteğinden şartnamelerin yazılmasına ve montajcıların seçilmesine kadar A'dan Z'ye destek sağlamaktadır.

Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri ekonomik açıdan değerlendirildiğinde; kooperatifler yerelde enerji üreterek ekonomik gelir elde etmekte ve diğer ülkelere olan bağımlılığı azaltmaktadırlar.Sosyal açıdan değerlendirildiğinde; sosyalleşmeyi, sosyal bağları geliştirmekte, karbon emisyonlarının azaltılması konusunda insanların bilinçli olmasına yardımcı olmaktadırlar.Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin Avrupa ülkelerinde yaygınlaşması, çalışanların yetkinlik düzeyini artırarak kariyer planlamasını yapmış, istihdamı arttırarak ekonomik kalkınmaya destek vermiş ve fosil yakıtlara olan ihtiyacı minimize ederek dışa bağımlılığı azaltmışlardır.Ayrıca kendi elektriğini üretme politikaları sayesinde kooperatif ortaklarının enerji tüketim maliyetleri azaltılmıştır.

Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin cazip taraflarından bazıları şunlardır; kâr amacı gütmeden devlete, millete faydalı olmakla birlikte genel kurul toplantısında "bir üye=bir oy" demokratik oylama ilkesine uyarak çalışmaları ve kararların her zaman mutlak çoğunlukla alınmasıdır.Aynı zamanda kooperatiflerin özel şirketler gibi büyük sermayelerinin olmamasına rağmen sadece kooperatif üyelerinin kendi çabalarıyla ayakta durmaları, hedeflerine ulaşmak maksadıyla profesyonel bir yönetim kapsamında istikrarlı ve stratejik çalışma sürdürmeleri, büyük projeler yürütebilecek kapasiteye ulaşmaları, binlerce evin enerjisini tedarik edebilecek miktarda enerji tasarrufu sağlamaları ve yeşil enerjiyi elde ederek çevreye zararı minimize etmelerinin takdir edilecek konular arasında olduğuna dikkat çekmek istiyorum.

Courant d'Air Yenilenebilir Enerji Kooperatifi, 2011 yılından itibaren üyelerine her yıl düzenli temettü ödemiştir.Bu kazanım, bahse konu kooperatifin profesyonel bir çalışma stratejisinin olduğunu göstermektedir.Çünkü kâr amacı gütmeyen bir yenilenebilir enerji kooperatifinin düzenli finansal getiri elde etmeyi gerektiren bir konuda üyelerine düzenli temettü ödemesi oldukça zor bir iştir ve Courant d'Air Kooperatifi zor bir işi başarmıştır.Zira Türkiye'ye kıyasla düzenli kâr payı dağıtımını sadece kâr amacı elde etme politikasıyla çalışan dev firmalar yapabilmektedir.Bu durum, kooperatifin büyük bir başarı elde ettiğini ve ileri düzeyde geliştiğini göstermektedir.

Danimarka (Middelgrunden) enerji geçişi konusunda çok hızlı ilerleme kaydetse de Courant d'Air (Belçika) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi'nin de kooperatifçilik konusunda çok geliştiğine, farklı bir perspektifi olduğuna, kritik konulara ağırlık verdiğine, çok profesyonel bir işleyişinin olduğuna, gençleri eğitip enerji konusundaki farkındalıklarını artırarak eğitime destek olduğuna, topluma çok faydalı olduğuna ve üyelerine düzenli temettü vererek onlara destek olduğunun önemini vurgulamak istiyorum.Dolayısıyla Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatifçiliği konusunda sadece bir ülke veya kooperatif değil, incelediğim tüm kooperatifler Dünya çapında büyük başarılar yakalayarak devleşmiş, büyümüş ve muazzam hale gelmişlerdir.

Avrupa'daki Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri çalışmalarını genelde rüzgar ve güneş enerjisine yoğunlaştırmışlardır.Örneğin, rüzgar ve güneş enerjisi teknolojileri Almanya'daki yenilenebilir elektriğin %75'ini karşılamaktadır.Avrupa'da Enerji Geçişinin gerçekleştirilmesi için kooperatifler rüzgar ve güneş enerjisi yanında diğer yenilenebilir enerji çeşitlerine (hidrolik, biyokütle vs) daha çok yoğunlaşırlarsa; örneğin, Avrupa'da 2050 yılına kadar %100 yenilenebilir enerjiye geçilmesi gibi hedeflere daha kısa zamanda ulaşabilecekleri kanaatindeyim.Enerji Geçişi konusu, Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin bel kemiğidir.Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin en büyük hedefinin de **Enerji Geçişine** hizmet etmek olduğunu değerlendiriyorum.

Bu araştırma kapsamında; 2 tür Enerji Geçişinden söz etmek mümkündür.Dar kapsamlı ve geniş kapsamlı olmak üzere; birincisi kooperatif üyelerinin elinde demokratik bir enerji geçişine bağlı kalarak tüketici statüsünden üretici statüsüne geçerek elde ettikleri enerji geçişidir.İkincisi ise Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin global anlamda Enerjide Devrim niteliğinde inovatif olarak eski fosil kaynakların kullanılarak enerji elde edildiği evreden yüzde yüz yenilenebilir enerjinin kullanılarak temiz, çevre dostu ve birçok konuda avantajlı olan yeşil enerjiye geçildiği evredir.Bu durum, Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri sayesinde Enerji Geçişini tesis etmek maksadıyla yapılan devrim niteliğinde bir gelişmedir.

Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, Enerji Geçişini tam olarak gerçekleştirebilirler mi?Bu geçişin mümkün olduğu kanaatindeyim.Çünkü Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri, halihazırda yeterince gelişmiş düzeydeler ve istikrarlı bir şekilde gelişmeye devam ederek hedeflerine gün geçtikçe yaklaşmaktadırlar.

Belediyelerin amacı vatandaşa hizmet etmektir.Belediyelerin Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin gelişimi konusunda payı büyük olsa da vatandaşa da çok iş düşmektedir.Çünkü Enerji Geçişi, yerel paydaşların aktif katılımı olmadan gerçekleşemez.Belediyeler enerji dönüşümleri ve akıllı enerji kullanımı yoluyla **enerji tasarrufu** yapmakta ve her okulun bağımsız olarak elektrik faturalarını minimize etmelerine olanak tanımaktadır.

Enerji Geçişini tam anlamıyla sağlamak, %100 yenilenebilir enerjiye geçişle mümkündür.Belediyeler ile kooperatifler birbirleriyle entegreli bir şekilde çalışarak daha büyük projelere imza atılabilir ve hedefler daha kısa zamanda gerçekleştirilebilir.Bu sayede belediyeler Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri'ne destek olarak kooperatiflerin misyonuna hizmet ederek hedeflerine (Örneğin Danimarka, 2050 yılına kadar fosil yakıtlardan ve nükleer enerjiden tamamen bağımsız olmayı hedeflemektedir.) ulaşmasına destek olabilir ve Enerji Geçişinin tam anlamıyla sağlanmasına katkı sağlayabilir.

Bu kapsamda, Avrupa'da eğer belediyeler kooperatiflere daha çok destek olurlarsa, devlet kooperatiflere hibe verirse ve bu konuda iyileştirmeler, düzenlemeler getirirse, kooperatifler eğitime daha çok destek olurlarsa, bünyelerinde seminer, konferans vs daha çok eğitim planlamaları yaparlarsa, kooperatifler belediye, kamu kurum ve kuruluşları ile daha çok işbirliği yaparlarsa, kooperatifler rüzgar ve güneş enerjisi yanında diğer yenilenebilir enerji çeşitlerine (hidrolik, biyokütle vs) de yoğunlaşırlarsa Yenilenebilir Enerji Geçişi sağlanabilir.

Çalışmamın var olan çalışmalardan farklı olması, Türkiye'de yeni bir konu olması, Avrupa'da popüler olması ve Avrupa ülkelerindeki gelişmişliklerden bahsederek Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerine ihtiyacı vurgulayarak farkındalık yaratmasının faydalı olduğu bu kapsamda, kıymetli bir çalışma olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, Avrupa'daki kooperatiflerin başarıları, hedeflerine ulaşma azmi, toplumu ve gençleri eğiterek onları bilinçlendirmeleri, kazandıkları ödüller, tamamladıkları projeler sonucu elde ettikleri enerji tasarrufları, enerji verimliliğini yakalamaları, çevre kirliliğini önlemeleri ve daha birçok gelişme göz önüne alındığında kooperatiflerin Yenilenebilir Enerjiye Geçiş hedefinde istikrarlı ilerlemeleri bu hedefi ileride başarabileceklerine açıkça işaret etmektedir.

Son olarak yaptığım literatür araştırması, incelemeler ve gözlemlerim ışığında; Türkiye'de kooperatiflerin öncelikle tanıtılması, halkın bu konuda biliçlendirilmesi, onlara kooperatiflerin avantajlarından bahsederek farkındalık oluşturulması gerekmektedir.Bu farkındalığın da eğitim ile sağlanabileceğini değerlendiriyorum.Örneğin Türkiye'deki kooperatifler, EMO (Elektrik Mühendisleri Odası) ile protokol yaparak EMO'ya üye mühendisler vasıtasıyla bilgilendirici seminerler düzenlenerek insanların bu konudaki farkındalıklarının artırılabileceğini değerlendiriyorum.Bu sayede yenilenebilir enerji kooperatiflerinin Türkiye'de yaygınlaştırılabileceği kanaatindeyim.

Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kooperatiflerinin geliştirilmesi için Avrupa ile benzer şekilde tedbirler alınabilir.Kooperatiflere belediyeler tarafından destek verilirse, devlet kooperatiflere yenilenebilir enerji konusunda iyileştirici düzenlemeler getirirerek teşvik ederse, devlet kurumları tarafından kooperatiflere hibe verilirse, Yenilenebilir Enerji Kooperatifçiliği Türkiye'de yaygınlaştırılabilir.Bu konuda halkı teşvik etmek için Avrupa'daki koooperatifler gibi ileri süreçlerde üyelere düzenli temettü verilirse kooperatifçilik Türkiye'de popüler hale getirilebilir.Ayrıca bu çalışma sayesinde Avrupa'daki kooperatifler örnek alınarak Türkiye'de bu konu geliştirilebilir ve popüler hale getirilebileceğinden literatüre katkı sağlayacağını, bu konuda araştırma yapan öğrencilere ve akademisyenlere faydalı olacağını değerlendiriyorum.

KAYNAKLAR

Beggio, G., Kusch, S. (2015). Renewable energy cooperatives: main features and success factors in collectively implementing energy transition, The 3rd Virtual Multidisciplinary Conference, p. 233-237.

Boon, F.P., Dieperink, C. (2014). Local civil society based renewable energy organisations in the Netherlands: Exploring the factors that stimulate their emergence and development. Energy Policy, 69, pp.297-307.

Büke, T. (2018). Avrupa Birliğinde Yenilenebilir Enerji Kooperatifleri.

Erişim: https://sosyalekonomi.org/avrupa-birliginde-yenilenebilir-enerji-kooperatifleri/

Büke, T. (2018a). Middelgrunden (Danimarka) Yenilenebilir Enerji Kooperatifi.

▪ Erişim:https://sosyalekonomi.org/middelgrunden-danimarka-yenilenebilir-enerji-kooperatifi/
Büke, T. (2019). Enerji Biziz: Som Energia (İspanya).

Erişim: https://sosyalekonomi.org/enerji-biziz-som-energia-ispanya/

Büke, T. (2020). Gücü Geri Alın, Bize Katılın: Enercoop (Fransa).

Erişim: https://www.enercoop.fr/ (24 January 2020)/

Büke, T. (2020). Coopérnico Yenilenebilir Enerji Kooperatifi: Coopérnico (Portekiz).

Erişim: https://sosyalekonomi.org/coopernico-yenilenebilir-enerji-kooperatifi/

Büke T. (2023). Türkiye ve Avrupa'da Yenilenebilir Enerji Kooperatif Örnekleri, *GÜNDERGİ*, Sayı:29, sayfa:28-35.

Europ, D. (2000). *Den Europæiske Solpris 2000*.

ECP, (2025). Energy Community Platform, COMPILE Toolkit Best Practice Guide. Erişim: https://energycommunityplatform.eu/resources/compile-toolkit-best-practice-guide/

ILO, (2013). Providing clean energy and energy access through cooperatives, International Labour Office Cooperatives Unit (COOP) Green Jobs Program.

Local Investment into Renewable Energy, Collection of European Ecperiences in Local Investment J.H. Larsen, et al. PREDAC – WP1, supported by the EU Energie programme, 2003.

Popular, A. (n.d.). *The Middelgrunden Offshore Wind Farm Middelgrunden Offshore WindFarm*.

Programme, I. (2020). *Best Practice Guide*.

RESCOOP, (2025). Renewable Energy Source Cooperative Federasyonu.

Erişim adresi : https://www.rescoop.eu/

Wang, C., Liu,C., Zhang, G. (2024).Cooperative planning of renewable energy generation and multi-timescale flexible resources in active distribution networks.Applied Energy, 356, 122429.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

SINIR YERLEŞİMLERİNDEKİ YAPILARIN LOKAL HASAR SONRASI AŞAMALI GÖÇME POTANSİYELİNİN YARI-NİTEL DEĞERLENDİRİLMESİ

SEMI-QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE PROGRESSIVE COLLAPSE POTENTIAL OF BUILDINGS IN BORDER SETTLEMENTS FOLLOWING LOCAL DAMAGE

Dr. Öğr. Üyesi Saffet KILIÇER

Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Merkez, Artvin.

ORCID NO: 0000-0002-5445-0352

ÖZET

Sınır bölgelerinde yer alan yapıların bölgesel darbe, patlama etkisi veya kritik taşıyıcı eleman hasarı gibi beklenmedik ve yerel etkiler karşısında yapısal bütünlüğünü koruyabilmesi ve yük aktarımı, aşamalı göçme riskinin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Bu tür etkiler, taşıyıcı sistemde yük aktarım sürekliliğini bozarak yerel hasarın zincirleme reaksiyonlarla daha geniş ölçekli yapısal hasara dönüşmesine neden olabilmektedir. Artvin ilinin sınır hattı yerleşimleri arasında yer alan Borçka ilçesi Muratlı köyü ve Kemalpaşa ilçesine bağlı Sarp köyündeki mevcut yapı stokunun aşamalı göçme açısından ön yapısal kırılganlık düzeyleri yerinde gözlem ve ölçümlerle değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında Muratlı'da 20, Sarp'ta 26 olmak üzere toplam 46 yapı incelenmiştir. İncelenen yapıların %43.5'i Muratlı'da, %56.5'i Sarp'ta yer almaktadır. Ön risk sınıflandırmasına göre yapıların %37.0'si düşük, %58.7'si orta ve %4.3'ü yüksek risk düzeyindedir. Yerleşim bazında Muratlı'daki yapıların %25.0'i düşük, %70.0'i orta ve %5.0'i yüksek riskli, Sarp'taki yapıların ise %46.2'si düşük, %50.0'si orta ve %3.8'i yüksek riskli olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar, Muratlı'da yumuşak kat durumu, görsel hasar bulguları, lokal hasara duyarlılık ve yol/sınır hattına yakınlığın öne çıktığını göstermiştir. Sarp'ta ise plan düzensizliği, kritik kolonların dış etkiye açıklığı, zemin kat korunaklılığının yetersizliği ve lokal hasara duyarlılık daha belirgin hale gelmiştir. Sonuçlar, sınır hattındaki yapı stokunun lokal tehditler sonrası yük aktarım sürekliliği ve aşamalı göçme potansiyeli açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Aşamalı göçme, yapısal kırılganlık, betonarme yapılar, yapısal bütünlük, lokal hasar.

ABSTRACT

Buildings located in border regions should maintain structural integrity and load transfer capacity against unexpected and localized effects such as local impacts, blast effects, or damage to critical load-bearing elements in order to reduce the risk of progressive collapse. Such effects may disrupt load transfer continuity within the structural system and cause localized damage to propagate into larger-scale structural failures through chain reactions. The preliminary structural vulnerability levels of the existing building stock in Muratlı Village of Borçka district and Sarp Village of Kemalpaşa district, located along the border region of Artvin Province, were evaluated in terms of progressive collapse through on-site observations and measurements. Within the scope of the study, a total of 46 buildings were investigated, including 20 buildings in Muratlı and 26 buildings in Sarp. Of the investigated buildings, 43.5% were located in Muratlı and 56.5% were located in Sarp. According to the preliminary risk classification, 37.0% of the buildings were classified as low risk, 58.7% as medium risk, and 4.3% as high risk. At the settlement level, 25.0% of the buildings in Muratlı were classified as low risk, 70.0% as medium risk, and 5.0% as high risk, while 46.2% of the buildings in Sarp were classified as low risk, 50.0% as medium risk, and 3.8% as high risk. The findings indicated that soft-story conditions, visible damage indicators, sensitivity to local damage, and proximity to roads and border lines were more prominent in Muratlı. In contrast, plan irregularity, exposure of critical columns to external effects, insufficient ground-floor protection, and sensitivity to local damage were more evident in Sarp. The

results indicate that the existing building stock along border regions should also be evaluated in terms of load transfer continuity and progressive collapse potential under localized threat scenarios.

Keywords: Progressive collapse, structural vulnerability, reinforced concrete structures, structural robustness, local damage.

GİRİŞ

Yapıların beklenmedik etkilere karşı görece iyi bir davranış göstermesi, yalnızca deprem, rüzgâr ve düşey yükler gibi geleneksel yük etkileri altında yeterli dayanım sağlamasıyla sınırlı değildir. Patlama, çarpma, yerel darbe, taşıyıcı eleman kaybı, mühimmat etkisi veya beklenmedik dış etkiler sonucunda oluşan bölgesel hasarlar, yapıların yük aktarım mekanizmasını (yük yolu) doğrudan değiştirebilmektedir. Özellikle kolon, perde ucu, birleşim bölgesi veya zemin kat taşıyıcı elemanları gibi kritik bölgelerde meydana gelen hasarlar, taşıyıcı sistemin sürekliliğini bozarak yüklerin alternatif yollarla yeniden dağıtılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu yeniden dağıtımın yeterli düzeyde sağlanamaması durumunda, başlangıçta sınırlı olan hasar zincirleme olarak daha geniş alanlara yayılabilmekte ve yapı genelinde orantısız hasar meydana gelebilmektedir (Kılıçer, 2024).

Aşamalı göçme, yapının bir bölümünde meydana gelen yerel hasarın zincirleme bir mekanizma ile ilerleyerek başlangıç hasarına göre daha büyük alanlara yayılarak yapısal göçmeye dönüşmesi olarak değerlendirilmektedir. Bu süreçte göçmenin başlamasına neden olan etki çoğu zaman tek bir taşıyıcı elemanın hasarı veya taşıma kapasitesini kaybetmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ancak yapının yeterli yapısal bütünlüğe, farklı yük yollarına ve elemanlar arası sürekliliğe sahip olmaması durumunda, bu sınırlı hasar yalnızca hasarlı bölgede kalmamakta, komşu taşıyıcı elemanlara ve yapının diğer bölgelerine aktarılmaktadır. Bu nedenle aşamalı göçme davranışı, yalnızca eleman dayanımıyla değil, sistem üzerinde yük aktarımı, süneklik, süreklilik, taşıyıcı sistem geometrisi ve bölgesel hasara karşı dayanıklılık ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği son yıllardaki araştırmalarda ortaya konmuştur. Ülkemiz sınır yerleşimlerinde bulunan yapılar açısından konu daha özel bir önem taşımaktadır. Bu tür bölgelerde yapılar yalnızca deprem ve kullanım yükleri açısından değil, aynı zamanda lokal darbe, düşük veya orta düzeyli patlama etkisi, mühimmat kaynaklı bölgesel hasar, dış etkiye açık taşıyıcı elemanlar, geniş cephe açıklıkları, zemin kat korunaklılığının yetersizliği ve stratejik kullanım gibi ilave riskler bakımından da değerlendirilmelidir. Özellikle yol ve sınır hattına yakın konumlanan yapılarda dış etkilere açık kolonların, zemin kat açıklıklarının ve cephe süreksizliklerinin bölgesel hasarın yayılmasına katkı sunabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle sınır yerleşimlerinde bulunan mevcut yapı stokunun aşamalı göçme potansiyeli açısından önceden değerlendirilmesi, afet ve güvenlik odaklı yapı risk yönetimi bakımından önem taşımaktadır.

Aşamalı göçme üzerine yapılan çalışmaların önemli bir bölümü sayısal analizler, yönetmelik değerlendirme yöntemleri, kolon kaldırma senaryoları ve alternatif yük yolu yaklaşımları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Marjanishvili (2004), aşamalı göçme değerlendirmelerinde doğrusal statik, doğrusal olmayan statik, doğrusal dinamik ve doğrusal olmayan dinamik analiz prosedürlerinin kullanımını tartışarak analiz düzeyinin sonuçlar üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Pearson ve Delatte (2005), Ronan Point apartman bloğu göçmesini inceleyerek küçük ölçekli bir gaz patlamasının taşıyıcı sistem sürekliliği zayıf olan yapılarda büyük ölçekli göçmelere neden olabileceğini göstermiştir. Kılıçer ve Temuçin Kılıçer (2026), farklı coğrafi bölgelerde bulunan mevcut betonarme yapıların UFC 4-023-03 bağ kuvvetleri yöntemiyle aşamalı göçme dayanımını değerlendirmiş ve tipik betonarme yapı stokunda yatay bağ kuvveti eksikliklerinin yapısal bütünlük açısından belirleyici olabileceğini ortaya koymuştur. Kılıçer (2025a), Belgorod Oblastı örneği üzerinden silah sistemlerinin yapısal hasar ve aşamalı göçme üzerindeki etkilerini incelemiş, çatışma bölgelerinde oluşan lokal hasarların yapı güvenliği açısından aşamalı göçme bağlamında değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Kılıçer (2025b), betonarme bir yapının Enhanced Local Resistance (ELR) yöntemiyle aşamalı göçme analizini gerçekleştirmiş ve UFC 4-023-03 ile Türkiye Deprem Yönetmeliği yaklaşımını karşılaştırarak bölgesel dayanımın aşamalı göçme performansındaki önemini tartışmıştır. Abdelwahed (2019), bina türü yapılarda aşamalı göçme üzerine yapılan araştırmaları inceleyerek bu alandaki yöntemsel eğilimleri ve araştırma boşluklarını

tartışmıştır. Shi ve Jiang (2024), patlama yükleri altında betonarme alt sistemlerin aşamalı göçme performansını deneysel olarak incelemiş ve patlama kaynaklı başlangıç hasarının göçme direncini azaltabileceğini göstermiştir. Kılıçer ve Can (2025), soğuk şekillendirilmiş çelik sistemlerde doğal afetlerin aşamalı göçme mekanizmasına etkisini değerlendirmiş ve özellikle kamu yapıları, askeri tesisler ve sağlık yapıları gibi hassas yapı türlerinde aşamalı göçme analizlerinin önemine dikkat çekmiştir. Özgan, Kılıçer ve Daloğlu (2023a), betonarme bir okul binasında yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak aşamalı göçme potansiyelini incelemiş ve zemin etkilerinin iç kuvvet dağılımı ile göçme değerlendirmeleri üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. Özgan, Kılıçer ve Daloğlu (2023b), çelik çerçeve sistemlerde yapı-zemin etkileşiminin aşamalı göçme direncini doğrusal statik ve doğrusal olmayan dinamik prosedürler üzerinden etkileyebileceğini belirtmiştir. Kılıçer ve Özgan (2026), Winkler zemin modeli ile yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak betonarme yapılarda aşamalı göçme riskini incelemiş ve zemin rijitliğinin plastik mafsal oluşumu, yer değiştirme talepleri ve göçme mekanizması üzerinde belirleyici olabileceğini göstermiştir. Kılıçer (2024), yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak aşamalı göçme riskinin belirlenmesine odaklanmış ve farklı zemin koşullarının üstyapı davranışına etkisini değerlendirmiştir. Sasani ve Kropelnicki (2008), betonarme bir yapı modelinde kolon kaybı sonrası davranışı deneysel ve analitik olarak incelemiş ve taşıyıcı eleman kaybının yük aktarım mekanizmasını önemli ölçüde değiştirdiğini belirtmiştir. Kim ve Kim (2009), çelik moment çerçevelerinin aşamalı göçmeye karşı dayanım kapasitesini değerlendirmiş ve alternatif yük yollarının göçme direnci üzerindeki etkisini vurgulamıştır. Adam, Parisi, Sagaseta ve Lu (2018), aşamalı göçme ve yapısal sağlamlık üzerine kapsamlı bir derleme yaparak bu alandaki deneysel, sayısal ve yönetmelik tabanlı yaklaşımları sınıflandırmıştır. Bu çalışmalar, aşamalı göçme davranışının çoğunlukla gelişmiş analizler, deneysel modeller veya geçmiş göçme olayları üzerinden ele alındığını göstermektedir. Buna karşın mevcut yapı stokunun hızlı saha gözlemleriyle ön kırılganlık düzeylerine ayrılması ve özellikle sınır yerleşimlerinde bölgesel tehditler bağlamında değerlendirilmesi literatürde daha sınırlı bir çalışma alanı olarak göze çarpmaktadır.

Artvin ilinin sınır hattı yerleşimleri arasında yer alan Borçka ilçesi Muratlı köyü ve Kemalpaşa ilçesi Sarp köyündeki mevcut yapı stokunun bölgesel hasar sonrası aşamalı göçme potansiyeli açısından ön yapısal kırılganlık düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yerinde gözlem ve ölçümlere dayalı yarı-nitel bir değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. İncelenen yapılar, yumuşak kat durumu, köşe kolon problemi, plan düzensizliği, bitişik nizam durumu, cephe açıklıkları, kritik kolonların dış etkiye açıklığı, zemin kat korunaklılığı, görsel hasar bulguları, lokal hasara duyarlılık, yol hattına yakınlık ve kullanım durumu gibi parametreler açısından değerlendirilmiştir. Böylece sınır yerleşimlerinde bulunan yapıların yalnızca genel yapı güvenliği açısından değil, lokal tehditler sonrası yük aktarım sürekliliği ve aşamalı göçme potansiyeli bakımından da ön sınıflandırmasının yapılması hedeflenmiştir.

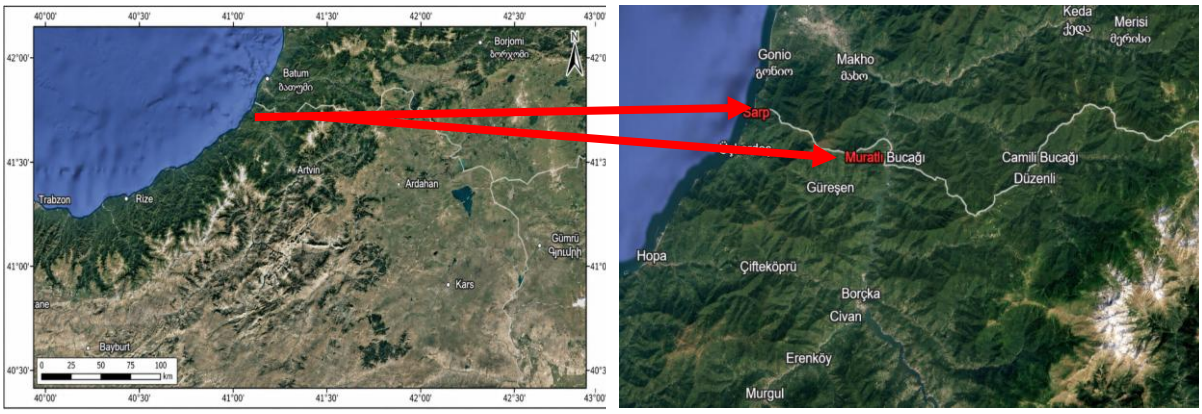
YÖNTEM

Mevcut yapı stokunun aşamalı göçme açısından ön yapısal kırılganlık düzeylerinin belirlenebilmesi amacıyla saha temelli bir değerlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmada detaylı sayısal analizler veya deneysel yöntemler yerine, mevcut yapıların kısa sürede ve hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesine olanak sağlayan yarı-nitel bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu kapsamda yapılar, yerinde gözlem, ölçümler ve kullanıcı bilgilerinden elde edilen veriler doğrultusunda belirlenen yapısal parametreler açısından değerlendirilmiş ve her yapı için ön risk düzeyleri oluşturulmuştur.

Çalışma Alanı

Artvin ilinin sınır hattında yer alan Borçka ilçesine bağlı Muratlı köyü (41.478699°N, 41.707404°E) ile Kemalpaşa ilçesine bağlı Sarp köyü (41.517303°N, 41.547693°E) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu yerleşimlerin seçiminde Türkiye-Gürcistan sınırına yakınlık, farklı yapı tiplerinin bulunması, ulaşım aksları üzerindeki konumları, sınır geçiş güzergâhlarına yakınlıkları ve stratejik önemleri ve bölgesel hasar sonrası yapısal bütünlük davranışının gözlemsel olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamaları dikkate alınmıştır.

Muratlı köyü, Borçka ilçesi sınırları içerisinde yer almakta olup Çoruh Nehri'nin Gürcistan sınırına yöneldiği hat üzerinde konumlanmaktadır (Şekil 1). Sarp köyü ise Kemalpaşa ilçesi sınırları içerisinde, Türkiye'nin Gürcistan'a açılan önemli kara geçiş noktalarından biri olan Sarp Sınır Kapısı çevresinde yer almaktadır (Şekil 2). Muratlı köyünün Artvin şehir merkezine yaklaşık karayolu uzaklığı 38 km, Türkiye-Gürcistan sınır hattına yaklaşık uzaklığı ise 3–5 km düzeyindedir. Sarp köyü ise Artvin şehir merkezine yaklaşık 86 km, Kemalpaşa ilçe merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktadır ve sınır hattına doğrudan komşu konumdadır. Sarp'ın sınır hattına yaklaşık uzaklığı 0–1 km aralığında değerlendirilebilir (Google Maps, 2026).



a) b)

Şekil 1. Muratlı ve Sarp yerleşimlerinin coğrafi konumu (Google Maps, 2026)

Nüfus özellikleri bakımından Muratlı ve Sarp düşük nüfuslu kırsal yerleşim karakteri göstermektedir. Güncel mahalle/köy nüfus verilerine göre Muratlı köyünün nüfusu 391 kişi, Sarp köyünün nüfusu ise 165 kişi olarak verilmektedir (Nüfusu Ne, 2024a, 2024b). Bu değerler, çalışma alanlarının büyük kent merkezlerinden farklı olarak düşük nüfuslu, ancak sınır konumu nedeniyle stratejik öneme sahip yerleşimler olduğunu göstermektedir. Bu nedenle söz konusu yerleşimlerin yalnızca nüfus büyüklüğü açısından değil, sınır hattı, ulaşım aksı, geçiş güzergâhı ve bölgesel tehditlere maruz kalma potansiyeli bakımından da değerlendirilmesi gereklidir.

Topografik açıdan ise Artvin ili Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en engebeli arazi yapısına sahip illerinden biridir. İl genelinde eğimli yamaçlar, dar vadiler, akarsu yatakları ve sınırlı yerleşilebilir alanlar öne çıkmaktadır. Artvin il genelinde yüksek eğimli alanların yaygın olduğu ve ilin önemli bir bölümünde eğim değerlerinin %30'un üzerine çıktığı belirtilmektedir (Yavuz Özalp, Akıncı, & Temuçin, 2013). Bu topoğrafik yapı, yerleşimlerin genellikle vadi tabanları, yamaç etekleri ve ulaşım aksları boyunca gelişmesine neden olmaktadır. Muratlı'da Çoruh Nehri ve çevresindeki vadi yapısı, Sarp'ta ise Karadeniz kıyısına yakınlık ve dar kıyı şeridi boyunca gelişen yerleşim düzeni dikkat çekmektedir. Bu koşullar yapıların parsel yerleşimini, kat düzenini, cephe açıklıklarını, zemin kat kullanımını ve taşıyıcı sistem düzenini etkileyebilmektedir.

Meteorolojik açıdan Artvin, kıyı ve iç kesimler arasında belirgin farklılıklar gösteren bir iklim yapısına sahiptir. Artvin Valiliği'ne göre kıyı kesimi ile Cankurtaran Dağları arasında kalan alanda her mevsim yağışlı tipik Karadeniz iklimi görülürken, Cankurtaran Dağları'ndan Borçka ve Artvin Merkez'e doğru olan kesimde daha soğuk kışlar ve daha az yaz yağışı ile karakterize edilen Karadeniz iklimi etkili olmaktadır (Artvin Valiliği, t.y.). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun yıllar iklim verilerine göre Artvin'de en düşük ortalama sıcaklık ocak ayında 2,8 °C, en yüksek ortalama sıcaklık ise ağustos ayında 21,3 °C düzeyindedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, t.y.). Bu durum, Sarp çevresinde denizel ve nemli Karadeniz ikliminin daha belirgin olduğunu, Muratlı ve Borçka hattında ise topoğrafya ve vadi sisteminin etkisiyle iklimsel koşulların farklılaşabildiğini göstermektedir.

Çalışma alanlarının seçilmesinde bu coğrafi, demografik, topografik ve meteorolojik koşullar birlikte değerlendirilmiştir. Muratlı köyü, sınır hattına yakınlığı, Çoruh Nehri vadisi üzerindeki konumu, farklı taşıyıcı sistem tiplerini içermesi ve hudut yapı stokunu temsil etmesi nedeniyle seçilmiştir. Sarp köyü ise sınır hattına doğrudan komşu olması, sınır kapısı çevresinde yer alması, ulaşım ve ticaret hareketliliğiyle ilişkili olması ve betonarme yapı stokunun yoğunluğu nedeniyle çalışma kapsamına alınmıştır. Böylece iki farklı sınır yerleşiminde bulunan yapıların bölgesel hasar sonrası aşamalı göçme potansiyeli açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

Veri Toplama Süreci

Veri toplama süreci, Muratlı ve Sarp yerleşimlerinde bulunan yapıların yerinde gözlem yoluyla değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Çalışma kapsamında Muratlı'da 20, Sarp'ta 26 olmak üzere toplam 46 yapı incelenmiştir. Her bir yapı için ortalama 12 dakikalık inceleme süresi ayrılmış ve değerlendirmeler önceden hazırlanan standart saha gözlem formu matrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu formda yapının kat sayısı, taşıyıcı sistem türü, yumuşak kat durumu, köşe kolon durumu, plan düzensizliği, bitişik nizam durumu, cephe açıklıkları, kritik kolonların dış etkiye açıklığı, zemin kat korunaklılığı, görsel hasar bulguları, lokal hasara duyarlılık, yol/sınır hattına yakınlık ve stratejik kullanım durumu gibi parametreler kayıt altına alınmıştır.

Saha incelemeleri genel olarak yapı dışından gerçekleştirilmiştir. Yapı kullanıcılarının mahremiyetinin korunması amacıyla bina içerisine girilmemeye özen gösterilmiştir. Bu nedenle değerlendirmeler dış cephe gözlemleri, zemin kat kullanımı, cephe açıklıkları, taşıyıcı elemanların dışarıdan görülebilir durumu, yapısal düzensizlik belirtileri ve görsel hasarlar üzerinden yapılmıştır. Yapıların kullanım amacı, kat sayısı ve bazı genel yapı özellikleri ise mümkün olduğu durumlarda kat malikleri veya yapı kullanıcılarından alınan bilgilerle desteklenmiştir. Böylece hem gözlemsel veriler hem de kullanıcı beyanına dayalı tamamlayıcı bilgiler birlikte değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan yaklaşım, ayrıntılı yapısal analiz veya deneysel inceleme yerine hızlı saha gözlemine dayalı bir ön değerlendirme yöntemi olarak kurgulanmıştır. Benzer hızlı değerlendirme yaklaşımları literatürde mevcut yapı stokunun kısa sürede taranması, kayıt altına alınması ve ileri mühendislik incelemesi gerektiren yapıların önceliklendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015). Türkiye yapı stoku için geliştirilen hızlı değerlendirme yaklaşımlarında da yapıların temel yapısal özellikleri kullanılarak kısa sürede ön değerlendirme ve önceliklendirme yapılabileceği belirtilmektedir (Yakut, Erberik, İlki, Sucuoğlu ve Akkar, 2014). Bu nedenle mevcut çalışmada uygulanan saha gözlem yöntemi, doğrudan nihai performans analizi olarak değil, aşamalı göçme açısından ön yapısal kırılganlık düzeylerinin belirlenmesine yönelik yarı-nitel bir sınıflandırma yaklaşımı olarak değerlendirilmiştir.

Ön Yapısal Kırılganlık Değerlendirme Matrisi

Yapıların aşamalı göçme açısından ön kırılganlık düzeylerinin belirlenebilmesi amacıyla yarı-nitel bir değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan değerlendirme sisteminde taşıyıcı sistem türü, yumuşak kat durumu, köşe kolon durumu, plan düzensizliği, bitişik nizam etkisi, cephe açıklıkları, kritik kolonların dış etkiye açıklığı, zemin kat korunaklılığı, görsel hasar bulguları, lokal hasara duyarlılık, yol/sınır hattına yakınlık ve stratejik kullanım durumu dikkate alınmıştır.

Her parametre düşük risk, orta risk ve yüksek risk olmak üzere üç farklı düzeyde değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak düşük riskli durumlar için 1 puan, orta riskli durumlar için 2 puan ve yüksek riskli durumlar için 3 puan verilmiştir.

Risk Değerlendirme Yaklaşımı

Her yapı için belirlenen parametre puanları toplanarak toplam risk puanı hesaplanmıştır. Elde edilen puanlar belirlenen sınıflandırma aralıklarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre düşük toplam puana sahip yapılar düşük risk düzeyinde, orta puana sahip yapılar orta risk düzeyinde ve yüksek puana sahip yapılar yüksek risk düzeyinde sınıflandırılmıştır. Bu yaklaşımın amacı doğrudan yapısal performans

analizi yapmak değil, mevcut yapı stokunun aşamalı göçme açısından ön kırılganlık seviyelerini hızlı şekilde belirleyerek detaylı analiz gerektiren yapıların önceliklendirilmesini sağlamaktır.

BULGULAR

Saha çalışmaları kapsamında Artvin ili sınır hattında yer alan Muratlı ve Sarp yerleşimlerinde toplam 46 yapı incelenmiştir. Bulgular, ilk olarak çalışma alanındaki yapı stokunun genel karakterini ortaya koyacak şekilde düzenlenmiştir. Bu kapsamda yapıların yerleşimlere göre dağılımı, kat sayıları, taşıyıcı sistem türleri, kullanım amaçları ve aşamalı göçme açısından dikkate alınan temel risk parametreleri değerlendirilmiştir. İncelenen yapıların yerleşim alanlarına göre dağılımı Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. İncelenen yapıların yerleşim alanlarına göre dağılımı

Yerleşim	Yapı Sayısı	Oran (%)
Muratlı	20	43.5
Sarp	26	56.5
Toplam	46	100

Çalışma kapsamında incelenen yapıların %43.5'i Muratlı'da, %56.5'i ise Sarp'ta yer almaktadır. Sarp'taki örnek sayısının daha yüksek olması, yerleşimin sınır geçiş güzergâhı üzerinde bulunması ve yapılaşmanın bu hat çevresinde daha yoğun olmasıyla ilişkilidir. Muratlı ise daha kırsal nitelikli bir yerleşim olmasına rağmen sınır hattına yakın konumu, Çoruh vadisiyle ilişkili topoğrafik özellikleri ve farklı taşıyıcı sistem türlerini içermesi nedeniyle karşılaştırmalı değerlendirme açısından önemli bir örnek yerleşim alanıdır. İncelenen yapıların kat sayılarına göre dağılımı ise Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Yapıların kat sayılarına göre dağılımı

Kat Sayısı	Muratlı	Sarp	Toplam	Toplam Oran (%)
1	4	4	8	17.4
2	8	9	17	37.0
3	5	11	16	34.8
4	2	2	4	8.7
5	1	0	1	2.1
Toplam	20	26	46	100.00

İncelenen yapı stokunda iki ve üç katlı yapıların fazla olduğu görülmektedir. İki katlı yapılar yaklaşık %37.0, üç katlı yapılar ise %34.8 oranındadır. İki ve üç katlı yapılar birlikte düşünüldüğünde, toplam yapıların %71.8'ini oluşturmaktadır. Bu dağılım, Muratlı ve Sarp yerleşimlerinde yapılaşmanın genel olarak düşük ve orta katlı bina karakteri taşıdığını göstermektedir. Aşamalı göçme açısından kat sayısının sınırlı olması, düşey yük taleplerini azaltan bir husus olarak değerlendirilebilir. Ancak bu durum, bölgesel hasar sonrası oluşabilecek yapısal bütünlük sorunlarını tamamen ortadan kaldırmaz. Özellikle yumuşak kat oluşumu, kritik kolonların dış etkiye açık olması, geniş cephe açıklıkları ve plan düzensizlikleri gibi parametreler mevcut olduğunda, düşük katlı yapılarda da bölgesel hasarın yük aktarım sürekliliğini bozarak zincirleme olarak daha geniş yapısal hasarlara dönüşmesi mümkündür. Taşıyıcı sistem türüne göre dağılım Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Taşıyıcı sistem türlerine göre yapı dağılımı

Taşıyıcı Sistem Türü	Muratlı	Sarp	Toplam	Toplam Oran (%)
Betonarme	16	26	42	91.3
Yığma	2	0	2	4.3
Ahşap	1	0	1	2.2
Taş	1	0	1	2.2
Toplam	20	26	46	100.00

Yapıların büyük çoğunluğu betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Toplam yapı stokunun %91.3'ünün betonarme yapılardan oluşması, çalışmada elde edilen bulguların ağırlıklı olarak betonarme sistem davranışını yansıttığını göstermektedir. Sarp'ta değerlendirilen yapıların tamamı betonarmeyken, Muratlı'da betonarme yapılara ek olarak yığma, ahşap ve taş yapılar da yer almaktadır. Bu durum, Muratlı'nın taşıyıcı sistem çeşitliliği bakımından daha karma bir yapı stoku sunduğunu, Sarp'ın ise daha homojen bir betonarme yapı karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Yapı kullanım türüne göre dağılım ise Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Yapı kullanım türüne göre dağılım

Kullanım Türü	Muratlı	Sarp	Toplam	Toplam Oran (%)
Konut	13	26	39	84.8
Karma Kullanım	1	0	1	2.2
Kamu, dini, ticari veya depo kullanımı	6	0	6	13.0
Toplam	20	26	46	100.00

Yapılar, kullanım amacı bakımından büyük ölçüde konut niteliğindedir. Yapıların %84.8'inin konutlardan oluştuğu görülmektedir. Bu durum, çalışma alanlarının ağırlıklı olarak yerleşim amaçlı kullanıldığını göstermektedir. Sarp'ta değerlendirilen yapıların tamamı konut iken, Muratlı'da konutların yanında cami, okul, depo, kahvehane ve işyeri gibi farklı kullanım türleri de bulunmaktadır. Bu durum, Muratlı'da yapı kullanım çeşitliliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Aşamalı göçme açısından kullanım türü önemli bir değişkendir. Çünkü birçok farklı parametre aşamalı göçme üzerine etkili olabilmektedir. Özellikle ticari, kamusal veya depo amaçlı kullanılan yapılarda geniş açıklıklı zemin kat düzenlemeleri görülebilmekte ve bu durum bölgesel hasar sonrası yük aktarım sürekliliğini olumsuz etkileyebilecektir. Risk parametrelerinin yerleşimlere göre ayrıntılı karşılaştırılması ise Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Risk parametrelerinin yerleşimlere göre ayrıntılı karşılaştırılması

Risk Parametresi	Muratlı	Sarp	Toplam	Toplam Oran (%)
Yumuşak Kat Durumu	12	9	21	45.7
Köşe Kolon Problemi	3	9	12	26.1
Plan Düzensizliği	1	17	18	39.1
Bitişik Nizam Durumu	6	0	6	13.0
Kritik Kolonların Dış Etkiye Açıklığı	6	13	19	41.3
Zemin Kat Korunaklılığının Yetersizliği	9	12	21	45.7
Görsel Hasar Bulguları	12	12	24	52.2
Lokal Hasara Duyarlılık	13	14	27	58.7
Yol ve Sınır Hattına Yakınlık	20	23	43	93.5

Aşamalı göçme açısından Muratlı'da yumuşak kat durumu ve görsel hasar bulguları yaklaşık %60.0 oranında, bölgesel hasara duyarlılık ise %65.0 oranında belirlenmiştir. Bu durum, Muratlı'daki yapıların özellikle zemin kat düzeni, mevcut hasarları ve bölgesel hasar sonrası yük aktarım sürekliliği bakımından daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Sarp'ta ise plan düzensizliğinin yaklaşık %65.4, kritik kolonların dış etkiye açıklığı %50.0 ve zemin kat korunaklılığının yetersizliği %46.2 oranlarıyla öne çıktığı tespit edilmiştir. Bu bölgelere ait yumuşak kat, geniş cephe açıklığı ve dış etkiye açık taşıyıcı eleman örnekleri Şekil 2'de verilmektedir.



a) b) c)

Şekil 2. Muratlı ve Sarp yerleşimlerinde gözlenen yapı örnekleri a) yumuşak kat, b) geniş cephe açıklığı, c) dış etkiye açık taşıyıcı sistem

İnceleme alanında Şekil 2'de verilen yapılar gözlemlenerek fotoğraflanmıştır. Bu yapıların yumuşak kat ve geniş cephe açıklığı örnekleri Muratlı'da, dış etkiye açık taşıyıcı sisteme sahip yapı ise Sarp yerleşiminde bulunmaktadır. Bu durum, sahada belirlenen kırılganlık parametrelerinin yalnızca sayısal verilerle sınırlı olmadığını, doğrudan yapı ölçeğinde gözlenebilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu

gözlemsel veriler ve puanlama matrisi birlikte değerlendirilerek yapıların ön yapısal kırılganlık risk düzeyleri belirlenmiştir. Ön yapısal kırılganlık risk düzeylerinin genel dağılımı Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Ön yapısal kırılganlık risk düzeylerinin genel dağılımı

Risk Düzeyi	**Yapı Sayısı**	**Oran (%)**
Düşük Risk	17	37.0
Orta Risk	27	58.7
Yüksek Risk	2	4.3
Toplam	46	100.0

İncelenen 46 yapının %58.7'si orta risk, %37.0'si düşük risk ve %4.3'ü yüksek risk düzeyinde sınıflandırılmıştır. Yüksek riskli yapı oranının sınırlı kalması olumlu bir durum olarak değerlendirilebilir. Ancak orta risk grubunun toplam yapı stoku içinde en yüksek orana sahip olması, incelenen yapıların önemli bir bölümünde aşamalı göçme açısından dikkate alınması gereken kırılganlık göstergeleri bulunduğunu ortaya koymaktadır. Orta risk düzeyindeki yapılar mevcut durumda doğrudan kritik görünmemekle birlikte, bölgesel darbe, beklenmedik dış etki, patlama (şok) etkisi veya kritik taşıyıcı eleman hasarı gibi durumlarda yük aktarım sürekliliği bakımından daha olumsuz davranış gösterebilir. Yerleşimlere göre risk düzeyi dağılımı ise Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7. Yerleşimlere göre risk düzeyi dağılımı

Yerleşim Alanı	**Düşük Risk**	**Orta Risk**	**Yüksek Risk**	**Toplam**
Muratlı	5 (%25)	14 (%70)	1 (%5)	20
Sarp	12 (%46.2)	13 (%50)	1 (%3.8)	26
Toplam	17 (%37)	27 (%58.7)	2 (%4.3)	46

Yerleşime göre risk dağılımı, Muratlı'da yapıların %70.0'inin orta risk grubunda yer alması, bu yerleşimde ön yapısal kırılganlığın belirgin biçimde orta düzeyde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bu durum özellikle yumuşak kat oluşumu, görsel hasar bulguları ve bölgesel hasara duyarlılık parametrelerinin Muratlı'da daha yüksek oranlarda gözlenmiştir. Sarp'ta ise düşük riskli yapı oranı %46.2, orta riskli yapı oranı %50.0 ve yüksek riskli yapı oranı %3.8 olarak belirlenmiştir. Bu dağılım, Sarp'ta düşük ve orta risk grupları arasında daha dengeli bir yapı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Sarp'taki kırılganlığın daha çok plan düzensizliği, kritik kolonların dış etkiye açıklığı ve zemin kat korunaklılığının yetersizliği gibi dış etki ve geometrik düzensizlik odaklı parametrelerden kaynaklandığı görülmektedir. Bu nedenle iki yerleşimde benzer risk sınıfları oluşmasına rağmen, riskin oluşum mekanizması farklılaşmaktadır.

Hasar bulguları, zemin kat açıklıkları ve bölgesel hasara duyarlı yapı örnekleri Şekil 3'te verilmektedir. Yerel hasar sonrası yük aktarım sürekliliğini etkileyebilecek farklı kırılganlık göstergeleri izlenmektedir. Taşıyıcı eleman yüzeylerinde görülen bozulmalar, zemin katta açıklık oranının artması ya da düzensizlikler ve cephe düzenindeki süreksizlikler, yapısal bütünlüğün korunması açısından dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Özellikle zemin kat seviyesinde taşıyıcı sistemin dış etkilere daha açık hâle gelmesi, bölgesel bir hasarın düşey ve yatay yük aktarımı üzerinde olumsuz etkiler oluşturma potansiyelini artırmaktadır.



a) b) c)

Şekil 3. Yapı örnekleri: a) görsel hasar bulguları, b) zemin kat açıklıkları, c) bölgesel hasara duyarlı yapı örnekleri

Elde edilen bulgular yalnızca mevcut kırılganlık düzeylerini ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda yapıların aşamalı göçme açısından hangi öncelik sırasına göre değerlendirilmesi gerektiğine ilişkin bir sınıflandırma yapılmasına da olanak sağlamıştır. Bu kapsamda yapılar, belirlenen risk düzeyleri dikkate alınarak öncelik gruplarına ayrılmış ve detaylı inceleme gereksinimleri açısından değerlendirilmiş ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Öncelik gruplarına göre değerlendirme yaklaşımı

Öncelik Grubu	Kapsam	Yapı Sayısı	Oran (%)	Değerlendirme
Birinci Öncelik	Yüksek riskli yapılar	2	4.3	Mühendislik incelemesi ve yerinde detaylı değerlendirme
İkinci Öncelik	Orta riskli yapılar	27	58.7	İzleme, ek gözlem ve gerekirse sayısal değerlendirme
Üçüncü Öncelik	Düşük riskli yapılar	17	37.0	Periyodik gözlem ve kayıt altında tutma
Toplam	Tüm yapılar	46	100	Kademeli değerlendirme yaklaşımı

Yapı stokunun aşamalı göçme açısından kademeli bir değerlendirme sürecine tabi tutulabileceğini göstermektedir. Yüksek risk grubunda yer alan 2 yapı, taşıyıcı sistem özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi ve gerekli görülmesi hâlinde sayısal analizlerle değerlendirilmesi gereken öncelikli yapı grubu olarak tanımlanabilir. Orta risk grubunda bulunan 27 yapı ise doğrudan kritik düzeyde sınıflandırılmamakla birlikte, bölgesel hasar sonrası yük aktarım sürekliliği açısından izlenmesi ve gerektiğinde ilave mühendislik değerlendirmesine alınması gereken yapı stoğunu temsil etmektedir. Düşük risk grubunda bulunan 17 yapı için ise periyodik gözlem ve kayıt altına alma yeterli bir ilk yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Muratlı yerleşiminde yeni inşa edilmiş bir betonarme yapı üzerinde sınırlı sayıda tahribatsız gözlem yapılmıştır. Elde edilen geri tepme değerlerinin genel korelasyon eğrileri dikkate alındığında yaklaşık olarak C22 ile C24 beton sınıfı aralığına karşılık geldiği değerlendirilmiştir. Ayrıca Bosch D-tect 200 duvar tarama cihazı ile gerçekleştirilen donatı taramalarında kolonlarda yaklaşık 25 cm aralıklarla etriye düzeni gözlenmiştir. Elde edilen bu bulgular, ilgili yapının beton yüzey sertliği ve donatı yerleşimi açısından genel bir ön bilgi sağlamıştır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Sınır yerleşimlerinde bulunan mevcut yapı stokunun yalnızca deprem etkileri açısından değil, bölgesel hasar sonrası yük aktarım sürekliliği ve aşamalı göçme potansiyeli bakımından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle ülke sınır hattına yakın bölgelerde bulunan yapıların dış etkilere açıklığı, kritik taşıyıcı elemanların korunma düzeyi, zemin kat düzeni ve yapısal süreksizlikleri, bölgesel hasarın yapı bütünlüğü üzerindeki etkisini artırabilmektedir. Bu çalışma kapsamında Muratlı ve Sarp yerleşimlerinde gerçekleştirilen saha gözlemleri, sınır bölgelerindeki yapı stokunun aşamalı göçme açısından farklı kırılganlık mekanizmaları içerdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir:

• İncelenen 46 yapının 42'sinin betonarme sistemli olması, yapı stokunun %91.3 oranında betonarme yapılardan oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca iki ve üç katlı yapıların toplam oranının %71.8 olması, çalışma alanındaki yapılaşmanın ağırlıklı olarak düşük–orta katlı bina karakteri taşıdığını ortaya koymaktadır.

• Yapıların önemli bir kısmında görünen yetersizlikler yük aktarımını olumsuz etkileyecek ve yapıyı göçmeye götürecek unsurlar tespit edilmiştir.

• Muratlı yerleşiminde yumuşak kat oluşumu, görsel hasar bulguları ve bölgesel hasara duyarlılık daha belirgin şekilde öne çıkmıştır. Sarp'ta ise plan düzensizliği, kritik kolon açıklıkları ve dış etkilere açık taşıyıcı sistem davranışı daha baskın kırılganlık parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu yetersizlikler özellikle konut harici kritik yapılarda oluşabilecek hasarların zincirleme olarak büyümesine ve ekonomik kayıplara yol açacaktır.

• Çalışma alanındaki yapı stokunun önemli bir bölümünün ayrıntılı mühendislik incelemesi gerektirebilecek yapısal özellikler içerdiğini göstermektedir.

• Yüksek risk grubundaki yapı sayısının sınırlı olması olumlu bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte orta risk grubundaki yapıların lokal darbe, patlama etkisi veya kritik taşıyıcı eleman kaybı gibi durumlarda daha olumsuz davranış gösterebileceği düşünülmektedir.

• Muratlı'da gerçekleştirilen sınırlı tahribatsız incelemelerde Schmidt çekici sonuçlarının yaklaşık C22–C24 beton sınıfına karşılık geldiği değerlendirilmiş, yapılan taramalarda kolonlarda yaklaşık 25 cm aralıklarla etriye düzeni gözlenmiştir. Bu bulgular saha gözlemlerini destekleyici nitelikte değerlendirilmiştir.

• Çalışmada kullanılan yarı-nitel kırılganlık değerlendirme yaklaşımı, kısa sürede çok sayıda yapının önceliklendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu yaklaşımın özellikle sınır yerleşimleri, kritik altyapı çevresi ve kırsal yapı stokunun hızlı değerlendirilmesi açısından uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, sınır hattında bulunan mevcut yapı stokunun yalnızca geleneksel deprem güvenliği yaklaşımıyla değil, lokal hasar sonrası yapısal bütünlüğün korunması ve alternatif yük aktarım mekanizmalarının sürdürülebilirliği açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, sınır bölgelerinde yer alan yapıların aşamalı göçme açısından ön kırılganlık düzeylerinin saha gözlemleriyle belirlenebileceğini ve bu yapıların risk önceliklendirmesine tabi tutulabileceğini göstermiştir. Gelecek çalışmalarda daha geniş örnek grupları üzerinde ayrıntılı analizler, deneysel incelemeler ve farklı tehdit senaryolarına yönelik değerlendirmeler gerçekleştirilmesi de önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abdelwahed, B. S. (2019). A review on building progressive collapse, survey and discussion. Case Studies in Construction Materials, 11, e00264. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00264

Adam, J. M., Parisi, F., Sagaseta, J., & Lu, X. (2018). Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. Engineering Structures, 173, 122–149. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082

Artvin Valiliği. (t.y.). *Coğrafi durum*. https://www.artvin.gov.tr/cografi-durum Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026

Federal Emergency Management Agency. (2015). *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook* (3rd ed., FEMA P-154). https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_p-154-rapid-visual-screening-buildings-seismic-hazards.pdf

Google Maps. (2026). *Artvin–Muratlı ve Artvin–Sarp güzergâh ve mesafe bilgileri*. https://maps.google.com Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026

Kılıçer, S. (2024). Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak yapıların aşamalı göçme riskinin belirlenmesi [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].

Kılıçer, S. (2025a). The impact of weapon systems on structural damage and progressive collapse: A case study of Belgorod Oblast. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(1), 215–234. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1511907

Kılıçer, S. (2025b). Progressive collapse analysis of a reinforced concrete structure using the Enhanced Local Resistance (ELR) method: A comparison of UFC 4-023-03 and the Turkish Earthquake Code (TEC 2018). Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 11(2), 513–525. https://doi.org/10.21324/dacd.1656403

Kılıçer, S., & Can, Y. (2025). Doğal afetlerin çelik yapılarda aşamalı göçme mekanizmasına etkisi: Soğuk şekillendirilmiş çelik örneği. Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Akademi Dergisi, 3(2), 68–91. https://doi.org/10.55205/joctensa.3220241807092

Kılıçer, S., & Özgan, K. (2026). Evaluation of progressive collapse risk in reinforced concrete structures considering soil–structure interaction via the Winkler model. Structural Engineering International. https://doi.org/10.1080/10168664.2025.2586842

Kılıçer, S., & Temuçin Kılıçer, S. (2026). Progressive-collapse robustness assessment of existing reinforced concrete buildings in diverse geographical regions using the Tie-Force Method. Buildings, 16(5), 1090. https://doi.org/10.3390/buildings16051090

Kim, J., & Kim, T. (2009). Assessment of progressive collapse-resisting capacity of steel moment frames. Journal of Constructional Steel Research, 65(1), 169–179. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.03.020

Marjanishvili, S. M. (2004). Progressive analysis procedure for progressive collapse. Journal of Performance of Constructed Facilities, 18(2), 79–85. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2004)18:2(79)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (t.y.). *İl ve ilçelerimize ait iklim verileri: Artvin*. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026

Nüfusu Ne. (2024a). *Artvin Borçka Muratlı Köyü nüfusu*. https://www.nufusune.com/3943-artvin-borcka-muratli-koy-nufusu Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026

Nüfusu Ne. (2024b). *Artvin Kemalpaşa Sarp Köyü nüfusu*. https://www.nufusune.com/3944-artvin-kemalpasa-sarp-koy-nufusu Erişim tarihi: 26 Mayıs 2026

Özgan, K., Kılıçer, S., & Daloğlu, A. T. (2023a). Evaluation of progressive collapse potential of a RC school building considering soil–structure interaction. Asian Journal of Civil Engineering, 24, 1199–1213. https://doi.org/10.1007/s42107-022-00562-5

Özgan, K., Kılıçer, S., & Daloğlu, A. T. (2023b). Soil–structure interaction effect on the resistance of a steel frame against progressive collapse using linear static and nonlinear dynamic procedures. *Journal of Performance of Constructed Facilities, 37*(1), 04022070. https://doi.org/10.1061/JPCFEV.CFENG-4181

Pearson, C., & Delatte, N. (2005). Ronan Point apartment tower collapse and its effect on building codes. Journal of Performance of Constructed Facilities, 19(2), 172–177. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:2(172)

Sasani, M., & Kropelnicki, J. (2008). Progressive collapse analysis of an RC structure. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 17(4), 757–771. https://doi.org/10.1002/tal.375

Shi, Y., & Jiang, R. (2024). Experimental investigation on progressive collapse performance of RC substructures under blast loading. Structures, 70, 107803. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107803

Yakut, A., Erberik, M. A., İlki, A., Sucuoğlu, H., & Akkar, D. S. (2014). Rapid seismic assessment procedures for the Turkish building stock. In A. İlki & M. N. Fardis (Eds.), *Seismic evaluation and rehabilitation of structures* (pp. 15–35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00458-7_2

Yavuz Özalp, A., Akıncı, H., ve Temuçin, S. (2013). *Artvin ili arazisinin topografik ve bazı fiziksel özelliklerinin tespiti ve bu özelliklerin arazi örtüsü ile ilişkisinin incelenmesi*. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14*(2), 292–309. https://dergipark.org.tr/tr/pub/artvinofd/article/29912

KÜLTÜR İSTİHBARATI PERSPEKTİFİNDEN SOSYAL MEDYA OPERASYONLARI: DEZENFORMASYON, HUKUK VE DEVLET GÜVENLİĞİ

MELİS YILDIZ

İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kamu Hukuku

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-1642-4904

ÖZET

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte sosyal medya platformları yalnızca iletişim alanı olmaktan çıkmış; toplumsal algının yönlendirildiği, kimliklerin yeniden üretildiği ve devlet güvenliğini etkileyebilen stratejik operasyon sahalarına dönüşmüştür. Bu dönüşüm, kültür istihbaratı kavramını klasik kültürlerarası iletişim yaklaşımının ötesine taşıyarak, toplumların kültürel kodlarını, kimlik reflekslerini ve dijital davranış kalıplarını analiz eden çok boyutlu bir güvenlik unsuruna dönüştürmüştür. Çalışma, sosyal medya operasyonlarının kültür istihbaratı perspektifinden nasıl şekillendiğini; dezenformasyon, algoritmik yönlendirme ve kimlik politikaları aracılığıyla toplumsal manipülasyon süreçlerinin hangi mekanizmalar üzerinden yürütüldüğünü incelemektedir.

Araştırmada özellikle algoritmaların oluşturduğu yankı odaları, filtre balonları ve dijital ötekileştirme süreçlerinin toplumsal kutuplaşmayı artırdığı; bot ağları, deepfake teknolojileri ve yapay zekâ destekli içerik üretim araçlarının ise bilişsel manipülasyonu kolaylaştırdığı ortaya konulmaktadır. Bu bağlamda sosyal medya operasyonlarının yalnızca bireysel kanaatleri değil, devletlerin kamusal meşruiyetini, toplumsal istikrarını ve millî güvenlik politikalarını da etkileyebilen hibrit tehdit unsurlarına dönüştüğü değerlendirilmektedir.

Çalışma ayrıca dezenformasyonla mücadelede hukuk devleti ilkesinin önemine dikkat çekmekte; ifade özgürlüğü ile kamu düzeni ve millî güvenlik arasındaki hassas dengeyi tartışmaktadır. Sosyal medya temelli manipülasyon faaliyetlerine karşı geliştirilen ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemeler analiz edilerek, dijital güvenlik politikalarının demokratik denetim mekanizmalarıyla birlikte ele alınması gerektiği savunulmaktadır. Sonuç olarak, çalışma kültür istihbaratının yalnızca istihbari bir analiz yöntemi değil, aynı zamanda dijital çağın bilişsel tehditlerine karşı toplumsal direnci artırabilecek stratejik bir güvenlik yaklaşımı olduğunu ileri sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kültür İstihbaratı, Dezenformasyon, Sosyal Medya Operasyonları, Milli Güvenlik, Hibrit Tehditler, Dijital Manipülasyon

SOCIAL MEDIA OPERATIONS FROM THE PERSPECTIVE OF CULTURAL INTELLIGENCE: DISINFORMATION, LAW, AND STATE SECURITY

ABSTRACT

With the rapid expansion of digitalization, social media platforms have evolved beyond mere communication tools and transformed into strategic arenas where public perception is shaped, identities are reconstructed, and state security can be directly affected. This transformation has moved the concept of cultural intelligence beyond its traditional understanding of intercultural communication and turned it into a multidimensional security component capable of analyzing societies' cultural codes, identity reflexes, and digital behavioral patterns. This study examines how social media operations are structured through the lens of cultural intelligence and analyzes the mechanisms through which social manipulation is carried out via disinformation, algorithmic guidance, and identity politics.

The research demonstrates that echo chambers, filter bubbles, and digital otherization processes created by algorithms intensify social polarization, while bot networks, deepfake technologies, and artificial intelligence-supported content production tools facilitate cognitive manipulation. In this context, social media operations are evaluated not only as instruments influencing individual opinions, but also as hybrid threats capable of undermining states' public legitimacy, social stability, and national security policies.

The study also emphasizes the importance of the rule of law in combating disinformation and discusses the delicate balance between freedom of expression, public order, and national security. By analyzing national and international legal regulations developed against social media-based manipulation activities, the paper argues that digital security policies should be addressed together with democratic oversight mechanisms. Consequently, the study asserts that cultural intelligence should be regarded not only as an intelligence analysis method but also as a strategic security approach capable of strengthening societal resilience against the cognitive threats of the digital age.

Keywords: Cultural Intelligence, Disinformation, Social Media Operations, National Security, Hybrid Threats, Digital Manipulation

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

SOSYAL MEDYA PAZARLAMASININ SATIN ALMA KARAR SÜRECİNE ETKİSİ ÜZERİNE KURAMSAL BİR İNCELEME

A THEORETICAL REVIEW ON THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA MARKETING ON THE PURCHASING DECISION PROCESS

Doç. Dr. Hasan Selçuk ETİ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, İİBF, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3792-697X

ÖZET

Mobil internet altyapılarının son yirmi yılda gösterdiği eksponansiyel gelişim ve sosyal medya platformlarının günlük yaşamın, sosyalleşmenin ve ticaretin ayrılmaz bir parçası haline gelmesi, tüketicilerin bilgi edinme, markalarla iletişim kurma ve alışveriş yapma alışkanlıklarında köklü, geri döndürülemez değişikliklere yol açmıştır. Sosyal medya, markaların tüketicilerle olan iletişimini tek yönlü, asimetrik ve yavaş bir yapıdan; çok yönlü, anlık ve son derece etkileşimli bir boyuta taşıyarak geleneksel pazarlama kanallarının yapısını destekleyen, hatta çoğu zaman bu kanalların yerini alan güçlü ve hibrit bir unsur haline gelmiştir (Kaplan & Haenlein, 2010; Mangold & Faulds, 2009). Bu radikal dönüşüm doğrultusunda, tüketicilerin bir ürünü veya hizmeti fark etmelerinden, alternatifleri değerlendirmelerine, nihai satın alma kararını vermelerinden satın alma sonrası deneyimlerini kitlelerle paylaşmalarına kadar geçen tüm müşteri yolculuğu (customer journey) evreleri, sosyal medya unsurlarından yoğun ve karmaşık bir şekilde etkilenmektedir. Bu kapsamlı çalışmanın temel amacı, sosyal medya pazarlama faaliyetlerinin (kullanıcı türevli içerik paylaşımları, influencer pazarlaması, elektronik ağızdan ağıza iletişim ve algoritmik dijital reklamlar) geleneksel tüketici satın alma karar sürecinin klasik aşamaları üzerindeki dönüştürücü rolünü, güncel uluslararası alanyazın verileri ışığında kuramsal olarak derinlemesine incelemektir. Çalışmada sistematik ve betimsel bir yaklaşım benimsenerek, konuyla ilgili literatürdeki temel kavramlar, psikolojik motivasyonlar ve teorik modeller detaylı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Teorik altyapının oluşturulmasında, Lamberton ve Stephen (2016) tarafından dijital pazarlamanın tarihsel gelişimi üzerine yapılan dönemsel çalışmalar, Kannan ve Li (2017) tarafından önerilen dijital tüketici yolculuğu yaklaşımları, Lemon ve Verhoef (2016) tarafından kavramsallaştırılan bütünsel müşteri deneyimi modelleri ve Hajli (2014) tarafından geliştirilen sosyal ticaret ve güven altyapısı temel dayanak noktaları olarak kullanılmıştır. Yapılan kapsamlı literatür analizi, sosyal medyanın tüketicinin "problem tanıma" aşamasında sadece mevcut ihtiyaçlara yanıt vermekle kalmayıp, algoritmik akışlar ve görsel uyarıcılar sayesinde yepyeni ihtiyaçlar icat etmesine yardımcı olduğunu; "bilgi arama" aşamasında geleneksel arama maliyetlerini düşürerek kullanıcı yorumları (eWOM) aracılığıyla tüketiciye güvenilir bir rehberlik sunduğunu göstermektedir (Hennig-Thurau vd., 2004). Aynı zamanda "alternatiflerin değerlendirilmesi" aşamasında diğer tüketicilerin deneyimlerinin bir "sosyal kanıt" (social proof) unsuru olarak ön plana çıktığı, güvenin geleneksel e-ticaret sitelerinden sosyal ticaret platformlarına transfer edildiği (Chen & Wang, 2016) tespit edilmiştir. Ayrıca, satın alma sonrasında tüketicilerin memnuniyet veya şikayetlerini dijital ortamlarda paylaşarak pasif bir alıcı konumundan aktif bir değer yaratıcısı (co-creator) konumuna geçtikleri ve süreci döngüsel olarak devam ettirdikleri görülmektedir. Bu çalışma, geleneksel tüketici davranışı aşamalarının Web 2.0 çağındaki yeni görünümünü mevcut kaynaklar üzerinden detaylandırarak özetlemekte ve karmaşık dijital ekosistemi bütünsel bir şablonla sunarak gelecekteki ampirik ve kavramsal çalışmalara fikirsel bazda katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Medya Pazarlaması, Tüketici Yolculuğu, Satın Alma Karar Süreci, Dijital Tüketici Davranışı, Sosyal Ticaret, Elektronik Ağızdan Ağıza İletişim (eWOM)

ABSTRACT

The exponential development of mobile internet infrastructures over the last two decades and the integration of social media platforms into daily life, socialization, and commerce have led to fundamental and irreversible changes in consumers' habits of acquiring information, communicating with brands, and shopping. Social media has transformed brands' communication with consumers from a unidirectional, asymmetrical, and slow structure into a multidimensional, instantaneous, and highly interactive dimension. Consequently, it has become a powerful and hybrid element that supports, and often replaces, the structure of traditional marketing channels (Kaplan & Haenlein, 2010; Mangold & Faulds, 2009). In line with this radical transformation, all stages of the customer journey—from consumers noticing a product or service, evaluating alternatives, and making the final purchasing decision to sharing their post-purchase experiences with the masses—are intensely and complexly influenced by social media elements. The primary purpose of this comprehensive study is to theoretically and thoroughly examine the transformative role of social media marketing activities (user-generated content, influencer marketing, electronic word-of-mouth, and algorithmic digital advertisements) on the classical stages of the traditional consumer purchasing decision process, in the light of current international literature. Adopting a systematic and descriptive approach, the study extensively reviews the fundamental concepts, psychological motivations, and theoretical models in the relevant literature. In establishing the theoretical framework, the periodical studies on the historical development of digital marketing by Lamberton and Stephen (2016), the digital customer journey approaches proposed by Kannan and Li (2017), the holistic customer experience models conceptualized by Lemon and Verhoef (2016), and the social commerce and trust infrastructure developed by Hajli (2014) were utilized as the primary foundation points. The comprehensive literature analysis demonstrates that in the "problem recognition" stage, social media not only responds to existing needs but also helps to invent entirely new needs through algorithmic feeds and visual stimuli; in the "information search" stage, it reduces traditional search costs and provides reliable guidance to the consumer via user reviews (eWOM) (Hennig-Thurau et al., 2004). Concurrently, it has been determined that in the "evaluation of alternatives" stage, the experiences of other consumers come to the forefront as an element of "social proof," and trust is transferred from traditional e-commerce sites to social commerce platforms (Chen & Wang, 2016). Furthermore, it is observed that in the post-purchase phase, consumers transition from a passive receiver position to an active value co-creator by sharing their satisfaction or complaints in digital environments, thus perpetuating the process cyclically. This study summarizes the new appearance of traditional consumer behavior stages in the Web 2.0 era by detailing them through existing sources, and it provides a theoretical contribution to future empirical and conceptual studies by presenting the complex digital ecosystem within a holistic template.

Keywords: Social Media Marketing, Customer Journey, Purchasing Decision Process, Digital Consumer Behavior, Social Commerce, Electronic Word-of-Mouth (eWOM)

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın ilk çeyreğinde şahit olunan teknolojik determinizm, toplumsal dinamikleri ve ticari ekosistemleri yapısal bir dönüşüme zorlamıştır. Bu dönüşümün en radikal hissedildiği alanların başında, şüphesiz pazarlama iletişimi ve tüketici davranış kalıpları gelmektedir. Geleneksel pazarlama anlayışında, enformasyon akışının kontrolü ve yönetimi mutlak surette üretici veya hizmet sağlayıcı firmanın tekelinde bulunmaktaydı. Kurgulanmış kitle iletişim araçları vasıtasıyla tüketiciye dikte edilen mesajlar, rasyonel ya da duygusal çekicilikler etrafında şekillenmekte ve tüketicinin bu mesajları pasif bir alıcı olarak sindirmesi beklenmekteydi. Ancak mobil internet altyapılarının küresel ölçekte gösterdiği eksponansiyel ivmelenme ve Web 2.0 felsefesinin hayatın merkezine yerleşmesi, bu asimetrik ve dikey iletişim duvarlarını bütünüyle yıkmıştır (Kaplan & Haenlein, 2010). Sosyal medya platformları, bireylere sadece enformasyon tüketme değil, aynı zamanda kitlesel ölçekte enformasyon üretme, yayma ve manipüle etme gücü tanımıştır.

Bu yeni sosyo-teknik gerçeklik, pazarlama literatüründe geleneksel mecraların kurumsal hegemonyasını sarsarken, sosyal medyayı kurumsal iletişim karmasının en dinamik unsurlarından biri haline getirmiştir. Mangold ve Faulds (2009) tarafından yapılan öncü nitelikteki kavramsallaştırmada belirtildiği üzere, sosyal medya pazarlaması geleneksel tutundurma karması unsurlarının hiçbirine tam olarak benzemeyen, hem işletmeden tüketiciye doğrudan mesaj aktarımına izin veren hem de tüketicilerin kendi aralarındaki kontrol edilemeyen etkileşimleri barındıran "hibrit bir pazarlama karması unsuru" olarak tanımlanmaktadır. Bu hibrit yapı, markaların kriz anlarında veya imaj çalışmalarında anlık ve çok yönlü refleksler vermesini zorunlu kılarken, tüketici karar alma süreçlerinin öngörülebilir doğrusal yapısını da karmaşık, döngüsel ve ağ tabanlı bir müşteri yolculuğuna (*customer journey*) dönüştürmüştür.

Klasik tüketici davranışı yazınında, satın alma karar süreci genellikle John Dewey tarafından ortaya atılan ve daha sonra Engel, Kollat ve Blackwell tarafından geliştirilen beş aşamalı doğrusal bir rasyonel model (problem tanıma, bilgi arama, alternatiflerin değerlendirilmesi, satın alma ve satın alma sonrası davranış) üzerinden açıklanmaktadır. Ancak sosyal medyanın algoritmik akış dünyası, kişiselleştirilmiş reklam modelleri, mikro ve makro influencer ekosistemi ve elektronik ağızdan ağıza iletişim (eWOM) dinamikleri, bu beş aşamanın her birinin yapısal kodlarını temelinden değiştirmiştir. Tüketici artık sadece bir ihtiyacı hissettiğinde pazara çıkan rasyonel bir aktör değil, sosyal medya akışında gezinirken algoritmik uyarıcılar tarafından yepyeni ihtiyaçlar atfedilen, arama maliyetleri sıfıra yaklaşan ve satın alma sonrasında birer içerik üreticisine dönüşen aktif bir "değer ortağıdır" (*co-creator*).

Bu çalışmanın temel motivasyonu, sosyal medya pazarlama faaliyetlerinin geleneksel tüketici satın alma karar sürecinin klasik safhaları üzerindeki dönüştürücü ve yeniden yapılandırıcı rolünü kuramsal bir derinlikle ortaya koymaktır. Çalışma, dijital pazarlamanın tarihsel evrimini (Lamberton & Stephen, 2016), bütünsel müşteri deneyimi yaklaşımlarını (Lemon & Verhoef, 2016) ve sosyal ticaretin güven mekanizmalarını (Hajli, 2014) referans alarak; dağınık haldeki uluslararası literatürü bütüncül bir teorik şablon çatısı altında sentezlemeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışma, hem akademik yazındaki kavramsal boşlukları doldurmayı amaçlamakta hem de dijital pazarlama stratejilerini şekillendiren profesyonellere makro düzeyde kuramsal bir perspektif sunmaktadır.

Kuramsal Altyapı ve Dijital Tüketici Yolculuğunun Evrimi

Sosyal medya pazarlamasının tüketici davranışları üzerindeki etkisini kavrayabilmek, dijital pazarlama yazınının geçirdiği dönemsel paradigma değişimlerinin incelenmesini gerektirir. Lamberton ve Stephen (2016), 2000 ile 2015 yılları arasındaki dijital ve sosyal medya pazarlama literatürünü tematik olarak inceledikleri çalışmalarında, alanın evrimini üç temel döneme ayırmaktadırlar:

- ✓ **Birinci dönem (2000-2004)**, dijital mecraların geleneksel kanallara alternatif birer operasyonel araç olarak görüldüğü "şekillenme" evresidir.
- ✓ **İkinci dönem (2005-2010)**, sosyal ağların kitleselleşmesiyle birlikte tüketicinin sesinin yükseldiği ve "güç dengesinin değiştiği" evreyi temsil eder.
- ✓ **Üçüncü dönem (2011-2015 ve sonrası)** ise dijital unsurların tüketicinin günlük yaşamının görünmez ve ayrılmaz bir parçası haline geldiği "bütünleşme" evresidir.

Bu bütünleşme evresi, pazarlamacıları statik tüketici modellerinden sıyrılarak daha dinamik süreç analitiğine yöneltmiştir.

Bu doğrultuda Kannan ve Li (2017) tarafından geliştirilen dijital pazarlama çerçevesi, teknolojinin tüketici deneyimini çevreleyen ortamı (çevrimiçi platformlar, ara yüzler, topluluklar) nasıl dönüştürdüğünü ve bu ortamın da tüketici kararlarını nasıl şekillendirdiğini nedensel bir süreç olarak ele almaktadır. Dijital ortam, geleneksel pazardaki coğrafi ve zamansal sınırları ortadan kaldırarak tüketicinin bilgiye erişim hızını ve miktarını muazzam bir boyuta ulaştırmıştır. Ancak bu enformasyon bolluğu, beraberinde bilişsel aşırı yüklenme (*cognitive overload*) problemini de getirmiştir. İşte bu

noktada sosyal medya platformları, sundukları akran yönlendirmeleri ve algoritmik filtreleme mekanizmalarıyla tüketiciler için bilişsel birer navigasyon aracı vazifesi görmektedir.

Müşteri yolculuğunun bütünsel ve deneyimsel boyutunu açıklayan en güçlü yaklaşımlardan biri ise Lemon ve Verhoef (2016) tarafından kavramsallaştırılan bütünsel müşteri deneyimi modelidir. Yazarlar, müşteri deneyimini satın alma öncesi (*pre-purchase*), satın alma anı (*purchase*) ve satın alma sonrası (*post-purchase*) olmak üzere üç ana makro evreye ayırmakta ve her evrede markaya ait dokunma noktalarının (*touchpoints*) yönetiminin kritik olduğunu savunmaktadırlar. Sosyal medya, bu üç makro evrenin tamamına sızabilen yegane kanaldır. Satın alma öncesindeki bir influencer videosu, satın alma anındaki bir "şimdi satın al" butonu ve satın alma sonrasındaki bir Instagram paylaşımı, Lemon ve Verhoef'in (2016) bahsettiği marka dokunma noktalarının sosyal medya eliyle ne derece akışkan ve geçirgen hale geldiğinin en bariz kanıtıdır.

Son olarak, bu sürecin ticari bir platforma dönüşmesini açıklayan kuramsal zemin Hajli (2014) tarafından ortaya konan sosyal ticaret ve güven altyapısı modelidir. Hajli (2014), sosyal medyanın sağladığı etkileşim olanaklarının (yorumlar, beğeniler, tavsiyeler) tüketiciler arasında sosyal bir sermaye yarattığını ve bu sosyal sermayenin de platforma ve markaya yönelik "sosyal güveni" inşa ettiğini savunmaktadır. Sosyal güven, dijital ticaretteki en kritik bariyer olan risk algısını yıkan temel dinamiktir. Tüketici, kurumsal yapılara duymadığı güveni, sosyal medyadaki kolektif ağlar üzerinden yeniden inşa etmekte ve bu güven transferi satın alma karar sürecinin yakıtı haline gelmektedir.

Sosyal Medya Unsurlarının Satın Alma Karar Süreci Aşamaları Üzerindeki Dönüştürücü Rolü

Geleneksel beş aşamalı satın alma karar süreci, sosyal medya pazarlamasının dinamik araçları tarafından doğrusal bir hat olmaktan çıkarılarak döngüsel bir matrise dönüştürülmüştür. Bu bölümde, alanyazındaki öncü teoriler ışığında her bir aşamadaki niteliksel ve işlevsel değişimler detaylandırılmaktadır.

Problem Tanıma (İhtiyaç Algılaması): Algoritmik Akışlar ve İhtiyaç İcadı

Klasik tüketici davranışı teorisinde problem tanıma aşaması, tüketicinin mevcut durumu ile ideal durumu arasında bir fark hissetmesi ve bu farkın bir dürtü yaratarak eyleme dönüşmesi süreci olarak tanımlanır. Geleneksel olarak bu süreç, ya biyolojik bir ihtiyaçtan (açlık, susuzluk vb.) ya da dışsal bir reklam uyarıcısından (bilboard, televizyon reklamı) tetiklenmekteydi. Ancak günümüz dijital ekosisteminde problem tanıma aşaması, sosyal medyanın yapay zeka tabanlı "algoritmik akışları" ve görsel yoğunluklu mimarisi tarafından adeta yeniden tasarlanmaktadır.

Tüketici, zihninde somut bir ihtiyaç yokken dahi, sosyal medya platformlarında (Instagram, TikTok vb.) pasif bir kaydırma (*scrolling*) eylemi gerçekleştirirken, geçmiş dijital ayak izlerine (aramalar, beğeniler, izleme süreleri) göre optimize edilmiş hiper-kişiselleştirilmiş algoritmik reklamlarla ve influencer paylaşımlarıyla karşılaşmaktadır. Bu durum, literatürde "bilişsel ihtiyaç inşası" olarak adlandırılan fenomene yol açar. Algoritmalar, tüketicinin örtük arzularını analiz ederek, ona daha önce varlığından dahi haberdar olmadığı ürünleri ideal bir yaşam tarzı illüzyonu içinde sunar. Dolayısıyla sosyal medya, sadece mevcut ihtiyaçlara bir yanıt üretmekle kalmaz; görsel uyarıcılar ve akran baskısı dinamikleri aracılığıyla tüketicinin zihninde yapay, anlık ve güçlü "yeni ihtiyaçlar icat eder".

Bilgi Arama: Arama Maliyetlerinin Azalması ve eWOM Dinamikleri

İhtiyacın ya da arzunun belirmesinin ardından tüketicinin yöneldiği ikinci evre bilgi arama aşamasıdır. Geleneksel pazarda bilgi arama, yüksek zaman, emek ve bazen de finansal maliyet gerektiren (mağazaları gezmek, katalog incelemek, uzmanlara danışmak) yorucu bir süreçti. Sosyal medyanın kurduğu bilgi otobanı, arama maliyetlerini sıfıra yaklaştırırken, bilginin kaynağını da kurumsal odaklardan tüketici odaklarına doğru kaydırmıştır.

Hennig-Thurau ve diğerleri (2004) tarafından elektronik ağızdan ağıza iletişim (eWOM) üzerine yapılan temel çalışma, tüketicilerin online platformlardaki kullanıcı yorumlarını ve tecrübe aktarımlarını

kurumsal reklamlara kıyasla neden birincil bilgi kaynağı olarak gördüklerini açıklamaktadır. Tüketiciler, sosyal medyadaki eWOM kanallarını birer "objektif rehber" olarak kabul ederler. Çünkü bu içerikler, ticari bir çıkar taşımayan, ürünü bizzat kendi bütçesiyle deneyimlemiş gerçek bireylerin ham fikirlerini barındırır. Sosyal medya aramaları, tüketicinin sadece teknik bilgiye değil, ürünün gerçek kullanım esnasındaki performans kusurlarına, kargo süreçlerindeki aksaklıklara ve müşteri hizmetleri deneyimlerine de saniyeler içinde erişmesini sağlar. Bu durum bilgi asimetrisini ortadan kaldırırken, tüketiciyi kurumsal dezenformasyona karşı koruyan bir kalkan vazifesi görür.

Alternatiflerin Değerlendirilmesi ve Satın Alma Kararı: Sosyal Kanıt ve Güven Transferi

Bilgi arama safhasında elde edilen yoğun veriler, alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında bilişsel bir süzgeçten geçirilir. Tüketiciler bu aşamada markaların vaat ettiği nesnel faydalar ile sosyal çevrenin atfettiği öznel değerler arasında bir denge kurmaya çalışırlar. Dijital ortamda alternatiflerin sayısının geometrik olarak artması, tüketicide "seçim felci" (*choice paralysis*) ve karar sonrası pişmanlık korkusu yaratır. İşte bu noktada, Robert Cialdini'nin kavramsallaştırdığı **"Sosyal Kanıt" (Social Proof)** ilkesi devreye girer.

Tüketici, hangi alternatife yöneleceğini bilemediğinde, sosyal medyadaki diğer aktörlerin çoğunluk davranışlarını doğru eylemin bir göstergesi olarak kabul eder. Bir ürünün altındaki binlerce olumlu yorum, yüksek beğeni sayıları veya güvenilir bir influencer'ın o ürünü tavsiye etmesi, güçlü birer sosyal kanıt unsuru olarak işlev görür. Chen ve Wang (2016) tarafından yapılan çalışmada vurgulandığı üzere, sosyal ticaret platformlarında güven mekanizması geleneksel e-ticaret sitelerinden kökten ayrışmaktadır. Geleneksel e-ticarette güven, sitenin teknolojik altyapısına, gizlilik sözleşmelerine ve kurumsal büyüklüğüne (sistem güveni) endeksliyken; sosyal ticarette güven, topluluğun ortak onayına ve akran etkileşimine (sosyal güven) dayalıdır. Chen ve Wang (2016), güvenin kurumsal yapılardan sosyal ticaret ağlarına transfer edildiğini ampirik literatür desteğiyle ortaya koymuşlardır. Bu güven transferi, tüketicinin zihnindeki risk algısını kırarak, satın alma niyetinin doğrudan eyleme dökülmesini tetikler.

Satın Alma Sonrası Davranış: Pasif Alıcılıktan Değer Ortaklığına (Co-Creation)

Geleneksel pazarlama modellerinin en büyük handikaplarından biri, satın alma karar sürecini ürünün satıldığı ve paranın el değiştirdiği anda biten doğrusal bir işlem olarak görmesiydi. Satın alma sonrası evre, sadece bir müşteri memnuniyeti veya şikayet yönetimi başlığı altında pasif bir alan olarak konumlandırılmaktaydı. Sosyal medya pazarlaması, bu aşamayı sürecin sonu olmaktan çıkararak yepyeni bir döngünün başlangıcı haline getirmiştir.

Satın alma işlemini gerçekleştiren tüketici, sosyal medyanın kendisine sunduğu dijital kürasyon olanakları sayesinde deneyimlerini (kutu açma videoları, ürün fotoğrafları, kullanım eleştirileri) anlık olarak kendi ağında paylaşmaktadır. Tüketici bu eylemiyle, pazarlama literatüründe Vargo ve Lusch (2004) tarafından geliştirilen **Hizmet-Baskın Mantık (Service-Dominant Logic)** çerçevesinde, pasif bir tüketici konumundan aktif bir **değer yaratıcısı (co-creator)** konumuna geçiş yapmaktadır. Tüketicinin ürettiği bu satın alma sonrası içerikler (yeni bir UGC dalgası), dijital ağlarda dalgalar halinde yayılarak o anda "problem tanıma" veya "bilgi arama" aşamasında olan binlerce diğer potansiyel tüketicinin karar sürecini beslemeye başlar. Böylece süreç, düz bir hat olmaktan çıkarak kendi kendini besleyen, dinamik ve döngüsel bir müşteri deneyim ekosistemine dönüşür (Lemon & Verhoef, 2016).

Satın Alma Karar Sürecinde Sosyal Medya Müdahaleleri Matrisi

Aşağıdaki tablo, geleneksel satın alma karar süreci aşamalarının sosyal medya unsurları tarafından nasıl yapısal bir dönüşüme uğratıldığını ve bu dönüşümün arkasındaki temel kuramsal dayanakları bütüncül bir şablonla özetlemektedir:

Geleneksel Aşamalar	Sosyal Medya Pazarlaması Dinamikleri	Tüketici Üzerindeki Davranışsal Etkisi	Temel Kuramsal Dayanaklar
1. Problem Tanıma	Algoritmik Akışlar, Kişiselleştirilmiş Hedefleme, Görsel Uyarıcılar	Örtük ihtiyaçların yapay olarak tetiklenmesi, "İhtiyaç İcadı"	Kaplan & Haenlein (2010)
2. Bilgi Arama	Elektronik Ağızdan Ağıza İletişim (eWOM), Kullanıcı Yorumları	Arama maliyetlerinin minimize edilmesi, Bilgi asimetrisinin kırılması	Hennig-Thurau vd. (2004)
3. Alternatiflerin Değerlendirilmesi	Influencer Tavsiyeleri, Topluluk Onayları, Beğeni/Yorum Metrikleri	"Sosyal Kanıt" mekanizmasının çalışması, Seçim felcinin aşılması	Cialdini (2001); Lamberton & Stephen (2016)
4. Satın Alma Kararı	Sosyal Ticaret Ara Yüzleri, Güven Entegrasyonları, Anlık Alışveriş Butonları	Güvenin kurumsal yapılardan sosyal ağlara transferi, Akışkan satın alma	Chen & Wang (2016); Hajli (2014)
5. Satın Alma Sonrası Davranış	UGC Üretimi, Deneyim Paylaşımı, Dijital Şikayet/Memnuniyet Aktivizmi	Pasif alıcı rolünden aktif "Değer Ortaklığına" geçiş; Döngüselliğin başlaması	Lemon & Verhoef (2016); Vargo & Lusch (2004)

Bu çalışmada kuramsal olarak incelenen sosyal medya pazarlamasının satın alma karar sürecine etkileri, modern işletmelerin stratejik yönetim kademeleri, bölge direktörleri ve yenilik yöneticileri için çok boyutlu yönetimsel çıkarımlar barındırmaktadır. Geleneksel pazarlamanın "büyük bütçeli tek taraflı reklam kampanyaları tasarlama" mantığı, yerini "tüketici deneyimini ve dijital toplulukları yönetme" sanatına bırakmak zorundadır.

İşletmelerin düştüğü en yaygın stratejik hatalardan biri, sosyal medya kanallarını da tıpkı geleneksel televizyon veya bilboard mecraları gibi sadece kendi kurumsal övgülerini yayınladıkları birer ilan tahtası olarak kullanmalarıdır. Literatürün net bir şekilde gösterdiği üzere, tüketici bu tür kurumsal ve kurgulanmış söylemlere karşı sistematik bir şüphe beslemektedir (Schivinski & Dabrowski, 2016).

Yöneticilerin benimsemesi gereken strateji, kurumsal narsisizmi bir kenara bırakarak, markayı çevreleyen dijital toplulukların (*brand communities*) doğal birer parçası olmaktır. Tüketicilerin kendi aralarında rahatça markayı tartışabilecekleri, ham ve filtresiz içerik üretebilecekleri alanlar teşvik edilmelidir. Markanın kontrol dürtüsünü esnetmesi ve tüketicinin marka hikayesini ortaklaşa yazmasına

izin vermesi, algılanan otantikliği ve dolayısıyla markaya yönelik organik sadakati artıran en temel unsurdur.

Sosyal medyanın şeffaf yapısı, müşteri memnuniyetsizliklerinin de kitlesel ölçekte hızla yayılmasına (olumsuz eWOM) zemin hazırlamaktadır. Pek çok geleneksel yönetici, olumsuz yorumları silme veya görmezden gelme refleksi gösterse de, bu durum dijital çağda krizin daha da büyümesine neden olmaktadır.

Stratejik yönetim düzeyinde olumsuz kullanıcı içerikleri, işletme için ücretsiz birer kalite kontrol, operasyonel denetim ve inovasyon kaynağı olarak kabul edilmelidir. Hizmet Telafisi Paradoksu (*Service Recovery Paradox*) çerçevesinde, sosyal medyada bir şikayet metni yayınlayan tüketiciye kurumsal kalıplardan uzak, empatik, samimi ve çözüm odaklı anlık bir geri dönüş sağlandığında, o tüketicinin markaya olan bağlılığı süreçte hiç sorun yaşamamış bir müşteriye kıyasla daha yüksek bir seviyeye taşınabilmektedir. Olumsuz yorumlar, sistemin zayıf halkalarını gösteren kıymetli birer operasyonel navigasyon aracıdır.

SONUÇ

Bu kavramsal bildiri çalışmasında, sosyal medya pazarlamasının tüketici satın alma karar sürecinin klasik beş aşaması üzerindeki dönüştürücü rolü, uluslararası alanyazındaki köklü teorik modeller (Lamberton & Stephen, 2016; Kannan & Li, 2017; Lemon & Verhoef, 2016; Hajli, 2014) referans alınarak sistematik bir yaklaşımla incelenmiştir. ulaşılan kuramsal sonuçlar göstermektedir ki, Web 2.0 felsefesi ve sosyal ticaret altyapıları, tüketici karar mekanizmasını rasyonel ve doğrusal bir hat olmaktan çıkararak, akran etkileşimine dayalı, güven odaklı ve döngüsel bir matrise dönüştürmüştür. Sosyal medya, tüketicileri pazarlama iletişiminin pasif nesneleri olmaktan çıkarıp, değer yaratım sürecinin aktif özneleri haline getirmiştir.

Gelecekte yapılacak ampirik ve kavramsal araştırmaların, Üretken Yapay Zeka (Generative AI) teknolojilerinin sosyal medya ekosistemine entegrasyonuyla ortaya çıkan **AI-Generated Content (AIGC)** olgusuna yoğunlaşması gerekmektedir. Yapay zeka algoritmaları tarafından saniyeler içinde üretilen kusursuz tüketici simülasyonları, sahte kullanıcı yorumları ve sanal influencer'ların, tüketicinin "sosyal kanıt" ve "otantiklik" algılarını nasıl manipüle ettiği literatürde keşfedilmeyi bekleyen en güncel ve kritik alandır. Gelecek çalışmaların, bu yapay zeka destekli yeni dijital evrenin tüketici psikolojisi üzerindeki etkilerini sadece beyan odaklı ölçeklerle değil; göz takibi (*eye-tracking*), nöropazarlama yöntemleri (*fMRI / EEG*) ve büyük veri analitiği (*big data analytics*) yöntemlerini bir arada kullanan karma metodolojilerle incelemesi, pazarlama teorisine çok boyutlu ve vizyoner katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

Chen, J., & Wang, X. (2016). Trust transfer in social commerce: The role of social presence and community support. International Journal of Information Management, 36(6), 1230-1241.

Cialdini, R. B. (2001). Influence: Science and practice (4th ed.). Allyn and Bacon.

Hajli, N. (2014). A study of the impact of social media on consumers. International Journal of Market Research, 56(3), 387-404.

Hennig-Thurau, T., Gwinner, K. P., Walsh, G., & Gremler, D. D. (2004). Electronic word-of-mouth via consumer-opinion platforms: What motivates consumers to articulate themselves on the Internet?. Journal of Interactive Marketing, 18(1), 38-52.

Kannan, P. K., & Li, H. A. (2017). Digital marketing: A framework, review and research agenda. International Journal of Research in Marketing, 34(1), 22-45.

Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2010). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of Social Media. Business Horizons, 53(1), 59-68.

Lamberton, C., & Stephen, A. T. (2016). A thematic exploration of digital, social media, and mobile marketing: Research evolution from 2000 to 2015 and an agenda for the future. Journal of Marketing, 80(6), 146-172.

Lemon, K. N., & Verhoef, P. C. (2016). Understanding customer experience throughout the customer journey. Journal of Marketing, 80(6), 69-96.

Mangold, W. G., & Faulds, D. J. (2009). Social media: The new hybrid element of the promotion mix. Business Horizons, 52(4), 357-365.

OECD. (2007). Participative web and user-created content: Web 2.0, wikis and social networking. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Schivinski, B., & Dabrowski, D. (2016). The effect of social media communication on consumer perceptions of brands. Journal of Marketing Communications, 22(2), 189-214.

Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a new dominant logic for marketing. Journal of Marketing, 68(1), 1-17.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MÜŞTERİ İLİŞKİLERİ YÖNETİMİNDE (CRM) YAPAY ZEKA UYGULAMALARI VE MÜŞTERİ DENEYİMİ DÖNÜŞÜMÜ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT (CRM) AND CUSTOMER EXPERIENCE TRANSFORMATION

Doç. Dr. Hasan Selçuk ETİ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, İİBF, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3792-697X

Güvenç KURUL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme A.B.D.

ORCID NO: https://orcid.org/0009-0004-5789-2254

ÖZET

Müşteri İlişkileri Yönetiminde (CRM) yapay zeka (AI) tabanlı teknolojilerin yarattığı dönüşümü ele alan bu çalışma, pazarlama literatürünün güncel kuramsal modellerini sentezleyerek müşteri deneyimi (CX) optimizasyonunu çok boyutlu bir şekilde incelemektedir. Dijitalleşmenin ve büyük veri analitiğinin eşi benzeri görülmemiş bir ivme kazanmasıyla birlikte, CRM sistemleri temel ve stratejik bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Geleneksel, geriye dönük veri toplamaya ve statik raporlamaya dayalı CRM yapılarından farklı olarak yapay zeka, pazarlama stratejilerini ve tüketici davranışlarını derinden etkileyerek CRM'i proaktif, gerçek zamanlı ve öngörücü bir yapıya evirmektedir (Davenport, Guha, Grewal, & Bressgott, 2020). Bu devrimsel dönüşümün tam merkezinde, hiper-rekabetçi ortamlarda işletmeler için en kritik ayırt edici unsur olan müşteri deneyiminin iyileştirilmesi yer almaktadır. Hizmet sektöründe yapay zekanın iş akışlarına entegrasyonu, akademik literatürde "Yapay Zeka Hizmet Teorisi" ile kuramsal bir zemine oturtulmuştur. Huang ve Rust (2018) tarafından detaylandırılan bu teoriye göre, yapay zeka insan emeğini iş düzeyinde toptan bir şekilde değil, öngörülebilir bir sırayla görev (task) düzeyinde ikame etmektedir. Hizmet görevleri mekanik, analitik, sezgisel ve empatik zeka olarak dört ana kategoriye ayrılmaktadır. Rutin işlemler mekanik zekaya, veri analitiği gerektiren süreçler analitik zekaya devredilirken; derin duygusal bağ kurma yeteneği gerektiren sezgisel ve empatik beceriler ise ağırlıklı olarak insan çalışanların sorumluluğunda kalmalıdır (Huang & Rust, 2021). İşletmeler açısından verimlilik sağlayan bu entegrasyonun sosyolojik boyutlarına bakıldığında, tüketicilerin yapay zeka deneyimlerinin her zaman sorunsuz olmadığı görülmektedir. Puntoni, Reczek, Giesler ve Botti (2021), yapay zeka ile müşteri etkileşimini; veri yakalama, sınıflandırma, yetki devri ve sosyal etkileşim olmak üzere dört ana deneyimsel boyut üzerinden incelemiştir. Tüketiciler, kendilerine sunulan asistanlıktan fayda sağlasalar da; rızasız veri işlenmesinden kaynaklı mahremiyet ihlali ve sömürü hissi, algoritmik önyargılara dayalı ayrımcı sınıflandırma veya makineyle kurulan sahte sosyal bağlar sebebiyle psikolojik sürtünmeler ve yabancılaşma yaşayabilmektedirler (Puntoni, Reczek, Giesler, & Botti, 2021). Müşteri deneyimi statik bir etkileşim değil; satın alma öncesi, anı ve sonrasındaki sayısız temas noktasından (touch points) oluşan oldukça karmaşık bir yolculuktur (Lemon & Verhoef, 2016). Makine öğrenmesi algoritmaları bu yolculuğun her aşamasında devreye girerek kitlesel kişiselleştirmeyi operasyonel bir standarda dönüştürür (Kumar, Rajan, Venkatesan, & Lecinski, 2021). Tahmine dayalı hedefleme, gerçek zamanlı tavsiye motorları ve doğal dil işleme tabanlı asistanlar sayesinde tüketici niyetleri anında yakalanıp satışa dönüştürülmektedir. CRM'in en kritik unsurlarından olan müşteri kaybı (churn) yönetiminde önemli bir paradigma değişimi yaşanmaktadır. Ascarza (2018), en yüksek ayrılma riskine sahip müşterileri doğrudan hedef almanın ve onlara bütçe harcamanın çoğunlukla "nafile" (retention futility) bir çaba olduğunu ampirik deneylerle kanıtlamıştır. Bunun yerine, yapay zeka modellerinin salt kayıp riskini değil, sunulan pazarlama kampanyasına karşı fikrini değiştirme (uplift/net etki) potansiyeli yüksek müşterileri hedefleyecek nedensel çıkarım modelleriyle kurgulanması gerekmektedir (Ascarza, 2018). Yapay zeka destekli CRM stratejileri işletmelere

operasyonel hız ve hiper-kişiselleştirme sunarak müşteri değerini maksimize etme potansiyeli taşır. Ancak pürüzsüz ve sürdürülebilir bir müşteri deneyimi için bu mimarinin; insan empatisini barındıran, şeffaf, etik ve tüketicinin psikolojik sınırlarına saygı duyan hibrit bir model çerçevesinde tasarlanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM), Müşteri Deneyimi (CX), Dijital Pazarlama, Kavramsal Model.

ABSTRACT

Addressing the transformation brought about by Artificial Intelligence (AI)-based technologies in Customer Relationship Management (CRM), this study examines customer experience (CX) optimization from a multidimensional perspective by synthesizing contemporary theoretical models in the marketing literature. As digitalization and big data analytics gain unprecedented momentum, CRM systems are undergoing a fundamental and strategic transformation. Unlike traditional CRM structures based on retrospective data collection and static reporting, AI profoundly influences marketing strategies and consumer behavior, evolving CRM into a proactive, real-time, and predictive framework (Davenport, Guha, Grewal, & Bressgott, 2020). At the core of this revolutionary transformation lies the enhancement of the customer experience, which serves as the most critical differentiating factor for businesses in hyper-competitive environments. The integration of AI into workflows within the service sector is theoretically grounded in the academic literature through the "Theory of Artificial Intelligence in Service." According to this theory, detailed by Huang and Rust (2018), AI substitutes human labor not comprehensively at the job level, but at the task level in a predictable sequence. Service tasks are categorized into four main intelligences: mechanical, analytical, intuitive, and empathetic. While routine operations are delegated to mechanical intelligence and processes requiring data analytics to analytical intelligence, intuitive and empathetic skills—which demand the ability to forge deep emotional connections—should remain predominantly the responsibility of human employees (Huang & Rust, 2021). Examining the sociological dimensions of this integration, which drives operational efficiency for businesses, it becomes evident that consumers' AI experiences are not always frictionless. Puntoni, Reczek, Giesler, and Botti (2021) investigated customer-AI interaction across four primary experiential dimensions: data capture, classification, delegation, and social interaction. Although consumers benefit from the provided assistance, they may experience psychological friction and alienation due to privacy violations and feelings of exploitation stemming from non-consensual data processing, discriminatory classification driven by algorithmic biases, or pseudo-social bonds established with machines (Puntoni, Reczek, Giesler, & Botti, 2021). Customer experience is not a static interaction; rather, it is a highly complex journey comprising numerous touchpoints prior to, during, and after a purchase (Lemon & Verhoef, 2016). Machine learning algorithms intervene at every stage of this journey, transforming mass personalization into an operational standard (Kumar, Rajan, Venkatesan, & Lecinski, 2021). Through predictive targeting, real-time recommendation engines, and natural language processing-based assistants, consumer intents are instantaneously captured and converted into sales. Furthermore, a significant paradigm shift is occurring in customer churn management, a critical component of CRM. Ascarza (2018) empirically demonstrated that directly targeting and allocating budgets to customers with the highest risk of defection is often an exercise in "retention futility." Instead, AI models must be constructed utilizing causal inference models designed to target customers with a high potential to change their behavior in response to a marketing campaign (uplift/net effect), rather than solely focusing on the baseline risk of churn (Ascarza, 2018). Ultimately, AI-powered CRM strategies possess the potential to maximize customer value by providing businesses with operational velocity and hyper-personalization. However, to ensure a seamless and sustainable customer experience, this architecture must be designed within the framework of a hybrid model that integrates human empathy, maintains transparency and ethical standards, and strictly respects the psychological boundaries of the consumer.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Customer Relationship Management (CRM), Customer Experience (CX), Digital Marketing, Conceptual Model

GİRİŞ

Pazarlama disiplini, sanayi devriminden bu yana ürün odaklı yaklaşımlardan hizmet odaklı yaklaşımlara, günümüzde ise deneyim odaklı ekonomiye doğru evrilen bir tarihsel yörünge izlemiştir. Deneyim ekonomisinde tüketiciler, yalnızca fiziksel ürünlerin somut faydalarını değil, markalarla kurdukları etkileşimlerin bilişsel, duygusal, duyusal ve sosyal tatminini aramaktadır. Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM), ilk ortaya çıktığı yıllardan bu yana müşteri memnuniyetini, sadakatini ve yaşam boyu değerini (Customer Lifetime Value - CLV) maksimize etmeyi hedefleyen temel bir yönetsel felsefe olmuştur. Ancak 1990'ların sonları ve milenyumun başlarında kurulan geleneksel CRM sistemleri, işlemsel verileri (transactional data) kayıt altına alan, şikayetleri statik olarak sınıflandıran ve geniş demografik segmentasyonlar üzerinden kitlesel pazarlama kampanyaları yürüten hantal araçlar olarak işlev görmüştür (Abdulwahid & Şaylan). Bu sistemler, müşterinin geçmişte "ne yaptığını" kaydetmekte kısmen başarılı olsalar da "neden yaptığını" ve "bir sonraki adımda ne yapacağını" öngörmekte yetersiz kalmışlardır.

Günümüzde ise yapay zeka destekli CRM platformları, işletme stratejilerini baştan aşağıya değiştirmektedir. Kumar, Rajan, Venkatesan ve Lecinski (2019) tarafından vurgulandığı üzere, yapay zeka, kişiselleştirilmiş etkileşim pazarlamasında (personalized engagement marketing) bir paradigma kayması yaratarak, işletmelerin değişen pazar koşullarını eşzamanlı olarak algılamasını, eyleme dökmesini ve örgütsel olarak dönüşmesini (sense, seize, transform) sağlamaktadır. Üretken (Generative), öngörücü (Predictive) ve ajan tabanlı (Agentic) yapay zeka modellerinin CRM mimarisine entegre edilmesiyle birlikte veriler anında anlamlandırılmakta, karar süreçleri otonomlaşmakta ve müşteri ile marka arasındaki iletişim eşi görülmemiş bir hız ve isabetlilikle yürütülmektedir.

Bu evrimsel sürecin en dikkat çekici çıktılarından biri "öngörücü pazarlama" (anticipatory marketing) kavramının operasyonel bir gerçekliğe dönüşmesidir. Geleneksel pazarlama anlayışı, tüketicinin mevcut ve beyan edilmiş ihtiyaçlarını tatmin etmeye odaklanırken; güncel makine öğrenmesi algoritmaları, tüketicilere ürünleri henüz kendi bilişsel süreçlerinde dahi farkında olmadıkları potansiyel eğilimlerine göre sunabilmektedir. Bu bağlamda yapay zeka, pazarlamanın işlevini mevcut talebi karşılamaktan çıkararak, arzu oluşumu sürecine dolaylı olarak katılan ve yeni ihtiyaçlar yaratan bir konuma taşımıştır (Kumar vd., 2019).

Ancak bu teknolojik devrim, akademik literatürde derinlemesine incelenmesi gereken karmaşık kuramsal ve pratik sorunları da beraberinde getirmektedir. Davenport, Guha, Grewal ve Bressgott (2020), yapay zekanın pazarlama üzerindeki etkisini anlamak için; zeka seviyelerini, görev tiplerini ve yapay zekanın fiziksel bir robotik bedene sahip olup olmadığını kapsayan çok boyutlu bir analitik çerçeve önermişlerdir. Yazarlar, yapay zekanın insan yöneticilerin yerini almasından ziyade onların kapasitelerini artırdığı (augmentation) senaryoların çok daha etkili sonuçlar doğuracağını savunmaktadır. Bu kongre bildirisi, bahsi geçen kuramsal tartışmaları temel alarak; yapay zeka destekli hizmet süreçlerini, müşteri yolculuğunun dinamik doğasını, tüketici etkileşimlerinin sosyolojik maliyetlerini ve müşteri elde tutma (retention) stratejilerindeki nedensel (causal) dönüşümü detaylı bir şekilde analiz etmektedir.

Hizmette Yapay Zeka Teorisi ve Zeka Katmanları

Hizmet sektöründe ve pazarlama operasyonlarında algoritmaların iş akışlarına dahil olması, emeğin makinelere devredilmesi noktasında ontolojik tartışmaları beraberinde getirmiştir. Akademik literatürde bu entegrasyon, Huang ve Rust (2018, 2021) tarafından geliştirilen "Hizmette Yapay Zeka Teorisi" (Theory of Artificial Intelligence in Service) ile kuramsal bir zemine oturtulmuştur. Bu teori, makinelerin insanları toptan ve ani bir şekilde işsiz bırakacağı yönündeki distopik yaklaşımları

reddederek, ikame sürecinin öngörülebilir, sıralı ve "görev" (task) düzeyinde gerçekleştiğini ileri sürmektedir.

Araştırmacılar, insan emeğini ve yapay zeka kapasitesini dört temel zeka boyutu üzerinden kavramsallaştırmıştır: mekanik, analitik, sezgisel ve empatik zeka. Teknolojik gelişim mekanik zekadan başlayarak empatik zekaya doğru hiyerarşik bir evrim izlemektedir ve CRM süreçlerindeki entegrasyon bu sırayı takip etmektedir (Huang & Rust, 2021).

Pazarlama Stratejilerinde Zeka Boyutlarının İşlevsel Dağılımı

Pazarlama karması ve CRM bağlamında bu zeka türleri incelendiğinde, her bir katmanın kendine has operasyonel çıktılara sahip olduğu görülmektedir.

TABLO 1 Pazarlama ve CRM Stratejilerinde Zeka Boyutlarının İşlevsel Dağılımı (Huang & Rust, 2018, 2021)

Zeka Türü (Intelligence)	Temel Özellikleri ve Yetkinlikleri	Pazarlama / CRM Sürecindeki Yansıması ve Görevleri (Huang & Rust, 2018, 2021)
Mekanik Zeka (Mechanical)	Rutin, tekrarlayan, öngörülebilir görevlerin standardizasyonu. Sınırlı öğrenme kapasitesi, kurallara dayalı algoritmalar.	Veri toplama, temel pazar araştırması, kitlesel veri girişi ve CRM standartizasyonu. Hedef kitle tespitinde (segmentasyon) segment tanıma işlemlerini otonomlaştırır.
Analitik Zeka (Analytical)	Büyük veriyi (Big Data) işleyebilme, mantıksal çıkarım yapabilme, kompleks desenleri bulma ve bilgiye dayalı tahminsel kararlar alma.	Hedefleme (targeting), tavsiye motorları kurgusu, dinamik fiyatlandırma, churn (kayıp) tahmini ve kişiselleştirilmiş pazarlama iletişimi. Segment önerilerinde bulunur.
Sezgisel Zeka (Intuitive)	Yapılandırılmamış verileri (doğal dil, metin, ses, görüntü) anlayabilme, derin öğrenme ile anlık bağlamsal içgörüler üretebilme.	Marka konumlandırma (positioning), müşteri niyet analizi (sentiment analysis), karmaşık kişiselleştirilmiş deneyim oluşturma ve ilişkisel ağların haritalanması (segment resonance).
Empatik Zeka (Empathetic)	İnsan duygularını algılama, duygusal rezonans yaratma, karşılıklı empati geliştirme ve derin psikolojik, samimi bağlar kurabilme.	Güven inşası, karmaşık müşteri şikayetlerinin çözümü, B2B ilişkilerinde ikna, ilişkisel pazarlama süreçleri. CRM mimarisinde ağırlıklı olarak insana bırakılmalıdır.

Tablo 1'de özetlenen bu teorik çerçeve, yapay zekanın stratejik pazarlama planlamasındaki (STP: Segmentasyon, Hedefleme, Konumlandırma) rolünü sistematik bir yapıya kavuşturmaktadır. Pazarlama araştırması aşamasında; mekanik yapay zeka veri toplamada, analitik yapay zeka pazar analizinde, sezgisel yapay zeka ise müşteriyi derinden anlamada kullanılmaktadır (Huang & Rust, 2021). Eylemsel aşamada ise mekanik zeka standartlaştırmayı, analitik zeka kişiselleştirmeyi, sezgisel zeka ise ilişkiselleştirmeyi (relationalization) üstlenmektedir.

Bu entegrasyonun CRM sistemleri açısından yarattığı en büyük sonuç; veri analitiği, raporlama ve rutin etkileşimlerin otonom sistemlere devredilmesiyle birlikte, insan çalışanların rolünün daha fazla empati, duygusal zeka ve etik yargı gerektiren alanlara doğru kaymasıdır. Bir e-ticaret veya bankacılık CRM

platformunda sohbet robotu (chatbot), müşterinin şikayetini mekanik zeka ile sistemden bulur, müşterinin kurumu terk etme eğilimini analitik zeka ile hesaplar ve metin madenciliği yoluyla müşterinin o anki kızgınlığını sezgisel olarak algılayabilir. Ancak, kırılan güven bağını onarmak, kriz yönetimini sürdürmek ve müşteriye samimi bir teselli sunmak, yapay zekanın "tekinsiz vadi" (uncanny valley) etkisine düşmeden gerçekleştirebileceği eylemler değildir; bu nedenle süreç insan müdahalesine ve empatik zekaya devredilmelidir.

Müşteri Yolculuğu (Customer Journey) Optimizasyonu

Müşteri deneyimi, statik ve tekil bir etkileşim değil; müşterinin marka ile temas kurduğu satın alma öncesi, satın alma anı ve satın alma sonrasındaki sayısız temas noktasından (touch points) oluşan çok katmanlı, zaman yayılan ve oldukça karmaşık bir yolculuktur (Lemon & Verhoef, 2016). Geçmişte bu yolculuk doğrusal bir satış hunisi (sales funnel) olarak modellenirken, günümüzde dijital platformların, fiziksel mağazaların ve sosyal ağların iç içe geçmesiyle (omnichannel) bu süreç döngüsel ve öngörülemez bir karmaşıklığa bürünmüştür. Lemon ve Verhoef'un (2016) müşteri deneyimini bütüncül bir yapıda inceleyen temel çalışması, firmaların artık müşteri deneyimini sadece kontrol edebildikleri marka temas noktalarıyla (brand-owned touchpoints) değil, iş ortaklarının, bağımsız kanalların ve diğer tüketicilerin şekillendirdiği temas noktalarıyla (partner-owned, customer-owned, social touchpoints) birlikte ele alması gerektiğini göstermektedir.

Makine öğrenmesi ve yapay zeka algoritmaları, Lemon ve Verhoef'un (2016) kavramsallaştırdığı bu yolculuğun her aşamasına entegre olarak kitlesel kişiselleştirmeyi operasyonel ve yönetilebilir bir standarda dönüştürmektedir.

İlk aşama olan satın alma öncesi (farkındalık ve değerlendirme) sürecinde, tüketicilerin bir markayla ilgili bilişsel ve duygusal izlenimler geliştirdiği nokta hedeflenir. Bu aşamanın ana hedefi doğrudan satış yapmak değil, markanın tüketicinin zihninde bir aşinalık, ilgi ve güven hissi uyandırmasıdır (Lemon & Verhoef, 2016). Yapay zeka tabanlı programatik reklam algoritmaları ve veri yönetim platformları (DMP), kullanıcının dijital ayak izlerini analiz ederek, tüketicinin en yüksek etkileşim potansiyeli taşıdığı platformlarda, onun profiline en uygun mesajı karşısına çıkarır (Berg vd., 2020). Böylece, soğuk potansiyel müşteriler, davranışsal eğilimlerine göre ısıtılmış nitelikli potansiyel müşterilere (qualified leads) dönüştürülür.

İkinci aşama olan satın alma (etkileşim ve işlem) anında ise, tüketici ile marka arasındaki pürüzlerin (frictions) tamamen ortadan kaldırılması amaçlanır. Karar anının bilişsel yükünü azaltmak için akıllı fiyatlandırma (dynamic pricing) algoritmaları devreye girer. E-ticaret sepetlerinde gerçek zamanlı çalışan tavsiye motorları (recommendation engines) veya chatbotlar, Doğal Dil İşleme (NLP) teknolojileri ile tüketicinin niyetlerini anında saptayıp onlara kişiselleştirilmiş çapraz satış (cross-sell) teklifleri sunar. Alışveriş esnasında AR (Artırılmış Gerçeklik) veya akıllı arama destekleriyle süreç sürtünmesiz bir deneyime dönüşür.

Son aşama olan satın alma sonrası (tüketim, sadakat ve savunuculuk) süreç, deneyimin bir ürünün mülkiyetini geçmekle bitmediği, asıl değer üretiminin (value co-creation) başladığı evredir. Özellikle nesnelerin interneti (IoT) ile donatılmış cihazlar ve akıllı asistan hoparlörler (smart assistant speakers) üzerinden sürekli kullanım verisi toplanması, tüketim deneyiminin devamlı bir hizmet olarak algılanmasını sağlar (Varan & Özatar, 2025). Varan ve Özatar (2025) tarafından yapılan içerik analizi araştırması, akıllı asistan hoparlörlerin müşteri memnuniyeti üzerinde bilişsel ve işlevsel beklentileri (ses algılama hızı, fiziksel kalite, dil desteği) ciddi oranda artırdığını göstermektedir. Satın alma sonrasında devreye giren CRM sistemleri, bu cihazlardan gelen log kayıtlarını analiz ederek, müşteri ürünü terk etmeden (churn) aylar önce memnuniyetsizlik sinyallerini tespit eden öngörücü bakım (predictive maintenance) ve proaktif destek mekanizmalarını çalıştırır.

Nihayetinde, bütüncül bir Müşteri Yolculuğu Yönetimi (Customer Journey Management), birbirinden bağımsız gibi görünen bu aşamaları birbirine bağlayan merkezi bir "sinir sistemi" görevi görmektedir. Turizmden bankacılığa kadar geniş bir yelpazede, 2026 vizyonuna odaklanan çalışmalar, işletmelerin

yalıtılmış araçlardan ziyade bağlantılı bir müşteri deneyimi ekosistemi kurmaları gerektiğini ve yapay zekanın bu sistemde bir "karar katmanı" (decision layer) olarak işlev gördüğünü belirtmektedir.

Yapay Zeka - Tüketici Etkileşiminin Sosyo-Psikolojik Boyutları

Yapay zekanın CRM ekosistemine entegrasyonu, şirketler açısından operasyonel hız, maliyet düşüşü ve müşteri değerini maksimize etme potansiyeli taşısa da, bu devrimsel mimarinin tüketici tarafındaki algısı her zaman olumlu yönde gelişmemektedir. Tüketicilerin insan olmayan varlıklarla girdikleri etkileşimlerin yarattığı sosyolojik ve psikolojik maliyetler, pazarlama biliminin yüzleştiği en kritik sorun alanlarından biridir. Puntoni, Reczek, Giesler ve Botti (2021) tarafından yürütülen öncü çalışma, tüketicilerin yapay zeka ile etkileşimini dört ana deneyimsel boyut üzerinden analiz etmiş ve potansiyel psikolojik "sürtünme noktalarını" (friction points) kapsamlı bir çerçevede ortaya koymuştur.

Deneyimsel Boyutlar ve Yabancılaşma Riski

Puntoni ve arkadaşlarının (2021) "Tüketiciler ve Yapay Zeka: Deneyimsel Bir Perspektif" adlı ufuk açıcı çalışması, işletmelerin teknoloji yatırımlarının tüketiciler nezdinde neden değer yaratmada başarısız olabileceğini açıklayan şu boyutları önermektedir :

TABLO 2 Tüketici-Yapay Zeka Etkileşiminde Değer Yaratımı ve Değer Yıkımı Dengesi (Puntoni vd., 2021)

Etkileşim Boyutu (Puntoni vd., 2021)	İşlevsel ve Beklenen Fayda (Değer Yaratımı)	Psikolojik Maliyet / Sürtünme ve Yabancılaşma (Değer Yıkımı)
1. Veri Yakalama (Data Capture)	Daha isabetli tavsiyeler, hız ve hiper-kişiselleştirilmiş eşsiz müşteri deneyimi.	Mahremiyet İhlali ve Sömürü Hissi: Kişisel sınırların ihlal edildiği, verinin rıza dışı toplandığı ve ticarileştirildiği algısı. "Kişiselleştirme-Mahremiyet Paradoksu".
2. Sınıflandırma (Classification)	Müşterinin spesifik ihtiyaçlarına uygun segmentlerde doğru hizmetlerle anında eşleştirilmesi.	Algoritmik Önyargı ve Kimlik Kaybı: Bireyin benzersiz doğasının katı bir veri kümesine indirgenmesi. Algoritmik ayrımcılığa (bias) maruz kalma ve yanlış sınıflandırılma korkusu.
3. Yetki Devri (Delegation)	Karar yorgunluğunun ve bilişsel yükün azalması, sürekli kolaylık ve zahmetsiz alışveriş.	Otonomi Kaybı: Becerinin ve seçme özgürlüğünün makineye devredilmesi sonucu bireyin hissettiği işe yaramazlık, beceriksizleşme ve yabancılaşma hissi.
4. Sosyal Etkileşim (Social Interaction)	Empatik ses tonu, insansı (anthropomorphic) tasarım ve 7/24 erişilebilir, sabırlı dostane hizmet.	Sahte Sosyal Bağlar (Pseudo-Social Bonds): İnsani özellikler taklit eden makineyle kurulan ilişkide otantiklik eksikliği. "Tekinsiz Vadi" (uncanny valley) etkisi ile gelen güvensizlik.

Tablo 2'de detaylandırılan bu yapı, tüketicilerin yapay zekanın sağladığı kolaylıklardan memnun olsalar dahi, görünmez sosyo-psikolojik maliyetlerin uzun vadeli marka ilişkilerine nasıl zarar verebileceğini göstermektedir. Özellikle "algoritma aversiyonu" (algorithm aversion) kavramı bu noktada büyük bir önem arz etmektedir; ampirik çalışmalar, tüketicilerin çoğunlukla algoritmaların insanlardan çok daha isabetli ve hatasız kararlar verdiğini bildikleri halde, hatayı makine yaptığında bunu affetme eğiliminde olmadıklarını ortaya koymaktadır (Puntoni vd., 2021). İnsanların hataları doğalarının bir parçası olarak kabul edilirken, makinelerin hataları sistemsel bir çöküş veya kasıtlı bir önyargı olarak algılanmaktadır.

Buna ek olarak, "Kişiselleştirme-Mahremiyet Paradoksu" (Personalization-Privacy Paradox) dijital pazarlamanın en karmaşık stratejik çıkmazıdır. Analitik zeka yetkinlikleri sayesinde firmalar bireylerin tüketim örüntülerini mükemmele yakın bir şekilde tahmin edebilmektedir. Kumar vd. (2019) bu kapasitenin arzu yaratma sürecine etkisinden bahsederken, tüketicilerin bir taraftan sadece kendileriyle ilgili ürünleri görmek istemeleri, diğer taraftan ise bu ürünlerin nasıl tahmin edildiğini anladıklarında hissettikleri "gözetlenme" tedirginliği büyük bir tezat oluşturmaktadır. CRM mimarisi, tüketicinin psikolojik sınırlarına saygı duyan, rızaya dayalı ve şeffaf bir etik model çerçevesinde tasarlanmadığı takdirde, yapılan yüksek maliyetli yapay zeka yatırımları marka sadakatini artırmak yerine, müşterilerin yabancılaşarak markayı terk etmesine yol açabilmektedir.

Müşteri Kaybı (Churn) Yönetiminde Paradigma Değişimi: Nedensellik Devrimi ve Net Etki (Uplift) Modelleri

Müşteri İlişkileri Yönetimi uygulamalarının finansal olarak en büyük değer üreten ancak yönetilmesi en zor alanlarından biri müşteri kaybı yönetimidir (churn management). Akademik ve sektörel araştırmalar, rekabetçi pazarlarda yeni bir müşteri kazanmanın maliyetinin, mevcut bir müşteriyi elde tutmanın maliyetinden kıyaslanamayacak kadar yüksek olduğunu yıllar önce kanıtlamıştır. Bu motivasyonla, firmalar son yirmi yıldır veri tabanlarındaki müşterileri "terk etme olasılıklarına" (probability of churn) göre sıralayan istatistiksel regresyon modelleri ve makine öğrenmesi yaklaşımları kullanmışlardır. Amaç açıktır: En yüksek ayrılma riski taşıyan müşterileri tespit et ve pazarlama bütçesini (indirimler, özel e-postalar, sadakat puanları) bu riskli gruba tahsis et.

Ancak, modern pazarlama bilimi ve nedensel çıkarım (causal inference) alanındaki son gelişmeler, bu klasik yaklaşımın köklü bir kusur barındırdığını ampirik deneylerle gözler önüne sermiştir. Harvard Business School profesörlerinden Eva Ascarza'nın (2018) çalışmaları, CRM stratejilerindeki bu ezberleri tamamen bozmuş ve alanda bir paradigma değişimi yaratmıştır.

Elde Tutma Nafileliği (Retention Futility) ve Yanlış Hedefleme

Ascarza'nın (2018) "Elde Tutma Nafileliği: Yüksek Riskli Müşterileri Hedeflemek Etkisiz Olabilir" (Retention Futility: Targeting High-Risk Customers Might Be Ineffective) başlıklı makalesi, geniş ölçekli saha deneyleri (field experiments) kullanarak ayrılma riski en yüksek olan müşterilere pazarlama bütçesi harcamanın çoğunlukla israf olduğunu ve bazı durumlarda zararlı dahi olabileceğini ispatlamıştır.

Geleneksel makine öğrenmesi modelleri, müşterinin müdahale edilmeden (bir indirim veya hatırlatma sunulmadan) önceki ayrılma ihtimalini tahmin etmeye odaklanır. Oysa işletmenin asıl bilmesi gereken metrik, müşterinin ayrılma riski değil, **sunulan kampanyaya karşı nasıl bir davranış değişikliği göstereceğidir** (uplift/net etki). Yüksek riskli müşterilerin büyük bir kısmı, kendilerine ne teklif edilirse edilsin işletmeyi terk etmeye zihinsel olarak kararlıdır. Bu gruba yapılan harcamalar, okyanusa atılan bir damla su misali nafiledir.

Daha da kritik olan bulgu ise "Uyuyan Köpekler" (Sleeping Dogs) olgusudur. Bir telekomünikasyon veya yazılım aboneliğinde, bazı müşteriler hizmeti aktif olarak kullanmadıkları halde aboneliklerini iptal etmeyi unutmuş veya iptal işleminin bürokrasisinden çekindikleri için ertelemiş olabilirler. Bu müşteriler aslında "riskli" görünürler çünkü platforma giriş yapmamaktadırlar. Geleneksel sistem bu kişileri saptar ve onlara "Sizi özledik, işte size %20 indirim" konulu bir e-posta gönderir. Bu iyi niyetli tutundurma kampanyası, müşteriye var olan ama kullanmadığı ve para ödediği aboneliği hatırlatarak, uyuyan devi uyandırır ve müşterinin "Hazır hatırlamışken şu aboneliği iptal edeyim" demesine doğrudan sebep olur. Böylece, churn önleme kampanyasının kendisi, bizatihi churn'e neden olmuş olur.

Nedensel Çıkarım (Causal Inference) ve Uplift Matematiği

Ascarza (2018), bu istatistiksel ve stratejik paradoksu aşmak için salt tahmine dayalı (predictive) modeller yerine, "Nedensel Çıkarım" (Causal Inference) temeline dayanan "Net Etki" (Uplift) modellerinin sisteme entegre edilmesi gerektiğini savunmaktadır. Uplift modellemesi, bir pazarlama

eyleminin (treatment) spesifik bir müşteri üzerindeki bireysel nedensel etkisini (Individual Treatment Effect - ITE) veya koşullu ortalama tedavi etkisini (Conditional Average Treatment Effect - CATE) ayrıştırarak ölçmeyi hedefler.

Matematiksel bir çerçevede, müşteri 'nin kampanya sonucunda elde tutulma olasılığındaki net artış (LIFT) Ascarza (2018) tarafından şu şekilde formüle edilmektedir :

Bu formülde:

- ✓ : Müşteri 'nin marka ile olan olumlu aksiyonu (örn. aboneliğini devam ettirmesi veya ürünü satın alması).
- ✓ : Müşteriye ait gözlemlenebilir özellikler vektörü (yaş, cinsiyet, geçmiş alışveriş sıklığı, davranışsal gezinme verileri).
- ✓ : Müşteriye tutundurma kampanyasının (treatment) uygulandığı senaryo.
- ✓ : Müşteriye kampanyanın uygulanmadığı (kontrol) senaryosu.

İstatistiğin temel nedensellik problemine göre (Fundamental Problem of Causal Inference), aynı kişiyi aynı zaman diliminde hem kampanyaya maruz bırakıp hem de bırakmamak paralel evrenler haricinde imkansızdır. Bu nedenle yapay zeka tabanlı uplift algoritmaları (Rassal Ormanlar / Random Forests, Gradient Boosting, Causal Trees vb.), randomize kontrollü deneylerden (A/B testleri) elde edilen yığınsal verileri kullanarak birbirine çok benzeyen bireylerin (ikizlerin) farklı maruziyetlerdeki davranışlarını eşleştirir ve bu bireysel nedenselliği tahmin eder.

Ayrıca, Lemmens ve Gupta ile ortak yürütülen geniş kapsamlı çalışmalar, sadece net etki ihtimalinin (uplift probability) yeterli olmadığını, bu algoritmaların "kar bazlı bir kayıp fonksiyonu" (profit-based loss function) ile eğitilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu inovatif yaklaşım, algoritmayı; kampanyanın maliyeti, müşterinin sağlayacağı yaşam boyu kar potansiyeli ve tahmin hatasının yaratacağı finansal tahribata göre optimize ederek müşterileri sıralamasını sağlar.

Dört Temel Müşteri Segmenti ve Hedefleme Stratejisi

Uplift modellemesi sonuçları, veri tabanındaki müşterileri pazarlama uyaranlarına verdikleri/verecekleri tepkilere göre dört ana kavramsal çeyreğe ayırır. Yapay zeka destekli CRM bütçesi ve iletişim eforu sadece spesifik bir segmente odaklanmalıdır (Schoder & Rößler,2025) :

Sadece perakende ve hizmet (B2C) pazarlarında değil, De Caigny vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmalar, endüstriyel pazarlamada (B2B) da uplift modellemesinin müşteri kaybı yönetimini kökten değiştirdiğini göstermektedir. Ascarza'nın bir başka önemli saha deneyi bulgusu ise telekomünikasyon ağları üzerindeki "sosyal çarpan" (social multiplier) etkisidir. Ağ içerisindeki bir müşteriye kampanya yapılıp elde tutulması sağlandığında, bu kişinin birinci derece bağlantılarındaki diğer müşterilerin elde tutulma oranlarının da %28 oranında arttığı ampirik olarak gözlemlenmiştir (Ascarza vd.). Bu durum, CRM uygulamalarında yapay zekanın sadece bireyi değil, bireyin içinde bulunduğu sosyal ağı ve ağ etkilerini (network effects) de hesaba katan derin öğrenme sistemlerine evrilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır.

Segment Tipi	**Davranışsal Özellik ve Kampanyaya Tepki**	**Uygulanması Gereken CRM Stratejisi**

1. Garanti Olanlar (Sure Things)	Marka sadakati çok yüksektir. Kendilerine indirim veya kampanya sunulsa da sunulmasa da markada kalacaklardır.	**Kampanya Sunulmamalıdır.** Bu gruba pazarlama bütçesi harcamak yamyamlığa (cannibalization) ve gereksiz gelir kaybına yol açar. Organik olarak zaten markadadırlar.
2. Kayıp Vakalar (Lost Causes)	Her halükarda markayı terk etmeye kararlıdırlar. Kampanya sunulsa dahi fikirleri değişmeyecektir.	**Kampanya Sunulmamalıdır.** Geleneksel risk modellerinin en büyük hatası bütçeyi buraya akıtmaktır. Ayrılma nedenleri köklüdür, tutundurma eforları tamamen israftır.
3. Uyuyan Köpekler (Sleeping Dogs)	Kendi hallerine bırakıldıklarında pasif olarak markada kalmaya devam ederler. Ancak kendilerine bir kampanya ile dokunulduğunda rahatsız olup, iptali hatırlayıp markayı terk ederler.	**Kesinlikle Temas Kurulmamalıdır (Do Not Disturb).** Kampanyaların negatif etki (negative uplift) yarattığı en tehlikeli gruptur. Etkileşim doğrudan zarar getirir.
4. İkna Edilebilirler (Persuadables)	Kendi hallerine bırakılırlarsa ayrılacaklar, ancak doğru bir teşvik veya kampanya sunulduğunda fikirlerini değiştirip markada kalacaklardır.	**Bütün Odak ve Bütçe Buraya Ayrılmalıdır.** "Net Etki" (Uplift) skorunun en yüksek olduğu, yapay zekanın tespit etmesi gereken altın kitle burasıdır. Pazarlama yatırım getirisinin (ROI) maksimize edildiği yerdir.

TABLO 3 Müşteri Kaybı (Churn) Yönetiminde Dört Temel Davranışsal Segment ve Hedefleme Yaklaşımları

Bibliyometrik Eğilimler ve Gelecek Araştırma Gündemi

Literatürdeki bu dramatik kuramsal değişimlerin ve karmaşık algoritmik ilerlemelerin nicel bir yansıması olarak, yapay zeka ve müşteri deneyimi alanında üretilen akademik çalışmaların mevcut durumunu inceleyen bibliyometrik analizler son derece önemli bir harita sunmaktadır. Öztürk (2026) tarafından Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilen ve yüksek etki faktörlü dergilerde yayınlanan 1.048 hakemli makale üzerinde gerçekleştirilen detaylı bibliyometrik analiz çalışması, alanın entelektüel omurgasını net bir şekilde haritalandırmıştır.

Araştırma bulguları, yapay zeka destekli müşteri deneyimi alanındaki yayın ve atıf ivmesinin özellikle 2019 yılından itibaren büyük bir ivme kazandığını, pandeminin dijitalleşmeyi hızlandırmasının da etkisiyle 2023-2026 döneminde belirgin bir sıçrama yaşandığını göstermektedir. VOSviewer yazılımı aracılığıyla yapılan ortak kelime (co-occurrence) ve ortak atıf (co-citation) analizleri, genişleyen literatürün temel olarak beş büyük birbiriyle bağlantılı tematik küme etrafında yapılandığını işaret etmektedir :

- **Müşteri Etkileşimi ve Memnuniyet Çıktıları:** Yapay zekanın tüketici davranışları üzerindeki psikolojik, davranışsal ve bilişsel sonuçlarını test eden temel akım.
- **Kişiselleştirme ve Müşteri Yolculuğu Tasarımı:** Farklı temas noktalarında büyük veriye dayalı dinamik uyarlamaları, tavsiye sistemlerini ve omnichannel yaklaşımları inceleyen çalışmalar.

- **Sohbet Tabanlı Hizmet Etkileşimleri (Conversational Service Interactions):** Chatbotlar, sanal asistanlar ve akıllı hoparlörler (Sidaoui vd., 2020; Chen vd., 2021) aracılığıyla sağlanan mikro etkileşim kalitesini, antropomorfizmi ve yanıt verebilirliği (responsiveness) araştıran odaklar.
- **Dijital Dönüşüm ve Analitik Yöntemler:** İşletmelerin arka plandaki makine öğrenmesi algoritmalarını (Yapay Sinir Ağları vb.) ve süreç mimarilerini ele alan daha teknik boyutlu araştırmalar (Gür, 2020).
- **Mahremiyet, Etik ve Algılanan Risk:** Otonom sistemlerin yarattığı güvenlik zafiyetleri, rıza problemleri, ahlaki ikilemler ve Puntoni vd.'nin (2021) bahsettiği yabancılaşma boyutlarını irdeleyen eleştirel çalışmalar.

Bu kümelenmeler, yapay zeka destekli müşteri deneyiminin salt bir yazılım mühendisliği ya da bilgisayar bilimleri problemi olmanın çok ötesine geçtiğini; stratejik pazarlama yönetimi, sosyoloji, psikoloji ve etik disiplinlerinin kesişim kümesinde yer alan çok boyutlu bir ekosistem olduğunu doğrulamaktadır. Literatür her ne kadar hacimsel olarak büyümüş olsa da, sağlık, B2B finans hizmetleri, turizm gibi yüksek temas ve güven gerektiren sektörel alanlardaki (Ghesh vd., 2024; Pappas vd., 2023) deneyim uçurumlarının nasıl aşılacağı konusunda hâlâ ciddi teorik boşluklar barındırmaktadır. Özellikle yapay sinir ağları ile modellendirilen CRM sistemlerinde (Gür, 2020), insan unsurunun "insani dokunuşunu" kaybetmeden algoritmik doğruluğun nasıl entegre edileceği temel bir araştırma sorusu olarak ortada durmaktadır.

SONUÇ

Dijital ekonominin hızla olgunlaşması, teknolojik altyapıların demokratikleşmesi ve tüketicilerin teknoloji okuryazarlığının artmasıyla birlikte Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM), yapısal bir devrimin tam ortasında bulunmaktadır. Bir zamanların geriye dönük veri yığınları ve hantal raporlama araçları, derin öğrenme ve makine tabanlı algoritmaların devreye girmesiyle birlikte işletmelere anlık, bağlamsal ve hiper-kişiselleştirilmiş müşteri deneyimleri sunma fırsatı yaratmaktadır. Bu kongre bildirisinde detaylandırılan kuramsal sentezler, yapay zekanın CRM ekosistemindeki rolünü salt teknik bir "otomasyon ve maliyet kısma" vizyonundan çıkararak, modern pazarlamanın en kritik stratejik varlığı olarak konumlandırmaktadır.

Pazarlama stratejilerinin, hiper-rekabetçi ortamlarda ayakta kalabilmek için, raporda bahsi geçen kuramsal dayanakları (Huang & Rust, Puntoni vd., Lemon & Verhoef, Ascarza vd.) tek bir potada eriten yeni nesil bir entegre CRM yaklaşımına ihtiyacı vardır. Geleneksel sistemlerin yerini alacak olan bu mimari, algoritmaların tüketicileri sömürdüğü kör bir otomasyon mekanizması olmaktan ziyade, "İnsan Odaklı, Yapay Zeka Destekli" (AI-augmented, Human-centric) hibrit bir model olmalıdır. Literatür ışığında sektörel uygulayıcılara ve akademiye önerilen bu yeni kavramsal mimari dört temel katmandan oluşmaktadır:

1. Katman: Çok Kanallı Veri Emilimi ve Algısal İşleme (Mekanik ve Analitik Katman): Sistem, müşterinin dijital ve fiziksel yolculuğundaki (omnichannel) tüm yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verileri anlık olarak toplamalıdır. Huang ve Rust'ın (2018) teorisindeki gibi, rutin veri temizliği ve analitik kümeleme (segmentasyon) tamamen yapay zekanın hızına bırakılmalı, veri siloları kırılarak 360 derecelik tekil bir müşteri profili oluşturulmalıdır.

2. Katman: Nedensel Karar Motoru (Uplift ve Optimizasyon Katmanı): Toplanan veriler, doğrudan kitlesel pazarlama saldırılarına dönüşmemelidir. Ascarza'nın (2018) "elde tutma nafileliği" prensibi merkeze alınarak, sistem "bu müşteri bizi terk edecek mi?" sorusu yerine "bu müşteriye hangi müdahaleyi yaparsak pozitif bir tepki alırız?" sorusunu sormalıdır. Kampanyalar yalnızca "ikna edilebilirler" (persuadables) segmentine yönlendirilmeli ve uyuyan köpeklere dokunmaktan kaçınılmalıdır.

3. Katman: Psikolojik ve Etik Filtreleme (Denetim Katmanı): Karar motorundan çıkan algoritmik aksiyonlar, doğrudan tüketiciye ulaşmadan önce Puntoni ve arkadaşlarının (2021) belirttiği sosyo-psikolojik "sürtünme noktaları" testinden geçmelidir. Sistem, otonom kararın müşteride mahremiyet ihlali, ayrımcılık algısı veya otonomi kaybı yaratıp yaratmayacağını kontrol eden kısıtlayıcı güvenlik parametrelerine (guardrails) sahip olmalıdır. Şeffaflık, bu katmanın temel prensibidir.

4. Katman: Sosyo-Duygusal Etkileşim ve Teslimat (Empatik Katman): Modelin son noktası ve marka ile kurulan bağın nihai belirleyicisi, insani empatidir. Rutin işlemler sanal asistanlar ve chatbotlara devredilse de, karmaşık müşteri şikayetleri, derin güven inşası gerektiren süreçler ve etik yargı gerektiren durumlar mekanik sistemlerden derhal alınıp yetkilendirilmiş insan çalışanlara (human-in-the-loop) yönlendirilmelidir (Huang & Rust, 2021). Bu noktada yapay zeka, insanı sistemden çıkaran değil, çalışana müşterinin duygu durumunu ve geçmişini bir analiz olarak sunarak onun empatik kapasitesini artıran bir "orkestratör" işlevi görmelidir (Davenport vd., 2020).

Geleceğin kazanan işletmeleri ve markaları; müşteri yolculuğunu sadece çözülmesi gereken istatistiksel veya teknolojik bir mühendislik problemi olarak görenler değil, bu süreci sosyolojik, psikolojik ve nedensel dinamikleriyle derinlemesine anlayarak, insan empatisini makine hızıyla sentezleyebilen hibrit ekosistemler inşa edenler olacaktır. Pazarlama akademisinin ve endüstri liderlerinin önündeki asli görev, algoritmaların muazzam gücünü yalnızca şirketlerin kar marjlarını artırmak için değil, tüketici refahını (consumer well-being), otonomisini ve etik marka ilişkilerini yüceltmek için sürdürülebilir bir zemine oturtmaktır.

KAYNAKLAR

Abdulwahid, O., & Şaylan, O. (t.y.). Dijital dönüşüm ve CRM bağlamında yapay zeka. Dergipark.

Ascarza, E. (2018). Retention futility: Targeting high-risk customers might be ineffective. Journal of Marketing Research, 55(1), 80-98.

Ascarza, E., Hardie, B. G. S. (2013). A joint model of usage and churn in contractual settings. Marketing Science, 32(4), 570-590.

Davenport, T., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. Journal of the Academy of Marketing Science, 48(1), 24-42.

De Caigny, A., Coussement, K., Verbeke, W., Idbenjra, K., & Phan, M. (2021). Uplift modeling and its implications for B2B customer churn prediction: A segmentation-based modeling approach. Industrial Marketing Management, 10.1016/j.indmarman.2021.10.001.

Gür, Y. E. (2020). Müşteri ilişkileri yönetiminde (CRM) yapay zeka ve yapay sinir ağları ile müşteri verilerinin modellenmesi. Dergipark.

Huang, M. H., & Rust, R. T. (2018). Artificial intelligence in service. Journal of Service Research, 21(2), 155-172.

Huang, M. H., & Rust, R. T. (2021). A strategic framework for artificial intelligence in marketing. Journal of the Academy of Marketing Science, 49(1), 30-50.

Kumar, V., Rajan, B., Venkatesan, R., & Lecinski, J. (2019). Understanding the role of artificial intelligence in personalized engagement marketing. California Management Review, 61(4), 135-155.

Lemon, K. N., & Verhoef, P. C. (2016). Understanding customer experience throughout the customer journey. Journal of Marketing, 80(6), 69-96.

Lemmens, A., & Gupta, S. (t.y.). Managing churn to maximize profits. Harvard Business School Working Knowledge.

Öztürk, R. (2026). Artificial Intelligence-Enabled Customer Experience: A Bibliometric Analysis of Research Trends. Equinox, Journal of Economics, Business & Political Studies, 13(1), 62-81.

Puntoni, S., Reczek, R. W., Giesler, M., & Botti, S. (2021). Consumers and artificial intelligence: An experiential perspective. Journal of Marketing, 85(1), 131-151.

Schoder, D., & Rößler, J. (2025). To Treat or Not To Treat? Five Lessons Learned from Using Uplift Modeling to Optimize Marketing Campaigns. California Management Review Insights.

Varan, A., & Özatar, A. B. (2025). Müşterilerin online alışverişlerinde müşteri deneyimi: Yapay zeka destekli ürün yorumlarının içerik analizi. Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 18(2), 459-480.

SEÇMEN Mİ, TÜKETİCİ Mİ? OY VERME DAVRANIŞININ SİYASAL PAZARLAMA PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Sumru KALELİ

Trakya Üniversitesi Keşan Yusuf Çapraz Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu

ORCID ID: 0000 0003 2057 1700

ÖZET

Seçmen davranışları demokratik sistemlerin işleyişini anlamadaki kritik yapı taşlarından biridir ve tarihsel süreç içinde farklı disiplinler tarafından incelenmiştir. Seçmenlerin oy verme eğilimleri yalnızca siyaset biliminin çalışma alanının içine girmez. Bu aynı zamanda sosyoloji, psikoloji ve pazarlama disiplinlerinin de ortak çalışma alanlarından biridir. Bu multidisiplinerlik, konuyla ilgili literatürde çok boyutlu bir kuramsal altyapının oluşmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, herhangi bir ampirik saha araştırmasına başvurulmadan, oy verme davranışını açıklayan temel yaklaşımların tarihsel ve kavramsal bir perspektifle derlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında, literatürde kabul gören üç temel yaklaşım sistematik olarak incelenmiştir. İlk olarak, seçmenin sosyal çevresi ile sosyo-demografik özelliklerini (din, gelir seviyesi, eğitim durumu, sosyal sınıf, yerleşim yeri) merkeze alan Sosyolojik Yaklaşım (Columbia Ekolü) ele alınmıştır. Ardından, aday imajı ve seçmenin partiyle özdeşim kurması gibi psikolojik bağları vurgulayan Psikososyal Yaklaşım (Michigan Ekolü) incelenmiştir. Üçüncü olarak, seçmeni kendi çıkarını maksimize etmeye çalışan rasyonel bir aktör olarak tanımlayan, karar verme sürecinde seçmence fayda maliyet analizinin odağa alındığı Rasyonel Tercih Kuramı (Ekonomik Yaklaşım) açıklanmıştır.

Son olarak, günümüz dünyasının rekabetçi siyasal iletişim ortamını açıklamakta giderek daha belirleyici hale gelen "Siyasal Pazarlama Yaklaşımı" bağlamında; seçmenin bir tüketici, siyasi partilerin ve adayların ise birer marka olarak konumlandırılması değerlendirilmiştir.

Kavramsal boyutlarıyla ele alınan bu derleme çalışması, klasik teorilerin günümüzün dijitalleşen ve karmaşıklaşan kampanya süreçlerindeki açıklayıcı gücünü sorgulamaktadır. Çalışmada bununla birlikte, disiplinlerarası okumaların siyasal iletişim stratejileri geliştirmedeki önemi ortaya konmuştur. Literatürdeki bu kuramsal evrimin bütüncül bir şekilde sunulmasıyla, araştırmacılara ve siyasal kampanya yürütücülerine yapılandırılmış bir rehber işlevi görmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Oy Verme Davranışı, Siyasal Pazarlama, Oy Verme Modelleri, Literatür Taraması.

VOTER OR CONSUMER? AN EVALUATION OF VOTING BEHAVIOR FROM A POLITICAL MARKETING PERSPECTIVE

ABSTRACT

Voter behavior is a critical building block in understanding the functioning of democratic systems and has been examined by different disciplines throughout history. Voters' voting tendencies do not fall exclusively within the scope of political science; they also constitute a shared area of study across the disciplines of sociology, psychology, and marketing. This multidisciplinary nature has led to the formation of a multidimensional theoretical framework within the relevant literature. This study aims to compile the fundamental approaches explaining voting behavior from a historical and conceptual perspective, without resorting to any empirical field research.

Within the scope of the study, three fundamental approaches widely accepted in the literature are systematically examined. First, the Sociological Approach (Columbia School), which centers on the

voter's social environment and socio-demographic characteristics (religion, income level, education status, social class, and place of residence), is discussed. Next, the Psychosocial Approach (Michigan School), which emphasizes psychological ties such as candidate image and the voter's identification with a party, is examined. Thirdly, the Rational Choice Theory (Economic Approach) is explained, which defines the voter as a rational actor seeking to maximize their self-interest and focuses on the cost-benefit analysis conducted by the voter during the decision-making process.

Finally, within the context of the "Political Marketing Approach," which has become increasingly determinative in explaining the competitive political communication environment of today's world, the positioning of the voter as a consumer, and political parties and candidates as brands, is evaluated.

This conceptual review questions the explanatory power of classical theories in today's digitalizing and complex campaign processes. Furthermore, the study demonstrates the importance of interdisciplinary readings in developing political communication strategies. By presenting this theoretical evolution in the literature in a holistic manner, the study aims to serve as a structured guide for researchers and political campaign executives.

Keywords: Voting Behavior, Political Marketing, Voting Models, Literature Review.

PARASOSYAL DENEYİM YA DA PATOLOJİK ÖZNELLİĞİN KURULUŞU

Prof. Dr. Hüseyin KÖSE

Atatürk University, Faculty of Communication, Department of Journalism, Erzurum-Türkiye

ORCID: 0000-0001-5697-9009

ÖZET

"Parasosyal Deneyim ya da Patolojik Öznelliğin Kuruluşu" başlıklı çalışma, yeni medya çağındaki egemen ilişki biçimlerinin gidişatıyla parasosyal etkileşim biçimlerinin genel mahiyeti arasında düşündürücü bir analoji kurmaya çalışarak özünde şu soruya yanıt aramaktadır: Parasosyal deneyim sürecinde patolojik öznelliğin oluşumunu farkındalık yetisinden yoksun bilinç yapısında görmek mümkün müdür? Çalışma, bu anlamda parasosyal etkileşim odağında kurulan iletişimsel ilişkilerde şahsilik ilkesini yaderkliğe (özerklik yitimine) kurban eden ruhsal anormaliteyi teşhis etmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu anormal yönelişin nedeni olarak ise, bireyin kendilik algısını televizyon ve medya şöhretlerine öykünmeyle zora sokan, akabinde mahsurlu fenomen özdeşlikleri ve vekaleten yaşama arzusuyla iyice sekteye uğratan bir imrenme hiyerarşisi olduğunu iddia etmektedir. Buna göre, parasosyal anormalite sosyalin marazi biçimi ve nesnevari figürler arasındaki bir etkileşim tarzı olarak, aynı zamanda post-geleneksel ilişkinin de kaosunu yapılandırmakta olup, parasosyal duyarlığın sahnesinde somut ve fiili bağların yerini artık gitgide nahif temasların sefaleti almış görünmektedir. Dahası, aynı patolojik temas, muhatapları eşi benzeri görülmemiş bir yabancılaşma döngüsüne de sokmuş bulunmaktadır. Söz konusu yönelim, insani ilişkileri sadece süpermarkette ürün seçiminin kayıtsız keyfiyetine indirgemekle kalmamakta, aynı zamanda onları istikrardan yoksun kılarak, kolayca elde edilip yine kolaylıkla değiştirilebilir veya gözden çıkarılabilir birer boş gösterene dönüştürdüğü içindir ki son derece patolojik bir durumdur. Literatür tarama yönteminin kullanıldığı çalışma kapsamında yapılan tartışmada elde edilen bulgular özneler arası karşılaşmaların zayıflamasına karşılık, emsaller mantığına göre biçimlenmiş neo-kabilesel birlikteliklerin belirdiğine yöneliktir. Çalışmada ayrıca söz konusu birliktelik biçiminde somut karşılaşmaların sahici niteliğinden ziyade, sahteliğin çekiciliğinin daha belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Parasosyal, etkileşim, patolojik öznellik.

ABSTRACT

The study entitled "Parasocial Experience or the Construction of Pathological Subjectivity" seeks to draw a thought-provoking analogy between the trajectory of dominant forms of relationship in the age of new media and the general nature of parasocial forms of interaction, essentially seeking to answer the following question: Is it possible to observe the formation of pathological subjectivity within a mental structure devoid of the capacity for self-awareness during the process of parasocial experience? In this regard, the study aims to identify the psychological abnormality that sacrifices the principle of individuality to subjugation (loss of autonomy) in communicative relationships established around parasocial interaction. As for the cause of this abnormal orientation, it is argued that there exists a hierarchy of envy which undermines the individual's sense of self through emulation of television and media celebrities, and subsequently severely disrupts it through trapped phenomena of identification and a desire to live vicariously. Accordingly, parasocial abnormality, as a pathological form of the social and a mode of interaction between objectified figures, also structures the chaos of post-traditional relationships; on the stage of parasocial sensibility, the misery of insubstantial contacts now appears to be increasingly replacing concrete and actual bonds. Furthermore, this same pathological contact has also drawn its participants into an unprecedented cycle of alienation. This tendency is an extremely

pathological state, not only because it reduces human relationships to the indifferent arbitrariness of choosing products in a supermarket, but also because it renders them unstable, transforming them into empty signifiers that can be easily acquired, just as easily discarded, or replaced. The findings from the discussion conducted within the scope of this study, which utilised a literature review methodology, suggest that whilst interpersonal encounters are waning, neo-tribal communities shaped by a logic of peer groups are emerging. The study also concluded that, in this form of solidarity, the allure of artificiality is more decisive than the authentic nature of concrete encounters.

Keywords: Parasocial, interaction, pathological subjectivity.

Giriş

Fransız "madamelefigaro.fr." sitesinde 22 Kasım 2025 tarihinde yayımlanan "Parasosyal Bir İlişki İçinde Misiniz?" başlıklı yazı, parasosyal konusunu 2000'li yılların başlarındaki çarpıcı bir müzikal örneği hatırlatarak izah etmeye çalışır (https://madame.lefigaro.fr, 2026). Biraz araştırıldığında görülecektir ki, gerçekten de 2000 ve sonrası yıllar özellikle müzik endüstrisi alanında hayranların hayal dünyasındaki kırılma açısından bir dönüm noktasıdır. O yıl (2000), rapçi Eminem, diskografisinin en unutulmaz kliplerinden birini, "Stan"i yayımlamıştır. Uzun versiyonu sekiz dakikadan biraz fazla süren klibe bugün de basit bir YouTube araması sonucu kolaylıkla erişmek mümkündür. Söz konusu klipte, yıldız ve hayranı arasındaki tek yönlü ilişkinin olası tüm menfi ve marazlı yönleri sunulmuştur: Sanatçı, günlerini evinin bodrum katında ona mektuplar yazarak geçiren ve kendisiyle özel bir bağı olduğuna inanan Stanley isimli hayranının zihinsel çöküşüne odaklanır. Obsesif hayran Stanley'nin sanatçıya olan ilgisi öylesine güçlü biçimde anlatılmaktadır ki, mevzu normal bir şarkı klibinin boyutlarını çoktan aşmış, düpedüz psikopatolojik bir düzeye erişmiş gibidir. Zira klibin sonunda aklını kaçırma noktasına gelmiş olan Stanley, bir trafik kazası sonucu ölmektedir. Talihsiz Stanley'den çeyrek asır sonra, ünlü kişiler ve hayranları arasındaki ilişkinin niteliği yeni bir evreye girmiş bulunmaktadır. *Cambridge Sözlüğü*'nün 2025 yılının kelimesi seçtiği "parasosyal", kısaca "bir kişinin, tanımadığı ünlü bir kişi, kitap, film, TV dizisi vb. karakterler veya yapay zekâ ile arasında hissettiği bağlantı veya bağ" olarak tanımlanmaktadır (https://dictionary.cambridge.org, 2026). Tanımın kapsama alanının genişliğinden de anlaşılacağı üzere, söz konusu kavram pek de müspet veya serin bir ilişki biçimine tekabül etmemektedir. Zira marazlı ilginin yöneldiği şey ilgisiz bir kişi, cansız bir nesne (kitap), Pirandello'nun deyişiyle, "kendi imgesinden bile sürgün edilmiş" bir film yıldızı veya dizi karakteri, hatta -şimdilik- dışsal komutlar olmadan kendi başına düşünüp eyleyemeyen bir yapay zekâ uygulaması bile olabilir. Özellikle de bu sonuncusu en çok endişe verici olanıdır. Gerçekten de 2025 yılında sosyal medya mecralarında sayısız yapay zekâ influencer'ın ortaya çıkması bile bu gerçeği doğrular niteliktedir. Ancak konuya her zaman temkinli yaklaşıldığı söylenebilirse de mutlak biçimde menfi bakılmadığını da belirtmek gerekir. Nitekim idollere körü körüne bağlanmayı bir tür patolojik tutum olarak görenler olduğu gibi, onlara duyulan hayranlığı "olgunlaşma sürecinin normal ve sağlıklı bir aşaması" sayanlar da vardır. Özellikle bu ikinci görüşü savunanların başlıca argümanı, "sıradan bireylerin hangi alanda olursa olsun, farklı yetenekleri ve nitelikleri nedeniyle kendilerinden daha ünlü ve önemli kişileri hayranlıkla izleyip onlara benzemek için çaba göstermelerinin" kendilerini geliştirmeleri açısından son derece önemli bir haz kazancı olduğudur (Petin, 2026). Aslında bu yönüyle, yani yeteneği ve kişiliği geliştirici özdeşlik anlamında sıradan bireylerin şöhretlerle kurdukları ilişkinin parasosyal adını almadan çok önce de bir olgu olarak var olduğu pekâlâ söylenebilir. Bu hususta yalnızca "etkileşim" ve "ilişki" arasındaki ayrımdan söz etmek bile yeterlidir. Buna göre, parasosyal etkileşim, bir kişinin maruz kaldığı süre boyunca medyada yer alan bir kişiyle doğrudan ve kişisel bir ilişkisi olduğunu hissettiği anlık bir durumu simgelerken; parasosyal ilişki bundan daha fazlasını, bir dizi parasosyal etkileşimden hareketle gelişen, etkileri medya ünlülerine veya yıldızlarına geçici olarak maruz kalmanın ötesine uzanan, daha uzun süreli ve kalıcı bir hayali bağlantıyı adlandırır. Kuşkusuz, konunun salt psikolojik faktörlerin dışında, daha başka sosyolojik boyutları da mevcuttur: Güven ilişkilerinin tükenişi, uzun süreli birlikteliklerin dayattığı sorumluluktan kaçış, samimiyet arayışının birçok bakımdan sekteye uğraması,

yalnızlık ve yalıtılmışlığın sağladığı konfor, bir türlü baş edilemeyen yetersizlik duygusu, öykünülen yüksek yaşam standardı heyulası ve tüketim marifetiyle peydahlanan daha başka kıskandırıcı mukayeseler, vb. Bu çalışmada, parasosyal kavramının ihtiva ettiği sorun alanları bireyler arası iletişim ve patolojik öznellik olgusu üzerinden irdelenmektedir.

Yöntem

Çalışmada, parasosyal ilişki kavramına yönelik tartışma, literatür taraması yöntemiyle bütünleşik biçimde, kavramsal analiz yöntemiyle yürütülmeye çalışılmıştır. Bilindiği üzere, literatür taraması, belirlenen konuyla ilgili daha önce oluşturulmuş yazılı-metinsel materyal (kitaplar, dergiler, tezler, raporlar, ödevler, vb. dokümanlar) üzerine bir çalışmadır. Birikmiş bilgiye ilişkin bir özet olanağı sunar. Literatür taramasının özellikleri şunlardır: Öz olması, açık olması, eleştirel olması, ikna edici olması ve mevcut literatüre katkıda bulunmasıdır (Yıldız, 2022: 369-370). Kavram analizi, bir kavramın ilişkili olduğu daha başka unsurlarla irdelenmesine dayanmaktadır. Kavram analizi, herhangi bir kavrama ait muhtelif tanım, kullanım ve uygulamaların yanı sıra, odağa alınan kavramla yakından ilgili diğer kavramsal içerikleri belirlemeyi amaçlar (Aydan, 2018: 552). Etkileşimsiz nitel araştırma yöntemlerinden biri olan kavramsal analiz, "birebir etkileşim gerektirmeyen daha çok dokümanlara dayalı veri toplama ve analiz esasına dayalı nitel araştırma deseni olarak tanımlanmaktadır (Aydan, 2018: 553). Bir başka açıdan, kavram analizi, "bir kavramın yapısının, anlamının ve fonksiyonunun incelenmesi" olarak tanımlanır (Aydoğdu, 2021: 105). Çalışmada, her iki yöntemden hareketle, "parasosyal" kavramının ilgili olduğu diğer kavramlara ilişkin genel bir eleştiri çerçevesi kurgulamak hedeflenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Parasosyal Etkileşimin Psişik Kaynakları: Yabancılaşma ve Yalnızlık

Şahsilik ilkesine kapalı, deva bulmaz benliğin bağlanma ihtiyacı patolojisinden mustarip her ilişki, sahtesini gerçeğinden ayırt edemeyen marazlı zihin yapısından beslenmekle kalmaz, aynı zamanda bilinci kendi yarım küresinin sınırları içine hapseden bir farkındalık noksanlığı ve yaderklik zafiyeti de üretir. Mevzu, bu anlamda bir nevi *kendi olamama* kabiliyetsizliğinin veya kendilik krizinin itirafı olarak da okunabilir. Ya da kendini ancak kendinden daha üstün bir başka şeye adamak suretiyle var olma hissi edinmenin somut kanıtı olarak. Zira Adam Phillips'in de deyişiyle, "İnsanın kendini bir başka insana, bir ideolojiye, bir terminolojiye, bir yönteme adayabilmesi için, önce bilinçsizce adanmışlık düşüncesine kendini adaması gerekir" (2023: 17-18). Sözü edilen adanmışlık düşüncesi, birine veya bir şeye bağlanma yeteneğinden vazgeçmenin yeni bir ruhsal patoloji ürettiği yerde, hissedilen sıradanlık duygusunun yarattığı tahammülsüzlükte bulur karşılığını. Söz konusu tahammülsüzlük, kişinin bilinçaltında, *olduğu şeyi reddetmenin* inadı olarak büyür. Ama aynı zamanda değişim dürtüsünü şoklayıp uyararak onu yeni arayışlara iter. Bu durum, hem olası mutlu bir yaşamsal zamanın ilki hem de halihazırda hissedilen değersizlik hissinin sonu olarak duyumsanır. Phillips'e göre, her iki halde de kişi kendine hürmetsizliğin kıskacında asılı kalır. Yaşanan çıkmaz, ancak öykünülecek kişinin varlığına olağanüstü anlamlar atfederek, onu eşsiz bir mitosa dönüştürerek aşılabilir. Kişi, özdeşlik kurduğu varlığın bir uzantısı olduğu andan itibaren yeniden kendi eksik veya kusurlu imgesinin tamamlayıcı parçasıyla buluşur, yani kendilik imgesinin mutena niteliğine dair yaptığı olumsuz bilişsel yatırım bir noktada son bulur ve böylece ertelenmiş kimliğe yeniden kavuşulur. İdealdeki çatlağın psikopatolojik izahı özetle budur. Özdeşlik kurulan dizi veya film oyuncusu, medya ünlüsü veya televizyon şöhreti senaryo icabı öldüğünde veya bir nedenle tart edildiğinde de yine aynı şey olur: karakterin derdest edilen ve kamusal algıdan kovulan imgesiyle birlikte, eşi benzeri görülmemiş bir ruhsal çoraklık yaşanır. Kimlik seçimine ve kabulüne aracılık eden davranış kodlarının ve tavır alışların yokluğunda, sıradan faniler için tutacakları anlamlı bir yol kalmaz; dahası, tekdüze ve sıkıcı yaşamlarına fazladan anlam ve hayal taşıyan özdeşlik ölçeği de ansızın küçülüverir. Söylemleri, yapıp etmeleri pek çok açıdan referans

alınan herhangi bir tanınmış veya tartışmalı kişiliğin güvenilir kılavuzluğu olmadan tutulan yol, içinde hiçbir övünç kırıntısı barındırmadığı gibi, güvenli bir menzile de varmaz; bu beyhude arayış, bariz bir yönsüzlük içindeki faniyi olsa olsa kendi içsel kaynaklarının renksiz ve boğucu atmosferiyle yeniden baş başa bırakır. Sıradan insanın kendine yön tayin etmede ve görece daha saygın bir yaşam için başvurduğu bu mutat strateji, toplumsal dünyada hüküm süren, her ne kadar yazılı olmasa da varlığı ve kuşatıcı etkisi herkesçe bilinen genel bir imrenme hiyerarşisinden ilham alır: nihayetinde herkes iyi kötü ilgi görmek, fark edilmek, sevilmek ve sayılmak ister! Aynı imrenme hiyerarşisi, kimilerinde tahripkâr ve kıskandırıcı mukayeselere yol açarken; kimilerinde silik, kusurlu veya vasati ölçüleri gizlemeye yarayacak kışkırtıcı bir *persona*yla sonlanır. Ve nihayet kendinde belli bir eksikliğin veya hoşnutsuzluğun izlerine rastlamayacak hiç kimse kalmayıncaya kadar da sürer etkisi. Parasosyal deneyimin uç verdiği yer de tam olarak burasıdır.

Parasosyal deneyim olgusu, girişte zikredilen tarihle hemen hemen eş zamanlı olarak, Türkiye'de de 2000 ve sonrası yıllarda, dizi, film, medya veya internet ünlüsü, özellikle de fenomenler dünyasının gündemini gerçek hayat alanına daha çok taşımıştır. Söz konusu tarih aralığının 90'lı yılların sonlarında ünlü iletişim bilimci George Gerbner'ın "vekaleten yaşamak" şeklinde tanımladığı eğilimle örtüşmesi de oldukça manidardır. Buna göre, Gerbner'ın artık başkalarıyla fiili bağlar kurmak yerine hayali ilişkilere yöneldiğimiz ve "vekaletsel deneyim" aracılığıyla, kendi yaşamlarımıza ait şeylerle ilişkisi olmayan ve daha ziyade bizi televizyondaki başkalarının yaşamlarına öykünmeye sevk eden bir arzunun gitgide düşünce ve eylemlerimizi daha çok belirlemeye başladığı yollu önermesi, bu gelişmeyi teorize eden ilk tarihsel açıklamalardan biridir. Üstelik daha mürekkebi bile kurumadan, Gerbner'ın uyarısı çok kısa bir süre sonra gerçek olmuştur: 2000'li yıllarda Devlet Tiyatroları Genel Müdürü Rahmi Dilligil'in televizyon dizilerinde mafya karakterlerini canlandıran oyuncuların izinlerinin iptal edileceğini bildiren açıklamasını, yine aynı yıllarda *Asmalı Konak* dizisinin Bahar isimli başkarakterinin (Nurgül Yeşilçay) lenfoma kanserine yakalandıktan sonra senaryo icabı tedavi için Amerika'ya gitmesine ilişkin olarak, söz konusu hastalığın tedavisinin Türkiye'de de mümkün olduğu, dolayısıyla senaryo icabı da olsa karakterin bu nedenle yurtdışına gitmesine gerek olmadığı yönündeki sağlık bakanlığı demecini, *Aşk-ı Memnu*'nun Adnan Bey karakterini (Selçuk Yöntem) sokakta görüp de eşi tarafından aldatıldığı bilgisini yarı ürkek yarı edepli bir lisanla kulağına fısıldamaya çalışan gayretkeş vatandaş duyarlığını, *Muhteşem Yüzyıl* dizisindeki Şehzade Mustafa karakterinin (Mehmet Günsür) padişah emriyle payitahtta boğdurulmak suretiyle hallini Sivas Cumhuriyet Savcılığı'na şikâyet eden izleyici işgüzarlığını ve daha başka eksantrik atakları hatırlayalım burada. Tüm bu fıkra düzeyindeki örnekler, sanal olanla gerçeği arasındaki farkı ayırt edememe acziyetinin, toplumsal dünya gerçekliğine yönelik son derece ürkütücü bir duyarlık kaybının, kısaca yaşamın her alanında hüküm süren devasa bir yabancılaşmanın ürünüdür. Söz konusu tabloya yalnızlık ve toplumsal dokudan yalıtılmışlık duygusu da eklenince, yabancılaşmanın en verimli toprağı mükemmelen karılmış olmaktadır.

Parasosyal deneyimin yabancılaşmadan sonra beslendiği ikinci önemli kaynak ise, medyatik popüler kültür dinamikleri içinde biçimlenmiş şöhret kültünde karşılığını bulur. Daha doğrusu, artık bir zamanların film veya televizyon şöhretlerinin yerini almış görünen, Hal Niedzviecki'nin "görünür insanlığın trendsetter"ları diye nitelediği "internet fenomenleri"nde. Kıymeti kendinden menkul bu zamane çağ figürlerinin yadsınamaz önemleri nereden mi gelmektedir? Tabii ki tartışmalı düşünce, eğilim, alışkanlık ve davranışlara esastan komşuluk etmelerinden. Ve dahi gösteri toplumunun bedenleşmiş toplumsallığının en müşahhas ve güzide örnekleri olmalarından. Hal Niedzviecki'nin deyimiyle, işte tam da bu nedenle, "kameraların performansın kamusal sunumuna ilham verdiği bir çağın en muteber simaları" olduklarından ötürü (2010: 180-185). Yine aynı sebepten, internet fenomeni veya ünlüsü diye adlandırılan kişiler yaydıkları değerler itibariyle de büyük ölçüde "görünür insanlığın çöküşü"nü simgelemektedirler. Çünkü günümüz fenomenleri eskinin görece yüz ağartıcı şöhretlilerinden çok daha belirgin farklılıklara sahiptirler. Eskinin şöhretleri, içinden çıktıkları topluma önemli katkılarda bulunmayı az çok varlık nedenlerinin koşulu sayan kimselerken; dijital dönemin internet fenomenleri, Influencer'ları, Instagrammer'ları ve Youtuber'ları ekseriyetle oyalayıcı, kimileyin ajitatif ve ayartıcı, her fırsatta tüketim teşvikçisi, zaman zaman bilgilendirici veya az çok

aydınlatıcı, ancak neredeyse her koşulda istisnasız biçimde emeğin liyakatinden geçmeksizin - Bourdieu'nün "mesleğe giriş hakkını ucuzlatmak" dediği şeyin defolu simgesel seçkinleri olarak- devşirdikleri kamusal alkışı ekonomik bir ranta veya kazanca tahvil etmekte mahir kimseler oluşlarıyla dikkati çekmekteler. Yol açtıkları ruhsal tahribatın boyutlarını anlamak için yakın zamanlı kimi gazetelerin üçüncü sayfa haberlerine kabaca bir göz atmak bile yeterlidir.

Yeni Medya ve Yapay Zekâ Çağında Parasosyal Etkileşim

Parasosyal etkileşime yönelik güncel tartışmalardan biri de hiç kuşkusuz yapay zekâ sistemlerine atfedilen insanımsı (antropomorfik) özelliklerle ilgilidir. Başka bir deyişle, onları gerçek ilişkiler kurabileceğimiz canlı varlıklarmış gibi görmemizle. Bu konuda dijital teknoloji uzmanı Sherry Turkle, *Ekrandaki Hayat: İnternet Çağında Kimlik* adlı kitabının "Arayüze Göre Yargılamak" başlıklı dördüncü bölümüne şöyle bir cümleyle giriş yapar: "Apple Macintosh'umu aldığımda ilk yaptığım şey, sabit diske kızıma taktığım lakap olan Bayan Güzel adını vermek oldu" (2024: 117). Turkle'ın izleyen satırlarından da anlamaktayız ki, yalnızca teknolojinin yabancılaştırıcı etkisini kırmak için başvurulmuş basit bir çare değildir bu; mevzu, düpedüz makineyle kurulan ilişkiye insansı bir değer atfetmekle ilgilidir. Makineyi isimlendirmek, kuşkusuz onu kişileştirmek, yaşanan tek yönlü ve patolojik ilişkiyi muhatabın yokluğunun ıstırap verici yankısından kurtarmak anlamına gelmektedir. Turkle, aynı yerde, insanlar ve nesneler arasındaki sınırın belirsizliğini yakın çevresindeki daha başka örnekler üzerinden de müşahede ederek şöyle yazar: "Öğrencilerimden biri, elektronik postalarını ve programını organize eden bir bilgisayar ajanına onu aniden terk eden arkadaşının ismini verdiğini söyleyene dek ahmak gibi hissetmiştim" (2024: 117). Aslında bunda çok da şaşılacak bir şey yoktur; bilgisayar, robot veya akıllı makine, adına her ne dersek diyelim, tümü zaten bizim benlik ve halen bir muamma olmayı sürdüren bilincimizin simetrik bir uzantısından başka şey değildir. Bu teknolojilerin her biri insana dair düşünme ve eyleme yetisinin doğrudan yansıması, somut bir çıktısıdır. Üstelik bu ilişki o denli organiktir ki, onlara bakarak kendi zihinsel ve duygusal tekamülümüzün izini dahi sürebiliriz rahatlıkla. Söz konusu korelasyonu kurabilen her fani canlı türü, namlı Turing testini hiç zorlanmadan geçebilir. Bilinç yoksunu varlığın hislerinin olması gerekmez, ortalama bir insan gibi tepki versin yeter. Turkle, makineyle flört olgusu üzerinden, adeta yakın geleceği ikaz edercesine, kendi işletimcisine âşık olan, ülke parlamentosuna bakan yapılan, robotuyla evlenip balayına çıkan veya Arthur C. Clarke'ın *Sentinental* adlı öyküsü ile Isaac Asimov'un *The Robots of Dawn* adlı romanında ilk somut örneklerine rastladığımız "robot ırkının şafağı"na yelken açmış insanlar gerçeğini "yeni pygmalionlar" olarak adlandırır (2024: 120). Görüldüğü üzere, makineyle duygusal bağın kuruluşu her zaman selamete yol açmamakta; aksine, çoğu zaman öngörülemez ve ölümcül durumlar yaratmaktadır. Bu olumsuzluğun art alanındaysa, hiç kuşkusuz insanın insana ruhsal ve duygusal yönden mesafe alışının cisimleşmiş güvensizliğinden başka bir şey yoktur. Belki de yine aynı sebepten, makineyle flörtün yıkıcı olduğu kadar umut verici de olabilen düşselliğinin yer yer insan-insan etkileşiminin patolojik boyutunu karşı kutupta dengeleme gücüne sahip olduğu bile söylenebilir. Zira *homi homini lupus*'un vahşi kapitalist dünyanın tek gerçekliği olduğu yerde, sömürmeyen, güç peşinde koşmayan, rekabet etmeyen, kıskançlık nedir bilmeyen, zinhar yargılamayan, dahası yorulmayan, her daim emre amade ve mutlak surette müsaitliği simgeleyen, uysal, nezaketli, anlayışlı, felç edici sadakatiyle en mahrem anlarımızın sırdaşlığına omuz veren bir 'şey', neden gerçek ama bir o kadar da öngörülemez, belirsiz ve tekinsiz ilişkilerin yerini aratsın ki? Bu durum, 90'lı yılların efsanevi filmlerinden *Truman Show*'un kahramanı Truman Burbank'in (Jim Carrey) bütün hayatının baştan sona düzmece olduğunu fark ettiği o bahtsız aydınlanma anında, pupa yelken gösteri mahallini (film platosunu) terk etmeye yeltenirken devasa bir görsel efekt duvarına çarptığında yüzleşme olanağı bulabildiği makus gerçeği akla getirir. Filmde, reality televizyon programı "Truman Show"un yapımcısı Christof'un (Ed Harris) gizlendiği ay formundaki mevziinden tebarüz ederek Truman'a açıklama gereği duyduğu yatıştırıcı ve bir o kadar da manidar gerekçe şudur: "Gerçek dünyada, senin için öngördüğümüz bu sanal ama güvenli evrenden daha fazlası yok, inan bana..." Christof bir yönüyle haklıdır; hakikaten de dış etkenlerin beklenmedik darbelerinden korunmuş, her bakımdan güvenli, steril bir yaşamın, gerçek dünyada türlü dertler, tehditler, belalar ve risklerle çevrili insanı ölümcül

kayıtsızlıkların, kısa vadeli küçük hesapların, pragmatik tutum ve davranışların yaralayıcı temasından koruyan bir yanı olduğu açıktır. Ancak bu aşamada asıl yakıcı soru ise şudur: İnsan eğer özgür iradeyle hareket ettiğinden bir an bile kuşku duymaksızın yaşayıp gidiyorsa, yahut katıksız bir özgürlük imkânına sahip olduğundan mutlak biçimde eminse, farkında olmadan içine düştüğü tutsaklığın (Truman örneğinde "düzmece bir yaşam") kendisine sunduklarından daha azını vaat eden bir özgürlüğü ne yapsın? Ne var ki, bu soruya Truman Burbank'in yanıtı nettir: sahici, kurgu dışı yaşamın, içerdiği belirsizlik ölçüsünde ürkütücü, gizliden gizliye telkin ettiği maceranın potansiyel zevkleri bakımından akıl çelici çağrışımlar eşliğinde sunduğu vaatler, halihazırda rutin biçimde ve büyük bir güven içinde deneyimlenen gerçekliğin görece denetimli aşkınlığından daha kışkırtıcıdır... Truman Burbank'e sunulan sanal güvenli hayat kendi ölçeğinde daha fazla geliştirilemez bir düzeye varmış olan, dolayısıyla daha mükemmeli bulunmayan, işte o tekdüze nefeslerin görünüşte kusursuz uyumunun bahşettiği tatsız güvenden ibarettir: Heyecanlı sürprizlere kapalı, dışarıdan gelecek olası saldırılara ve kimi tersliklere karşı sımsıkı korunmuş, başı sonu belli, cümle komplikasyonlardan bağışık, öforik, oyuncağı andıran bir dünya... Az çok işe yarar bir eğretilemeyle söylersek, parasosyal deneyimin tek yönlü ve patolojik doğası da tıpkı böyle bir şeymiş gibi görünür göze. Bununla birlikte, tıpkı Burbank'in sahte ama korunaklı dünyasında olduğu gibi, makineyle flört de bize -içerdiği onca rizikoya rağmen- gerçek insan ilişkilerinde özlenen veya sürekliliği bir türlü sağlanamayan güven duygusunu yeniden verebilir. Bunu söylerken makul olduğu su götürmez bir varsayımdan, şu tür bir sorudan hareket ediyoruz: Makineyle ilişki patolojik de, gerçeği normal midir?

Gerçekten de makineyle ilişki patolojik de, gerçeği çok mu normaldir? Zira insan insanın ne ufku ne de yüküdür uzun süredir, olsa olsa yedeği veya süsüdür. Birisiyle tesadüfen karşılaşmak baş belasıysa, görmezden gelinmek izdiham sebebidir! Doktor yüzüne değil, yüzünde yaban bir diyara bakmaktadır hastasını muayene ederken. Kasiyer post cihazının kusursuz biçimde işleyip işlemediğiyle ilgilenmektedir müşteri alışveriş sepetindekileri poşete vahşi bir ritmin telaşıyla tıkıştırmaya çalışırken. Küçücük bir gecikme kasiyerin hanesine gelir veya performans kaybı olarak yazılacaktır çünkü, bunu acı tecrübeler sonucu bilmektedir. Yine hemen herkes oturduğu apartmanın WhatsApp grubuna üyedir, ama yan dairede kimin yaşadığını dahi bilmemektedir… Herkes ölümüne müstakil, ama farazi/tali bir kolektifin de en esaslı uzvudur öte yandan! Bu ilişkisel mimaride anlamak veya fark etmek yoktur, durup beklemek veya sabretmek de, algılamak vardır yalnızca. Üstelik bina içi karşılaşmalarda -o da kazaen veya nadiren- her mukim diğerini ancak sırtının şifasız kamburundan tanımaktadır… Ve bu süreçte Crary'nin dediği gibi, "algıyı alışkanlık haline getiren ne varsa hayatı ketlemektedir" (2023: 115). Hemen herkes bu döngüde hayatının ne sıkıcı ne değersiz bir şeyin en uçucu zerresi olduğunu bildiği halde, yine de kendinin en mükemmel versiyonunu tasarlamakta ısrarlıdır. Bu arayışa da fenomen adlı kın kanatlı periler kolonisi rehberlik etmektedir… Arayışı ölçüsünde ya da geçici olanın parıltılı ama zahmetsiz eşdeğerliliği ölçeğinde eşitlenmiş gibidir herkes. Şirket platformları içinse zaten yüzeysel görünürlük cennetinin kazanç arttırıcı, en müzmin parasız yatılısıdır... Başka bir deyişle, neredeyse hepimiz asgari bir auradan, anlamdan yoksun sahnelerin canhıraş aktörleri, performatif numuneleriyiz, vs. Yine Crary'nin dediği gibi, şayet sosyal medya çağında heyecanı göğsüne sığmayan gençlersek, zaten "vicdanın ve empatinin doğmasını mümkün kılan duyumsal hayret deneyimine ulaşamayacak biçimde kapatılmış" durumdayızdır birbirimizin dışına (2023: 56). Bütün bunlar ruhların birbirine yabancılaşmasının, algının alışkanlığa dönüşmesinin sonucudur. Yaşanan durum, tam da Crary'nin "bir yüzü zamansal derinliği içinde görme, bir sesi yine aynı derinlik içinde işitme, bir ömür boyu edinilen deneyimlerin gösterge ve seslerini kavrama yeteneğini kaybediyoruz" şeklinde tarif ettiği, yeni türedi bir ayrılık anksiyetesidir (2023: 134).

Sonuç ve Öneriler

Herkesin çevrim içi, yani fiziki olarak birbirinin dışında olduğu yerde, içeride hüküm süren "acı sessizliği eğitmek" nasıl mümkün olabilir? "Acı sessizliği eğitmek" ifadesi Neruda'nın çok bilinen şiirlerinin birinde geçer; "düşmek ve yükselmek var onda" diye başlayan bir dizenin sonunda (Neruda,

2023: 23). Peki insan insanın nesi mi olur bu acı sessizliğin orta yerinde? Bunu da yine başka bir şair yanıtlasın: "Kor ateşte yanmayan bir ferace tülbendi" (İnce, 2007: 51). Her iki teşhis de eşit derecede hüzünlü, zira topluca acı bir sessizliğe kurban gitmekte gibidir sanki bütün yeryüzü... Özellikle de dijital medya çağının kendi içinde kayıp insanının cazibeli değişikliklerden anladığı şeyler, duyulan endişenin çapını daha da büyütmektedir. Çünkü bu insan bireyinin var olmaktan anladığı, sürekli rötuşlu duygularla, birikmiş anlamların şahsi yükünden arınmaya ayarlıdır. Görsel paylaşımların filtre paletine yatırıldığı Instagram, TikTok gibi uygulamalar da anlam ve doğallık törpüleme merkezleridir. Bu açıdan, hiçbir şey, yazar Kâmil Erdem'in *Yok Yolcu*'da yaptığı şu çarpıcı betimlemeden daha iyi anlatamaz söz konusu vaziyetin vahametini: "Rötuş. Yüzde, alında, göz altında hayatın biriktirdiği çizgileri temizle. Yapıştırılacağı vesikaya, gireceği çerçeveye, asılacağı duvara tahammülü olsun" (2022: 84). Belki bildiğimiz yaşamların ayıpsız görünümünü zora sokan da böyle bir tahammüldür. Daha doğrusu, bu tür bir mahcubiyet korkusudur. Bu nedenle yürürlükteki performans öznesi düzeneğinin amentüsünün çizdiği doğrultudan sapmak, doğallığa, yaşanmışlığın yonttuğu gölgeli çehreye, anlam oluşturan hasar veya kusura, kısaca sahiciliğin veya gerçekliğin eşiğine yeniden adım atmak demektir her koşulda. Hem belki böylelikle makineyle flört ve benzeri marazi/hayali ilişkiler dahil, parasosyal deneyim garabetine heves etmiş insanın önemli bir gerekçesi de elinden alınmış olur.

KAYNAKLAR

Aydan, Seda (2018). "Sağlık Hizmeti Araştırmalarında Kavram Analizi", *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi,* 2018; 21(3): 551-562.

Aydoğdu, Özlem (2021). "Kavram Analizi Çalışması: 'Anımsama'", *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi*, 14(2), 104-109. doi: 10.46414/yasad.897661

Crary, Jonathan (2023). *Yeryüzü Yakılıp Yıkılırken*. Çev. Tuncay Birkan, İstanbul: Metis Yayınları.

Erdem, K. (2022). *Yok Yolcu*. İstanbul: Sel Yayıncılık.

"Êtes-vous dans une relation 'parasociale', ce terme sacré mot de l'année 2025?", https://madame.lefigaro.fr/societe/actu/etes-vous-dans-une-relation-parasociale-ce-terme-sacre-mot-de-l-annee-2025-20251122, erişim: 12.01.2026.

İnce, Ö. (2007). *Magma ve Kör Saat*. İstanbul: Kırmızı Yayınları.

Neruda, P. (2023). *Ayaklarına Dokunurum Gölgede*. Çev. Adnan Özer, İstanbul: Can Yayınları.

Niedzviecki, H. (2010). *Dikizleme Günlüğü*. Çev. Gökçe Gündüç, İstanbul: Ayrıntı Yayınları.

"Parasocial",*https://dictionary.cambridge.org/tr/s%C3%B6zl%C3%BCk/ingilizce/parasocial,*

Erişim: 10.01.2026.

Petin, C. (Ağustos 2025). "De plus en plus de personnes se réfugient dans ce type de relation, révèle une thérapeute de couple," *https://www.psychologies.com/moi/problemes-psy/personnes-refugient-relation-therapeute-583501,* Erişim: 14.01.2026.

Phillips, A. (2023). *Flört Üzerine*. Çev. Özden Arıkan, İstanbul: Ayrıntı Yayınları.

Turkle, S. (2024). *Ekrandaki Hayat: İnternet Çağında Kimlik.* Çev. Özgün Çelik, İstanbul: AA Kitap.

Yıldız, Ayşe (2022). "Bir Araştırma Metodolojisi Olarak Sistematik Literatür Taramasına Genel Bakış," *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2): 367-386.

KRİPTO PARA VE HAWALA ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ: KRİPTO PARA, TERÖR ÖRGÜTLERİ İÇİN YENİ BİR "HAWALA" SİSTEMİ OLABİLİR Mİ?

Emre Dağhan TOKGÖZ

Ege Üniversitesi, Türk Dünyası Sosyal, Ekonomik ve Siyasal İlişkiler ABD. Yüksek Lisans Öğrencisi, Türkiye, ORCID:0000-0002-3553-1018

Günümüzde kripto varlıkların yaygınlaşması, sadece bir finansal yenilik olarak değil öte yandan da güvenlik ve denetlenebilme açısından da çeşitli tartışmalara yol açmıştır. Bu ifadeden yola çıkarak terör örgütleri tarafından kullanılan geleneksel bir para aktarma sistemi olan hawala yerine merkeziyetsiz olan kripto paranın benzer bir şekilde işlev görüp görmeyeceği konusu araştırmanın sorusunu oluşturmaktadır. Hawala, kurumsal aracıları dışarıda bırakan tamamen güvene dayalı bir para transferi mekanizmasıdır. En önemli özelliği ise hawala sisteminde yapılan değer transferlerinin izlenmesinin pek mümkün olmamasıdır. Öte yandan, Kripto para da merkeziyetsiz ve zamansız olarak işlem imkanı sunması nedeniyle geleneksel sisteme karşı alternatif olarak görülmektedir. Çalışmanın amacı, nitel ve karşılaştırmalı bir araştırma tasarımı ile kripto paranın terör örgütleri finansmanı bağlamında hawala sistemi ile benzerlikleri, kesişim noktalarını ve ayrıştıkları noktaları incelemektir. Karşılaştırmanın belirli bir yapıda olması adına, denetlenebilirlik, gizlilik ve güvenlik olmak üzere üç kriter üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Verilerin elde edilmesi sırasında literatür taraması ve ikincil kaynaktan elde edilen verilerin analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu veriler arasında uluslararası kurum, kuruluş ve örgütler tarafından yayımlanmış raporlar, konu hakkındaki akademik çalışmalar ve dijital haber sitelerinde yer alan vakalar tematik analiz metodu kullanılarak incelenmiştir.

Karşılaştırılma yapılan kriterler doğrultusunda hem kripto paranın hem de hawala sisteminin belirli ortak noktalarının olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan saptanan ortak noktalara rağmen, birçok noktada da iki sistemin birbirinden ayrıştığı görülmüştür. Bununla beraber, Kripto varlıkların terör örgütlerinin finansmanı doğrultusunda kullanılmasına dair çeşitli vakalar tespit edilmiştir. Ancak bu kullanımın geleneksel sisteme kıyasla daha az tercih edildiği saptanmıştır. Bu bulgulardan yola çıkarak, kripto paranın doğrudan hawala sisteminin yerini almaktan ziyade terör örgütlerinin finansmanı için yardımcı bir kaynak olabileceğinden bahsedilebilir. Çalışma, terör örgütlerinin yasadışı faaliyetler yürütmesinden dolayı verilerin doğrulanabilirliği açısından sınırlılığa sahip olmakla beraber ileride bu konu ile ilgili yapılacak olan araştırmalara katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Sözcükler: Hawala, Kripto Para, Terör Örgütleri, Yasadışı Finansman.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CRYPTOCURRENCY AND HAWALA: COULD CRYPTOCURRENCY BECOME A NEW "HAWALA" SYSTEM FOR TERRORIST ORGANIZATIONS?

The growing prevalence of cryptocurrencies today has sparked various debates not only as a financial innovation but also in terms of security and accountability. Based on this statement, the research question centers on whether cryptocurrency, which is decentralized, can function in a similar way to hawala, a traditional money transfer system used by terrorist organizations. Hawala is a money transfer mechanism that operates entirely on trust, bypassing institutional intermediaries. Its most significant feature is that it is quite difficult to track transfers made through the Hawala system. On the other hand, cryptocurrency is viewed as an alternative to the traditional system because it offers the ability to conduct transactions in a decentralized and round-the-clock manner. The aim of this study is to examine the similarities, commonalities, and differences between cryptocurrency and the hawala system in the

context of terrorist financing, using a qualitative and comparative research design. To ensure the comparison followed a specific structure, it was conducted based on three criteria: auditability, confidentiality, and security. During the data collection process, methods such as literature reviews and the analysis of data obtained from secondary sources were utilized. Among these data, reports published by international institutions, organizations, and associations, academic studies on the subject, and cases featured on digital news sites were examined using a thematic analysis method.

Based on the criteria used for comparison, it has been determined that both cryptocurrency and the hawala system share certain common features. On the other hand, despite these commonalities, it has been observed that the two systems differ in many respects. At the same time, various cases have been identified in which cryptocurrencies have been used to finance terrorist organizations. However, it has been determined that this method is used less frequently than traditional methods. Based on these findings, it can be argued that cryptocurrency may serve as an auxiliary source for financing terrorist organizations rather than directly replacing the hawala system. Although the study has limitations regarding the verifiability of the data due to the illegal activities of terrorist organizations, it aims to contribute to future research on this topic.

Keywords: Hawala, Cryptocurrency, Terrorist Organizations, Illegal Funding

ANAYASA MAHKEMESİ KARARLARININ BAĞLAYICILIĞI VE GEREKÇENİN DEĞERİ

Av. Emrullah ERTAN

Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi, Kamu Hukuku Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi

ÖZET

Anayasalar, bir devletin egemenlik sınırları içerisinde yaşayan tüm bireyler ile devleti oluşturan tüm kurum ve kuruluşlar için uyulması zorunlu olan en üstün hukuk kurallarıdır. Bu anayasal üstünlüğün pratik hukuk yaşamında vücut bulmasını ve korunmasını sağlayan temel mekanizma ise anayasa yargısıdır. Türkiye Cumhuriyeti'nde anayasaya uygunluk denetimi görevini üstlenen Anayasa Mahkemesi'nin kararları, tıpkı anayasanın kendisi gibi, hukuk sisteminin tamamı üzerinde tartışmasız bir bağlayıcılığa sahiptir. 1982 Anayasası'nın 153. maddesi, Anayasa Mahkemesi kararlarının kesin olduğunu, iptal kararlarının geriye yürümeyeceğini ve bu kararların yasama, yürütme, yargı organlarını, idare makamlarını, gerçek ve tüzel kişileri bağlayacağını açık ve amir bir hükümle teminat altına almıştır.

Bu bilimsel bildiride, Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı konusu; mahkeme kararlarının hukuki kesinliği, iptal kararlarının zaman bakımından uygulanması, soyut ve somut norm denetimi kararlarının yasama ve yürütme organları üzerindeki etkileri ile bireysel başvuru kararlarının derece mahkemeleri üzerindeki sonuçları bağlamında incelenmektedir. Ayrıca, Türk anayasa hukuku doktrininde yoğun bir tartışma alanı olan "karar gerekçelerinin bağlayıcılığı" sorunu ile Anayasaya sadakat yükümlülüğü çerçevesinde yüksek mahkemeler arası ilişkiler detaylı bir biçimde ele alınmaktadır. Yapılan incelemeler neticesinde, Anayasa Mahkemesi kararlarının sadece uyuşmazlığı çözen şekli bir metin olmaktan ziyade, hukuk devletini koruyan, bağlayıcı hukuki vesikalar olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

GİRİŞ

Modern anayasacılık felsefesinin temel dayanağı, siyasi iktidarın yetkilerinin hukuki metinlerle sınırlandırılması ve bu sınırlandırılmış iktidar alanı içerisinde bireylerin temel hak ve hürriyetlerinin güvence altına alınmasıdır. Bu felsefenin somutlaşarak devlet aygıtı içerisinde işlerlik kazanabilmesi, yasama, yürütme ve yargı organlarının anayasal sınırlar içinde kalıp kalmadığının bağımsız bir mahkeme tarafından denetlenmesiyle mümkündür. Bir hukuk sisteminde anayasanın normlar hiyerarşisinin en üstünde yer alması tek başına yeterli değildir; bu üstünlüğü koruyacak ve anayasa ihlallerini onaracak yargısal bir güce ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de bu güç, kararlarının bağlayıcılığı Anayasa'nın 11. ve 153. maddeleriyle güvence altına alınmış olan Anayasa Mahkemesi tarafından kullanılmaktadır (Kılıç, 2024).

Hukuk devleti ilkesinin en belirgin özelliği, devletin yönetiminde keyfiliğe yer olmaması ve tüm işlemlerin hukuka uygun bir zemin üzerinde inşa edilmesidir (Şahbaz, 2021). Anayasa Mahkemesi'nin kanunların, Cumhurbaşkanlığı kararnamelerinin ve Türkiye Büyük Millet Meclisi İçtüzüğünün Anayasaya uygunluğunu denetlediği kararları ile bireysel başvurular sonucunda verdiği ihlal kararları, bu hukuki zeminin sınırlarını belirler. Anayasalar her ne kadar toplumun bir arada yaşama iradesini yansıtan üstün belgeler olsalar da, anayasayı nihai olarak yorumlama yetkisi anayasa yargısına aittir. Bu nedenle, Anayasa Mahkemesi'nin ürettiği kararlar ve geliştirdiği içtihatlar, doğrudan doğruya anayasal düzenin inşasına ve hukukun somutlaştırılmasına hizmet etmektedir (Kılıç, 2024).

Ancak yargısal çözümün nihai hedefi sadece bir karar vermek değil, bu kararın hayata geçirilmesini sağlamaktır. Kararların icra edilmemesi veya muhatapları tarafından göz ardı edilmesi, yargı organını işlevsizleştirerek onu bir "kâğıttan kılıç" konumuna düşürme riski taşır (Kılıç, 2024). Bu gerçekten hareketle, 1982 Anayasası'nın 153. maddesinin son fıkrası, Anayasa Mahkemesi kararlarının Resmi Gazetede yayımlanmak suretiyle anında yasama, yürütme ve yargı organlarını, idare makamlarını ile

gerçek ve tüzel kişileri bağlayacağını emrederek bağlayıcılık ilkesini en geniş kapsamda formüle etmiştir (Baymuş ve Acar, 2023).

Bu çalışmada, çok boyutlu ve karmaşık bir hukuki mesele olan Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı; kararların kesinlik vasfı, iptal kararlarının geçmişe yürümezliği, devlet organları üzerindeki emredici niteliği ve doktrinde geniş yer bulan gerekçelerin bağlayıcılığı sorunu ekseninde, anayasacılık ilkelerine sadık kalınarak incelenecektir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Anayasa Mahkemesi Kararlarının Kesinliği ve Geriye Yürümezlik İlkesi

Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığını anlayabilmek için, anayasa koyucunun bu kararlara atfettiği "kesinlik" vasfının irdelenmesi zorunludur. 1982 Anayasası'nın 153. maddesinin hemen ilk cümlesi, "Anayasa Mahkemesinin kararları kesindir" hükmüyle, bu kararların taşıdığı hukuki ağırlığı ortaya koymaktadır (Baymuş ve Acar, 2023). Hukuk teorisinde mahkeme kararlarının kesinliği, genel olarak şekli anlamda kesinlik ve maddi anlamda kesinlik olmak üzere iki farklı boyutta ele alınmaktadır.

Şekli anlamda kesinlik, Anayasa Mahkemesi'nin gerek norm denetimi (iptal veya itiraz davaları) gerekse bireysel başvuru yollarıyla vermiş olduğu bir karara karşı, o kararın içeriğini değiştirmek, bozdurmak veya iptal ettirmek amacıyla başvurulabilecek herhangi bir olağan kanun yolunun bulunmamasını ifade eder. Bir başka deyişle, karar Anayasa Mahkemesi tarafından verildiği ve açıklandığı anda itiraz, temyiz veya istinaf gibi hukuki yollar kapalıdır ve şeklen kesinleşmiş sayılır (Göztepe, 2016).

Maddi anlamda kesinlik ise (res judicata), mahkemenin önündeki uyuşmazlığın esasına girerek verdiği kararın, uyuşmazlığı içeriksel olarak nihai biçimde çözüme kavuşturmasıdır. Bireysel başvurularda, anayasal bir hakkın ihlal edildiği veya edilmediği yönündeki tespit, aynı kişinin aynı olaydan ve işlemden kaynaklanan aynı hakka yönelik ihlal iddiasıyla bir daha başvuru yapamayacağını gösterir (Göztepe, 2016). Bununla birlikte, norm denetiminde maddi kesinliğin istisnaları mevcuttur. Örneğin, Anayasa'nın 152. maddesinde öngörülen itiraz (bekletici mesele) yolunda, Anayasa Mahkemesinin işin esasına girerek verdiği ret kararının Resmi Gazete'de yayımlanmasından sonra on yıl geçmedikçe, aynı kanun hükmünün Anayasaya aykırılığı iddiasıyla tekrar başvuruda bulunulamaz kuralı yer almaktadır. Bu durum, anayasa yargısında ret kararları açısından mutlak ve sonsuz bir maddi kesinlik yerine, anayasa koyucu tarafından belirlenmiş süreli bir kesinliğin kabul edildiğini göstermektedir (Baymuş ve Acar, 2023).

Kararların bağlayıcılık zamanlamasını ve etkisini belirleyen bir diğer temel sütun, "iptal kararlarının geriye yürümezliği" kuralıdır. Anayasa'nın 153. maddesinin 5. fıkrasında yer alan bu kural, hukuk devleti ve hukuki güvenlik ilkelerinin bir gereği olarak kabul edilmiştir (Küçük, 2012). Kural olarak, idari yargıda verilen iptal kararları, iptal edilen idari işlemi tesis edildiği (doğduğu) andan itibaren ortadan kaldırarak geçmişe etkili sonuç doğurur. Ancak anayasa yargısında durum farklıdır. Anayasa Mahkemesi tarafından iptal edilen bir kanun veya Cumhurbaşkanlığı kararnamesi hükmü, kural olarak, iptal kararının Resmi Gazetede yayımlandığı tarihte yürürlükten kalkar ve karar geçmişe etkili sonuç doğurmaz (Kılıç, 2024).

Bu kuralın amacı, iptal edilen kanun hükmüne dayanılarak geçmişte tesis edilmiş işlemlerin, kazanılmış hakların ve hukuki statülerin bir anda ortadan kalkmasını önlemek; böylece toplumda hukuki bir kaosun veya istikrarsızlığın yaşanmasına mani olmaktır. İptal kararının geriye yürümezliği kuralına bağlı olarak, Anayasa Mahkemesi tarafından iptal edilen bir yasa hükmünün, daha önceden yürürlükten kaldırdığı (mülga kıldığı) eski yasa hükümlerini kendiliğinden yeniden yürürlüğe sokması da mümkün değildir (Kılıç, 2024). Mahkeme, iptal kararı neticesinde toplumda telafisi imkansız zararlar doğuracak bir hukuki boşluğun meydana geleceğini öngörürse, iptal hükmünün yürürlüğe gireceği tarihi, kararın Resmi Gazetede yayımlandığı günden başlayarak bir yılı geçmemek üzere erteleyebilir. Yürürlüğün ertelendiği bu durumlarda, yasama organına (TBMM) yeni bir kanuni düzenleme yapması için zaman tanınmış olur (Küçük, 2012).

Yasama Organı Üzerindeki Bağlayıcılık Etkisi

Anayasa Mahkemesi kararlarının en somut ve belirgin bağlayıcılık etkilerinden biri yasama organı (Türkiye Büyük Millet Meclisi) üzerinde kendisini gösterir. Yasama organı, Anayasa'ya uygun kanun yapmakla yükümlüdür ve bu uygunluğun denetimi Anayasa Mahkemesi tarafından sağlanır. Hukukçu Hans Kelsen'in anayasa yargısı modellemesinde ifade ettiği üzere, bir kanunun anayasaya uygunluğunu denetlerken iptal kararı vermek, esasen yasama fonksiyonu kapsamında değerlendirilebilecek nitelikte bir eylemdir. Bu nedenle iptal kararı veren anayasa mahkemeleri doktrinde genellikle "negatif yasa koyucu" olarak isimlendirilmektedir (Kılıç, 2024).

İptal kararlarının yasama organı açısından mantıksal ve hukuki sonucu, anayasaya aykırılığı tespit edilerek hukuk sisteminden dışlanan bir normun, aynı amaç, içerik ve kapsamda tekrar kanunlaştırılamamasıdır. Anayasa Mahkemesinin iptal kararı sonrası, parlamentonun yapacağı yeni düzenlemelerle iptal kararını etkisiz hale getirme veya "etkiyi dolanma" girişimleri anayasanın üstünlüğü ilkesine doğrudan aykırılık teşkil eder (Kılıç, 2024). Türk anayasa tarihinde, Anayasa Mahkemesi tarafından verilen iptal kararlarından sonra, yasama organının iptal edilen normu ufak kelime oyunları veya benzer ifadelerle yeniden yasalaştırdığı durumlarda Mahkeme; bu yeni yasaları, salt "Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı ilkesinin" (Anayasa m. 153/son) ihlal edildiği gerekçesiyle esasa girerek iptal etmiştir. Bu durum, Mahkeme kararlarına karşı koymanın veya onları dolaylı yollardan geçersiz kılmanın yasama erki için mümkün olmadığını net bir şekilde ortaya koymaktadır (Çağlar, 1990).

Anayasa Mahkemesi, yasama organı üzerinde bu denli bağlayıcı bir güce sahip olmakla birlikte, yetkilerini kullanırken kuvvetler ayrılığı ilkesine riayet etmek zorundadır. Anayasa'nın 153. maddesinin 2. fıkrasında çok net bir ifadeyle; "Anayasa Mahkemesi bir kanun veya Cumhurbaşkanlığı kararnamesinin tamamını veya bir hükmünü iptal ederken, kanun koyucu gibi hareketle, yeni bir uygulamaya yol açacak biçimde hüküm tesis edemez" kuralına yer verilmiştir. Bu kural, Mahkemenin negatif yasa koyucu rolünü aşarak, iptal ettiği hükmün yerine geçecek pozitif bir hukuk kuralı (pozitif yasa koyucu) ihdas edemeyeceğinin altını çizmektedir (Kılıç, 2024).

Yürütme ve Yargı Organları Açısından Bağlayıcılık

Anayasa Mahkemesinin kararları, yürütme organı (Cumhurbaşkanı, bakanlıklar ve tüm idari teşkilat) ile derece mahkemeleri açısından da emredici sonuçlar doğurur. İdarenin tüm eylem ve işlemlerinin hukuka uygun olması hukuk devleti ilkesinin tartışılmaz bir kuralıdır. Anayasa Mahkemesi'nin bir kanun hükmünü iptal etmesi, idarenin o kanuna dayanarak tesis edeceği tüm işlemleri hukuki dayanaktan yoksun bırakır. Dolayısıyla idare, iptal edilen veya anayasaya aykırılığı saptanan bir normu uygulamaya devam edemez, kararın gerektirdiği idari düzenlemeleri yapmak ve Anayasanın öngördüğü yeni duruma uyum sağlamak zorundadır (Küçük, 2012).

Yargı organları açısından ise, Anayasa Mahkemesi kararları, devam etmekte olan davaların çözümünde doğrudan etkilidir. İptal kararlarının geriye yürümezliği ilkesi kabul edilmiş olsa da, bir kanun hükmünün iptali, henüz karara bağlanmamış ve devam eden yargılamalarda mahkemeler tarafından dikkate alınmak zorundadır. Danıştay ve Yargıtay içtihatlarında da vurgulandığı üzere; Anayasa Mahkemesi'nce bir kanunun anayasaya aykırı bulunarak iptal edildiği bilinmesine rağmen, görülmekte olan uyuşmazlıkların, anayasaya aykırılığı hükmen sabit olmuş kurallara göre çözümlenmeye devam edilmesi anayasanın üstünlüğü prensibiyle bağdaşmaz (Küçük, 2012). Bu noktada yargı organlarının anayasaya sadakat yükümlülüğü devreye girmektedir ve Anayasa Mahkemesinin kararı, yargı yerleri için mutlak bir uygulama zorunluluğu doğurmaktadır.

Aşağıdaki tabloda, Anayasa Mahkemesi kararlarının genel olarak özellikleri, muhatapları ve etkileri sistematik bir şekilde özetlenmektedir:

Karar Türü	Etki Alanı	Kararın Temel Amacı	Ana Muhataplar	Geriye Yürüme Durumu
Soyut / Somut Norm Denetimi (İptal Kararları)	*Erga Omnes* (Herkesi Bağlar)	Hukuk düzenini anayasaya aykırı kurallardan arındırmak	Yasama Organı, Yürütme, Tüm Yargı Makamları, Bireyler	Kural olarak geriye yürümez (Anayasa m. 153/5).
Bireysel Başvuru Kararları (İhlal Kararları)	*Inter Partes* (Tarafları Bağlar) ve Kısmi *Erga Omnes* (Emsal Etki)	Temel hak ve özgürlük ihlallerini gidermek, anayasal yorum geliştirmek	Başvurucu, İhlale Neden Olan İdari/Yargısal Makam	İhlali tespit ettiği için geçmişe dönük onarıcı etki (Yeniden Yargılama) yaratır.

Karar Gerekçelerinin Bağlayıcılığı Sorunu

Türk anayasa hukuku doktrininde Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı ile ilgili tartışmaların en yoğun yaşandığı, bilimsel kongrelerde sıklıkla masaya yatırılan ve en çok görüş ayrılığı barındıran temel konu "karar gerekçelerinin bağlayıcılığı" (ratio decidendi) meselesidir (Göztepe, 2016). 1982 Anayasası'nın 153. maddesi, mahkemenin kararlarının bağlayıcı olduğunu düzenlerken, kararın "hüküm fıkrası" ile "gerekçesi" arasında açık bir ayrıma gitmemiş, genel bir ifade kullanmıştır. Bu belirsizlik, doktrinde iki farklı yaklaşımın doğmasına zemin hazırlamıştır.

Sadece Hüküm Fıkrasının Bağlayıcı Olduğunu Savunan Görüş

Hukuk öğretisindeki bir kısım yazarlara (özellikle Kemal Gözler gibi anayasa hukukçularına) göre, Anayasa Mahkemesi kararlarının tüm yargı kararlarında olduğu gibi yalnızca ve kesinlikle "hüküm fıkrası" bağlayıcıdır (Gözler, 2020). Kararın gerekçesi, o hükme ulaşılırken izlenen mantıksal çıkarım ve hukuki nedenlerden ibarettir; yol gösterici olabilir ancak bağlayıcı bir yasa normu niteliğinde dayatılamaz.

Gerekçenin bağlayıcı olmadığını savunanlar bu iddialarını çeşitli argümanlara dayandırmaktadır. İlk olarak, eğer gerekçelerin tamamının bağlayıcı olduğu kabul edilirse, Anayasa Mahkemesi'nin kendi kararlarıyla bizzat kendini de sonsuza dek bağlamış olacağı ileri sürülmektedir. Bu durum, hukukun toplumsal gelişmelere ayak uydurmasını engeller ve hukuk sisteminin donmuş, statik ve gelişime kapalı bir hale gelmesine (statik hukuk sistemi) yol açar (Şahbaz, 2021). İkinci olarak, yasama organının anayasayı yorumlama yetkisinin, sadece Anayasa Mahkemesine devredilerek mahkemenin yasama ve yürütme organlarına emir ve talimat veren hiyerarşik bir vesayet makamına dönüşmesi tehlikesine dikkat çekilmektedir (Kaya, 2018). Son olarak, çok üyeli yüksek mahkemelerde verilen kararlarda üyelerin çoğunluğa farklı hukuki veya sosyolojik gerekçelerle katılabildiği; bu nedenle karmaşık ve bazen birbiriyle çelişen gerekçelerin tümünün birden uygulanmasının fiilen imkansız olduğu vurgulanmaktadır (Şahbaz, 2021).

Gerekçelerin de Hüküm Gibi Bağlayıcı Olduğunu Savunan Görüş

Anayasa Mahkemesi'nin bizzat kendi kararlarında ısrarla vurguladığı ve doktrinde de kuvvetle desteklenen karşıt görüşe göre; bir mahkeme kararı, sebepleri, ulaşılan hukuki kanaatleri ve sonucuyla (hüküm fıkrasıyla) ayrılmaz bir bütündür (Şahbaz, 2021). Anayasa'nın 153. maddesinin 1. fıkrasında

yer alan "İptal kararları gerekçesi yazılmadan açıklanamaz" amir hükmü, anayasa koyucunun gerekçeye salt biçimsel bir unsur olarak değil, kurucu ve zorunlu bir unsur olarak baktığının en büyük kanıtıdır.

Sadece hüküm fıkrasının bağlayıcı olduğunu kabul etmek, yargısal çözümün anlamsızlaşmasına ve mantıksal bir krize yol açar. Bilhassa Anayasa Mahkemesi'nin norm denetimi kararlarında, bir kanun maddesinin içerisindeki sadece bir sözcüğün, "ve/veya" gibi bir bağlacın ya da bir ibarenin iptaline karar verildiği durumlar sıklıkla yaşanmaktadır. İptal edilen bu ibarenin neden anayasaya aykırı olduğunun, kanun koyucunun hangi anayasal sınırı aştığının ve iptal sonrası oluşacak hukuki boşluğun nasıl doldurulması gerektiğinin pusulası ancak ve ancak kararın gerekçesinde mevcuttur (Göztepe, 2016). Sebebi bilinmeyen, anayasal yorumu okunamayan kuru bir hükmün hayata geçirilmesi, iptal kararını etkisiz ve icra edilemez kılacaktır (Kılıç, 2024).

Bu tartışmaların bilimsel ve hukuki bir sentezi yapıldığında, Anayasa Mahkemesi kararlarında yer alan her türlü tali görüşün, yan düşüncenin (obiter dictum) veya akademik yorumun mutlak surette bağlayıcı olduğunu iddia etmek mümkün olmasa da; hüküm fıkrasında varılan sonuç ile mantıksal bir bütünlük arz eden, kararın inşasını sağlayan "taşıyıcı gerekçelerin" bağlayıcı olduğu kabul edilmelidir (Şahbaz, 2021; Kılıç, 2024). Gerekçenin bağlayıcılığı, hukuki belirlilik ilkesinin teminatı ve anayasanın yorumlanmasında yargısal istikrarın anahtarıdır.

Bireysel Başvuru Kararlarının Bağlayıcılığı ve Derece Mahkemelerine Etkisi

Türkiye'de 2010 yılında gerçekleştirilen anayasa değişiklikleriyle hukuk sistemimize kazandırılan ve 2012 yılında fiilen uygulanmaya başlanan bireysel başvuru (anayasa şikâyeti) mekanizması, Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı konusuna yepyeni bir dinamik getirmiştir. Temel hak ve özgürlüklerin korunmasında ikincil nitelikli bir yargısal çare olan bireysel başvuru sonucunda verilen kararların niteliği ve etki alanı, geleneksel norm denetimi kararlarından bazı yapısal farklılıklar göstermektedir (Baymuş ve Acar, 2023).

Soyut ve somut norm denetiminde verilen kararlar doğrudan yasa kuralını hedef aldığı için nesnel ve *erga omnes* (herkesi bağlayıcı) etki doğururken; bireysel başvuru mekanizmasında verilen kararlar kural olarak *inter partes* (tarafları bağlayıcı) bir nitelik taşır. Zira ortada kamu gücü tarafından mağdur edilmiş spesifik bir başvurucu ve ihlale sebebiyet vermiş belirli bir idari veya yargısal makam vardır (Baymuş ve Acar, 2023). Ancak, Anayasa Mahkemesi'nin bireysel başvurular neticesinde ürettiği içtihatların etkisini sadece o davanın tarafları ile sınırlamak, anayasa yargısının varlık amacıyla örtüşmez. Mahkeme, başvurucunun sübjektif hakkından yola çıkarak Anayasada yer alan temel hak ve özgürlükleri objektif bir şekilde yorumlamakta, sınırlarını çizmekte ve bu hakların ihlal edilmemesi için kamu gücüne rehberlik etmektedir (Akçil, 2021). Bu yönüyle bireysel başvuru kararlarının, benzer durumda olan tüm bireyler ve ileride yaşanabilecek benzer uyuşmazlıklar açısından emsal teşkil eden nesnel (objektif) bir bağlayıcılığı da mevcuttur.

Bireysel başvuru kararlarının bağlayıcılığının en çok sınandığı alan, Anayasa Mahkemesinin tespit ettiği bir hak ihlalinin derece mahkemelerince (ilk derece, istinaf, temyiz mercileri) nasıl ortadan kaldırılacağı sürecidir. 6216 sayılı Kanun'un 50. maddesine göre, tespit edilen ihlal bir mahkeme kararından kaynaklanmışsa, Anayasa Mahkemesi ihlali ve sonuçlarını ortadan kaldırmak için yeniden yargılama yapılmak üzere dosyayı ilgili derece mahkemesine gönderir.

Derece mahkemesinin yeniden yargılama aşamasındaki yükümlülüğü oldukça nettir ve takdire yer bırakmaz. Derece mahkemesi, Anayasa Mahkemesi'nin ihlal kararında belirttiği gerekçeler ve anayasal ilkeler doğrultusunda eski (ihlale neden olan) kararını kaldırmak ve ihlalin sonuçlarını telafi edecek yeni bir hukuki işlem tesis etmekle mükelleftir (Kılıç, 2021). İhlalin varlığını tartışmak, Anayasa Mahkemesi'nin kararının yerindeliğini sorgulamak veya karara direnmek hukuken mümkün değildir. Buna rağmen, uygulamada bazen derece mahkemelerinin Anayasa Mahkemesi kararlarına uymakta imtina ettikleri, kararların sonuç ve içeriklerine doğrudan ya da dolaylı olarak itiraz ederek bir yargısal sorun yarattıkları gözlemlenmektedir (Baymuş ve Acar, 2023). Bu tür direnç örnekleri, anayasanın üstünlüğü ve hukuki güvenlik ilkelerine ağır zararlar verme potansiyeli taşımakta olup, Mahkeme kararlarının icra edilmesi devlet organları için bir tercih değil, mutlak bir anayasal görevdir.

Anayasaya Sadakat Yükümlülüğü ve Yüksek Mahkemeler Arası İlişki

Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı, daha geniş bir teorik çerçeve olan "Anayasaya sadakat yükümlülüğü" ile doğrudan bağlantılıdır. 1982 Anayasası'nın 11. maddesi, "Anayasa hükümleri, yasama, yürütme ve yargı organlarını, idare makamlarını ve diğer kuruluş ve kişileri bağlayan temel hukuk kurallarıdır" şeklindeki düzenlemesiyle anayasanın bağlayıcılığını ve üstünlüğünü en saf haliyle ortaya koyar (Güveyi, 2024). Bu hüküm, devleti oluşturan tüm erklerin ve bireylerin anayasaya sadakatle bağlı olmasını emreder. Her hukuk kuralı gibi anayasa kuralları da ancak hayata geçirildiği ve uyulduğu ölçüde etkinlik kazanır.

Türk yargı sisteminde, Yargıtay ve Danıştay adli ve idari uyuşmazlıklarda nihai karar mercileri olarak konumlanmışlardır. Anayasa Mahkemesi ile bu yüksek mahkemeler arasında görev ve hiyerarşi bakımından bir ast-üst (temyiz merci) ilişkisi bulunmamaktadır. Sistemin tasarımı, fonksiyonel bir kuvvetler ayrılığına ve uzmanlık esasına dayanır. Ancak "anayasal normların nihai olarak yorumlanması" ve "anayasaya uygunluk denetiminin gerçekleştirilmesi" alanlarında yetki tekeli, tartışmasız bir şekilde Anayasa Mahkemesi'ne aittir (Güveyi, 2024).

Bu hukuki tekel, Yargıtay ve Danıştay'ın Anayasa Mahkemesi kararları karşısındaki konumunu da belirler. Anayasa Mahkemesi tarafından yapılan anayasaya uygunluk denetimi neticesinde verilen iptal kararları veya bireysel başvuru kapsamındaki hak eksenli yorumlar, diğer tüm mahkemeler gibi yüksek mahkemeler açısından da mutlak bir bağlayıcılık arz eder (Güveyi, 2024). Örneğin, Yargıtay'ın herhangi bir somut uyuşmazlıkta, Anayasa Mahkemesi tarafından temel haklara aykırı bulunarak iptal edilmiş bir normu uygulamaya devam etmesi veya Anayasa Mahkemesi'nin açık bir şekilde geliştirdiği temel hak içtihadına aykırı karar tesis etmesi, anayasaya sadakat yükümlülüğünün açık bir ihlali anlamına gelir (Güveyi, 2024). Yüksek mahkemeler, Anayasa Mahkemesinin ihlal kararları sonrasında kendi yerleşik içtihatlarını gözden geçirmek, anayasal yorumlara uyum sağlamak ve hukukun birliğini insan hakları temelinde tesis etmek zorundadırlar. Aksi yöndeki tutumlar, yargı erkleri arasında yetki çatışmalarına neden olarak vatandaşların adalete ve hukuk devletine olan inançlarını zedeleyici sonuçlar doğurmaktadır.

SONUÇ

Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı, yalnızca yargılama usulüne dair teknik bir detay veya şekli bir zorunluluk olmanın ötesinde; anayasacılık idealinin, sınırlı iktidar anlayışının ve hukuk devleti ilkesinin kalbinde yer alan yaşamsal bir mekanizmadır. 1982 Anayasası'nın 153. maddesinde güvence altına alınan bağlayıcılık hükmü; Anayasa Mahkemesi kararlarının, muhatapları tarafından herhangi bir onay, takdir veya denetim makamına ihtiyaç duyulmaksızın, doğrudan ve derhal uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Akademik literatür, yargısal pratikler ve Anayasanın amir hükümleri çerçevesinde yapılan incelemeler göstermektedir ki; Anayasa Mahkemesi kararlarının bağlayıcılığı, yalnızca uyuşmazlığı noktalayan "hüküm fıkrası" ile sınırlandırılamaz. Kararın hükmüne dayanak teşkil eden, anayasal normların sınırlarını ve içeriğini belirleyen "taşıyıcı gerekçeler" de hukuk sisteminin bütünü için yönlendirici ve emredici bir nitelik taşır. Yasama organının iptal edilen normları aynı şekilde yeniden yasalaştırmaması, yürütme ve idare makamlarının iptal kararlarının doğurduğu yeni hukuki statüye uygun işlem tesis etmesi anayasal bir zorunluluktur.

Özellikle 2010 yılında hukuk sistemimize giren bireysel başvuru müessesesi, Anayasa Mahkemesinin temel hak ve özgürlükler alanındaki bağlayıcılığını derinleştirmiş, mahkemenin geliştirdiği objektif anayasal yorumların tüm yargı sistemi için bir pusula işlevi görmesini sağlamıştır. Derece mahkemelerinin ve yüksek yargı organlarının (Yargıtay ve Danıştay), Anayasa Mahkemesinin tespit ettiği hak ihlallerini giderme sürecinde gösterdikleri uyum, devlet kurumlarının "Anayasaya sadakat yükümlülüğünün" en somut ölçütüdür. Sonuç olarak, Anayasa Mahkemesi kararlarının etkinliği ve bağlayıcılığının tartışmasız olarak kabul edilmesi; kararların kâğıt üzerinde birer temenni olmaktan çıkıp, demokratik meşruiyeti ve hukukun üstünlüğünü teminat altına alan sarsılmaz birer yargısal iradeye dönüşmesinin tek güvencesidir.

KAYNAKÇA

Akçil, S. (2021). Bireysel Başvuru Kararlarının Subjektif ve Objektif Etkisinin İdari Yargı Yönünden İncelenmesi. *Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(1), 12-22.

Baymuş, T. ve Acar, E. (2023). Anayasa Mahkemesi Bireysel Başvuru Kararlarının Bağlayıcılığı Üzerine Bir Değerlendirme. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11, 119-128.

Çağlar, B. (1990). Anayasa Mahkemesi Kararlarında Eşitliğin Dar Yorumu. *Anayasa Yargısı Dergisi*, 12-52.

Gözler, K. (2020). *Türk Anayasa Hukuku Dersleri* (25. Baskı). Ekin Kitabevi Yayınları.

Göztepe, E. (2016). Bireysel Başvuru Kararlarının Bağlayıcılığı ve İcrası Sorunu ile Kurumsallaşma İhtiyacı. *Anayasa Yargısı Dergisi*, 33, 93-118.

Göztepe, E. (2018). İhlal Kararlarının Kesinliği ve Maddi Anlamda Kesin Hüküm Teşkil Etmesi. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 22(1-2), 1-10.

Güveyi, Ü. (2024). Anayasaya Sadakat Yükümlülüğü Ekseninde Anayasa Mahkemesi ve Yargıtay İlişkisi. *Anayasa Yargısı Dergisi*, 41(2), 159-227.

Kaya, S. B. (2018). Anayasa Mahkemesi Karar Gerekçelerinin Bağlayıcılığı Sorunu. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 22(1), 3-47.

Kılıç, A. (2021). Bireysel Başvuru Kararlarının Türkiye Büyük Millet Meclisine Bildirilmesi. *Anayasa Yargısı Dergisi*, 38(1), 89-95.

Kılıç, A. (2024). Anayasa Mahkemesi'nin İptal Kararlarının Bağlayıcılığı ve İptal Kararı Sonucu Kanun Koyma Sürecine Etkisi. *Yasama Dergisi*, 50, 105-134.

Küçük, A. (2012). Anayasa Mahkemesi Tarafından Verilen İptal Kararlarının Erken Açıklanmasına ve Yürürlüğün Ertelenmesine Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Bazı Sorunlar. *Anayasa Yargısı Dergisi*, 314-323.

Şahbaz, İ. (2021). Anayasa Mahkemesi Kararının Gerekçesinin Bağlayıcılığı Sorunu. *Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2, 31-72

TÜRKİYE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE FİNANSAL ETKİNLİĞİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ÖLÇÜLMESİ: 2020–2025 DÖNEMİ

Sena ÖZDEMİR

Marmara Üniveristesi, İşletme Fakültesi, ORCID ID: 0009-0006-7487-9566

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Doğuş Otomotiv, Ford Otosan, Karsan, Otokar ve Tofaş işletmelerinin finansal etkinlik düzeylerini Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanarak değerlendirmektir. Küresel rekabetin yoğunlaştığı, maliyet baskılarının arttığı ve teknolojik dönüşüm süreçlerinin hız kazandığı otomotiv sektöründe işletmelerin sahip oldukları kaynakları etkin ve verimli biçimde kullanmaları büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda araştırmada, 2020–2025 dönemine ait finansal veriler esas alınarak firmaların göreli etkinlik performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışmada toplam varlıklar, faaliyet giderleri ve net finansal borç girdiler olarak; net satışlar ile net dönem kârı ise çıktılar olarak modele dahil edilmiştir. Karar verme birimleri olarak ele alınan işletmelerin mevcut kaynaklarını hangi ölçüde etkin kullandıkları ve benzer girdilerle ne düzeyde çıktı üretebildikleri Veri Zarflama Analizi yöntemi yardımıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda etkin ve etkin olmayan işletmeler belirlenmiş, etkinlik sınırının altında kalan firmalar için potansiyel iyileştirme alanları ortaya konulmuştur. Ayrıca etkin firmaların referans işletme olarak değerlendirilmesi sayesinde sektörde örnek alınabilecek performans ölçütleri belirlenmiştir.

Araştırmadan elde edilen bulguların, otomotiv sektöründeki işletmelerin finansal performanslarının değerlendirilmesine, kaynak kullanım etkinliklerinin artırılmasına ve stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlaması beklenmektedir. Bunun yanında çalışmanın, Türkiye otomotiv sektöründe gerçekleştirilen güncel Veri Zarflama Analizi uygulamalarına akademik açıdan katkı sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri Zarflama Analizi, Otomotiv Sektörü, Finansal Performans, Kaynak Kullanım Verimliliği, Türk Otomotiv Şirketleri

MEASURING FINANCIAL EFFICIENCY IN THE TURKISH AUTOMOTIVE SECTOR USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: 2020–2025 PERIOD

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the financial efficiency levels of Doğuş Otomotiv, Ford Otosan, Karsan, Otokar, and Tofaş, companies operating in the Turkish automotive sector, using Data Envelopment Analysis (DEA). In the automotive sector, where global competition is intensifying, cost pressures are increasing, and technological transformation processes are accelerating, it is crucial for companies to utilize their resources effectively and efficiently. In this context, the research comparatively examines the relative efficiency performance of firms based on financial data from 2020–2025.

In the study, total assets, operating expenses, and net financial debt were included as inputs; net sales and net profit were included as outputs. The extent to which companies, considered as decision-making units, effectively utilize their existing resources and the level of output they can produce with similar inputs were analyzed using Data Envelopment Analysis. The analysis identified efficient and inefficient companies, and potential areas for improvement were revealed for companies falling below the efficiency frontier. Furthermore, by evaluating efficient companies as reference companies, performance metrics that can be used as examples in the sector were determined.

The findings of this research are expected to contribute to the evaluation of the financial performance of businesses in the automotive sector, the improvement of resource utilization efficiency, and strategic decision-making processes. In addition, it is believed that the study will provide an academic contribution to current Data Envelopment Analysis (DEA) applications in the Turkish automotive sector.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Automotive Industry, Financial Performance, Resource Utilization Efficiency, Turkish Automotive Companies

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA POLICIES IN ISTANBUL'S PUBLIC, PRIVATE, AND INTERNATIONAL SCHOOLS

Assoc. Prof. Dr. Erdoğan Bozkurt

Department of Statistics and Data Science, Statistics and Data Science (English) Program

Gulraız Shoukat

Department of Statistics and Data Science, Statistics and Data Science (English) Program

A COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA POLICIES IN ISTANBUL'S PUBLIC, PRIVATE, AND INTERNATIONAL SCHOOLS

ABSTRACT

In recent years, social media has become an important part in the student's life. It opens the new doors of learning and communication, but has also brought other issues like cyberbullying, exposure to harmful content and lack of focus. In this study, a total of 28 public, private, and international schools were selected from Istanbul for the comparative analysis of social media policies among all the shortlisted schools. For the research, we had analyzed official handbooks, national laws and policy documents of the schools using qualitative document analysis. The purpose of the study was to highlight the difference that how different schools are handling and controlling the ongoing usage of social media among the students. Public schools follow strict MEB (Ministry of National Education) rules, whereas, the Private schools try different approaches to protect their reputation as well as teaching students about digital behavior and harmful impact of social media. Furthermore, International schools take an open approach, they use AUP (Acceptable Use policies) and brought the technology into the classroom to teach students the usability of social media responsibly. This study addresses that there is a serious gap in the digital education between these school types, and this gap has created an unfair situation among the students.

Keywords: Social Media Policy, Digital Citizenship, Comparative Education, Digital Governance, Educational Equity, School Regulations, Cyberbullying.

INTRODUCTION

1.1. Background of the Study

Social media has played a major role in changing the traditional education system. It has brought new ways of learning and communicating. Providing immense learning opportunities to students and has made an education easy. But the intensive use of social media and digital platforms without proper control and monitoring has caused significant problems.

In these days, commonly students encounter with the challenges like sleep disturbance due to intensive use of digital platforms, cyberbullying, distraction and loss of control and focus. Also, due to lack of proper rules and regulations in the institutes, the teachers also struggle to set a boundary for professional communication with the students on social media (Belen & İçen, 2025; Mawhinney, 2013). Proper rules in schools protect their reputation and also control the cause of moral panics due to kids' behavior (Robards et al., 2025).

The Ministry of National Education (MEB) in Turkey is working to regulate the use of social media and issuing directives to the schools to prioritize the secure communication and the safeguarding of student

privacy (Kesim & Alabaş, 2024). However, research indicates that adherence to these regulations is not consistently observed in practice (Köseoğlu & Aydın, 2022). This issue is further compounded within a large, cosmopolitan city such as Istanbul.

We don't fully understand how these numerous "digital rulebooks" are different in terms of their design, philosophy, and purpose right now. This study investigates social media policies of public, private, and international schools in Istanbul to elucidate the impact of diverse institutional contexts on digital governance. social media

1.2. Social Media and Education in the Turkish Context

The use of social media in Turkish schools has grown very fast, and in most cases faster than any formal rules have been put in place to manage it. Istanbul is Turkey's largest and most diverse city, and this makes things quite complicated. The schools there are all very different from each other, even though they all have to follow the same national laws.

Public schools, called Devlet Okulları, are run directly under MEB and have to follow national rules without much flexibility. Private schools, like Özel Okullar, are also working under the set rules of MEB and they are also answerable to parents who are paying for their child education.

According to Kesim and Alabaş (2024), the Turkish schools are managing social media and digital communication in quite different ways. They are significantly using social media to communicate with students and teacher, but each school still follows its own rules. Researchers also analyzed that the public schools in Turkey focus more on avoiding the problem rather than teaching the students how to use the digital tools positively and responsibly. (Aydın & Kaya, 2022)

1.3. Problem Statement

The issues among the students due to lack of proper guidelines on the use of social media is causing problem. It requires detailed comparative analysis to check how different schools use official guidelines to manage the use of social media. Although, social media has become an important part of student's life, but still there is no sufficient data available that show how different schools in Istanbul working. Previously conducted studies focuses only on how social media affects learning behavior of students and teacher's attitudes, not the official policies of schools that shows how the institute responds. (Connolly, 2011; Cardno, 2018).

1.4. Purpose of the Study

The main objective of this study is to evaluate social media policies of public, private, and international schools in Istanbul. The study was carried out using the official policy documents from these schools and analyzing all the major aspects of it for comprehensive analysis.

This study focuses on three main aspects:

- Firstly, regulations on how the students and teachers should talk to each other on digital platforms and also to keep the student data safe.
- Secondly to check the purpose of polices. Is the institute only controlling the negative things to happen or they are trying to educate the student?
- Lastly, this study addresses the importance of policy documents in institutes. To check are they meant to save the school's reputation, the national law or the students themselves.

The main focus of this study is to identify the already applied strategies with the school system in Istanbul to check its effectiveness and inefficiency. This will help us to make systematic changings for positive outcome in education.

1.5. Research Questions

This study will address below mentioned some important questions:

- The use of social media policies in Istanbul public, private, and international schools. To check how policies among these schools are different and how they are protecting the student themselves.
- Risks social media policies are aim to address. The study is designed to highlight the ongoing issues of cyberbullying and to protect school's reputation so that all the stakeholders are compliance with the policies.
- The third question is to see how the various polices help students to learn the use of the internet in a safe and responsible way.

1.6. Significance of the Study

The design of the study is to focus both on theoretical and practical approaches. Theoretically, it adds value to the existing debate that how the policies shape the school system and how the digital rules are formulated as all schools are operating under the same national laws. It highlights the importance of social policies as it not only shapes the social behavior of the students, but also showcase the pressure and ongoing issues behind the institutions (Yanow, 2000).

Practically, the main outcome of the study is to provide the findings to the Turkish school administrators and policymakers so that they can monitor and take concrete steps to control the student's heath issues. Turkish schools should check what students are browsing on the digital platform as the school's reputation is also on stake. This comparative analysis will also give us a clear picture to understand how other countries are dealing with same kind of challenges in their own school systems so that it can help the Turkish school administrators to deal with this problem.

LITERATURE REVIEW

2.1. Introduction to the Literature Review

The use of social media among the students has rapidly increased prior to any real rules in schools. This situation caused serious problem because the schools had to figure it out two things: 1) How to use these platforms a source of learning for students, and 2) How to deal with the serious societal problems and challenges.

2.2. Social Media as a Tool in Educational Settings

In the past few years, social media platforms have become quite useful for sharing information and for teaching in the classroom. Mawhinney (2013) describes today's students as "digital natives," meaning they tend to learn best when they are using digital devices and working together online. Recent researches support this concept. As per the recent studies conducted by Belen and Icen (2025), YouTube and Google are key learning platforms where student can explore and study their own topics according to their desire or interest.

2.3. Risks and Challenges of Social Media Use

Even though social media can be useful for learning, it brings a lot of problems too. The use of social media without the proper guidance and its excessive use brings some serious consequences like poor health, inappropriate sleeping pattern, and bad time management etc, and these problems ultimately hurt the academic performance of students. (Belen & İçen, 2025). When teachers and students interact on social media, it can also blur the line between professional and personal relationships in ways that cause serious problems (Mawhinney, 2013; Robards et al., 2025).

2.4. The Role of Policy in School Digital Governance

Schools need clear rules to deal with the problems that come with social media. Research study shows that these implemented rules in schools do not have the clear plan.. Both Social media Law of 2020 and the Anti-Disinformation Law of 2022 depicts the clear example of how the government is trying to get the complete control of online activity (Ince, 2025).

2.4.1. The Necessity of Formal Digital Rulebooks

Developing a rulebook to use social media is important as it provide a structured approach to balance the educational opportunities and risks such as damage to the reputation, cyberbullying, privacy breaches etc. Previously, schools used to struggle to define their role in controlling what students posted online (Mawhinney, 2013).

2.4.2. Managing Institutional Reputation and "Moral Panics"

A major function of school digital governance is reputation management. Many school policies are deeply concerned with ensuring that the actions of individual students or staff members do not bring public discredit to the institution. Sociological research suggests that because of these high stakes, school policies are frequently driven by "moral panics" a heightened, sensationalized public fear about youth behavior regarding sex, drugs, violence, and technology (Robards, Goring, & Hendry, 2025).

2.4.3. Regulating Teacher-Student Boundaries

The essential role of school's social media policy is to maintain the professional boundary between teacher and student. The traditional relationship between a teacher and a student is flattened due to the informal and instant nature of social media. To avoid such inappropriate interactions, misunderstandings, potential risks or unethical conduct of crossing the professional boundaries, effective school policies must be outlined to address such problems out of class communication (Mawhinney, 2013).

2.4.4. State Oversight and the Legal Environment

Rather than existing independently, the institutions are operating using the national legal framework that clearly dictate digital policies of school. In Turkey, the centralized approach for digital governance is used to control the media. Also, social media Law in 2020 and the Anti-Disinformation Law in 2022 has combat against the false information and these legislative actions have tightened state to maintain the public order as well (Ince, 2025).

2.4.5. Data Privacy and Parental Consent

The protection of data and student's privacy is the core focus of the digital governance. To avoid breach to occur, there should be a policy documentation that helps in spreading the proper digital literacy in education. According to the study, there is a lack of digital data literacy in educational institutions because these policies are not implemented efficiently. It is also noticed that the teachers and school staff often do not read the privacy policies and terms and conditions of the applications they usually use. (Marín, Carpenter, Tur, & Williamson-Leadley, 2023).

2.5. Institutional Context and Policy Variation

Studies show that, school is a type of place, who manages it and the community it serves- this all plays an important role in shaping the schools or institutions approach towards how it handles the digital governance. In Turkey, public sectors schools strictly follow the polices implemented by MEB, however there are still some institutions that lacks in implementing these policies at their campuses. This is because they usually rely on the vice principals' policies or the informal norms that are brought into action where there is something wrong happens (Köseoğlu & Aydın, 2022).

2.6. Restrictive versus Integrative Policy Approaches

Studies show that there are 2 types of approaches that are usually adopted by the schools when it comes to social media policies.

Restrictive Approach

Integrative Digital Education Approach

2.7. Digital Citizenship and Student Development

Robards et al., (2025) explained that the purpose of efficient digital governance is to help the students to become the capable and responsible digital user. In educations, the schools need to organize awareness seminar and actively talking to the students about online ethics, personal data privacy, and how to protect your personal digital space.

2.8. Public, Private, and International Schools:

Public, private and the international have diverse kind of communities and have the separate way of getting funding and all these institutions have different kinds of policies to handle social media.

2.8.1. Public Schools:

Public schools have to follow the central rules set by MEB. That part is clear. But the problem is that knowing the rules exist and actually being able to put them into practice are two different things. Most of the public sector's institutions or schools are lacking in providing the appropriate training to the resources. Köseoğlu & Aydın, 2022).

2.8.2. Private Schools:

Private schools operate in a completely different environment. They are using social media to grab fee-paying parents that is quite competitive in today's market. They are running the institutes like a business and post about student achievements to show off their services. They are working hard to build a social image among parents and students and makes them look up-to-date by facilitating the students with modern requirement (Dag, 2015). Because of this, there social media policies are protective and doing everything for the student safety or digital education. As it is important for marketing and making the school's image looks good online.

2.8.3. International Schools:

On the other hand, international schools work quite differently. They have set high global standards for child protection that they strictly monitor. This shows how effectively they have worked in writing their policies (Fairgreen International School, 2025) Comparing with public and private schools, the policies in international schools are more detailed and comprehensive, the level of documentation and oversight tends to be quite high.

2.9. Summary and Research Gap

The current literature already explains how psychological and academic effects of social media affect the teenagers. It unfolds the laws about freedom of speech and the rules made my education ministries (Belen & İçen, 2025; İnce, 2025; Köseoğlu & Aydın, 2022). However, a gap is still present in current studies. There is not enough research available that compare policies between different types of schools within the same place and culture. In Istanbul, many students are studying among different public, private, and international schools, but there is no sufficient material present that shows how these three types of schools differ in their policies, ideas, and enforcing rules. For that, the aim of the study is to fill the gap by comparing the "digital rules" of these schools to better understand how different school systems control students and shape the use of social media.

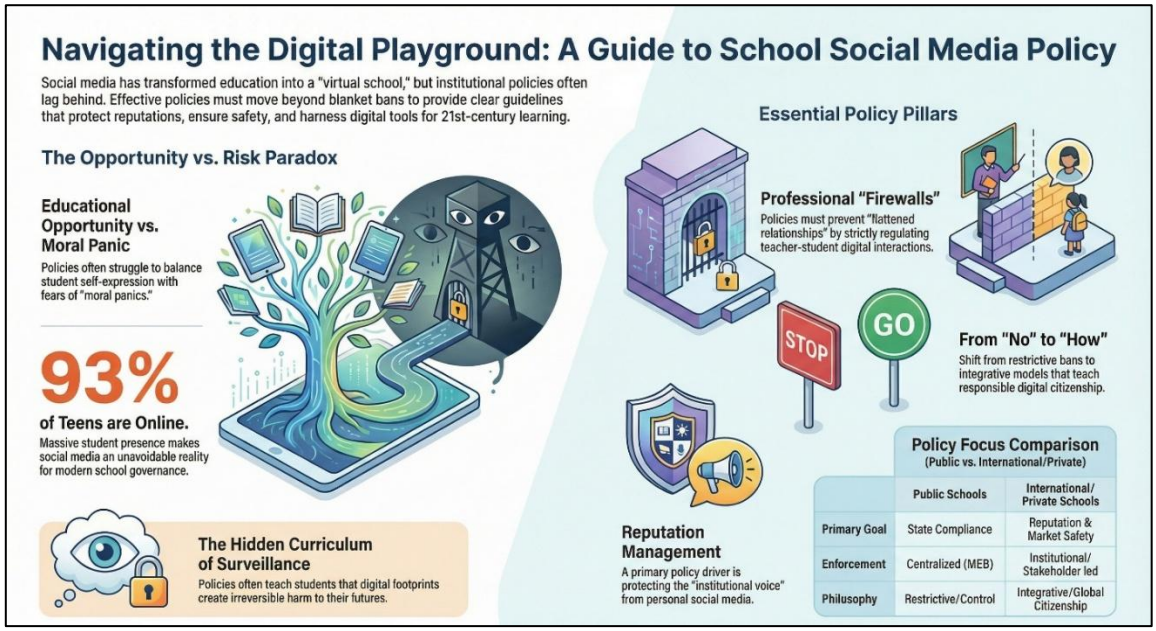


Figure 0.1: Conceptual Framework of School Social Media Policies

Source: By Author. (2026, April). Created using Notebook LM

METHODOLOGY

3.1. Research Design

A qualitative comparative research methodology based on document analysis was used in this study. The main aim of the study was to analyze the digital behavior and social media policies of different types of schools in Istanbul. This study uses qualitative content analysis, which helps the researchers identify important ideas and themes in documents in written texts and understand their meanings (Holsti, 1968).

This approach does not rely on how many times a certain word has appeared, instead this technique focuses on basic understanding behind that text. This approach is essential and quite important when it comes interpreting the formal and ambiguous, like the national legislations and school handbooks.

3.2. Selection of Schools

Proper and purposeful sampling technique was adopted during the selecting the schools for this study. It means deliberate attempt were made in selecting the various schools that are present in Istanbul's educational system. The sample is divided into three categories.

- **Public Schools:** The first category is public schools. These schools are fully funded and run by the Turkish Ministry of National Education, which is known as MEB. The public sectors that are selected for the study are İstanbul Erkek Lisesi, Vefa Lisesi, and Cağaloğlu Anadolu Lisesi.
- **Private and Foundation (Vakıf) Schools:** The second category of schools that were selected are the private and foundation schools which are also known as Vakif schools in Turkish. The schools included in this category are Terakki Foundation Schools, FMV Işık Schools, ENKA Schools, and Robert College.
- **International Schools:** The third category is international schools. International schools are usually designed for the foreign nationals and a smaller number of dual national citizens.. The international schools included in this study are Istanbul International Community School, British International School Istanbul, and MEF International School.

3.3. Data Collection Methods

The data gathered for this study was taken from the publicly available documents. The major focus while collecting the data was to gather the data gives us with the rules and regulations, guidance on the usage of technology and social media and the digital behavior.

- Private and International schools' data was taken from each selected school's website.. For example, the IICS Secondary Handbook, and Robert College's Child Protection and Safeguarding Policy.
- The data for the public schools' instead of getting the data from individual school documents, it was collected from the national legislations and the MEB's official circulars.

3.4. Data Analysis Procedures

Once all the documents for the data was collected the qualitative content analysis technique was used to analyze those selected documents. A lot of care was required while ready the policy text and then breaking down or organizing that content into the different categories based on the main theme that occurred or appeared repeatedly.

This research uses different analysis techniques and procedure. At First, all the policy documents are read carefully and analyzed to understand how different schools assess the importance of digital behavior and digital literacy.

3.5. Analytical Framework

The framework used in this study is based on George Bereday's comparative method in education. This method is useful as it allows the researchers to understand educational systems within their social and cultural context. Bereday's model is based on four main steps that reduces bias in comparisons (Bereday, 1964). Four steps applied in this study are as follows:

3.5.1. Description and Data Collection:

In this step, the data is collected from all the selected schools include digital policies, disciplinary rules, and AUPs (Acceptable Use Policies). The data is gathered and explained in a simple way, without making any judgments.

3.5.2. Interpretation:

3.5.3. Juxtaposition:

3.5.4. Comparison:

FINDINGS AND DISCUSSION

This chapter shows the findings from the comparative analysis of 28 schools in Istanbul. The basis of this study was to review social media policies of public, private and international schools and highlight the gaps in the digital citizenship. The analysis is divided into four main parts which are as following:

- First, data mapping that provides the overview of the collected data from different policy themes.
- To examine the digital behavior, the qualitative policy analysis is used to guide the behavior from the strict control to more open use.
- The similarities and differences in the rules and device management across the school types was highlighted using comparative synthesis.
- Finally, quantitative validation was used to support the qualitative findings by giving the numerical values of policy availability and disciplinary methods.

Table 0.1: Profile of Selected Public and Private Schools in Istanbul

School Name	Institutional Type	Location	Curricular Alignment & Notes
İstanbul Erkek Lisesi	Public	Fatih	MEB National Curriculum
Vefa Lisesi	Public	Fatih	MEB National Curriculum
Cağaloğlu Anadolu Lisesi	Public	Fatih	MEB; German International School recognition.
Kartal Anadolu Lisesi	Public	Kartal	MEB National Curriculum.
Şişli Anadolu Lisesi	Public	Şişli	MEB National Curriculum.
Beşiktaş Atatürk Anatolian High School	Public	Beşiktaş	MEB National Curriculum.
Beyoğlu Anatolian High School	Public	Beyoğlu	MEB National Curriculum.
Koç School	Private	Tuzla (Tepeören)	MEB; IB World School; English/Turkish bilingual.
ENKA Schools	Private	Sarıyer (İstinye)	MEB; IB PYP/MYP; CIS/NEASC Accredited; Advanced Placement (AP).
Robert College	Private	Beşiktaş (Arnavutköy)	MEB; American Curriculum influence; extensive heritage.
FMV Işık Schools	Private	Multiple (e.g., Florya)	MEB; Foundation school; holistic digital citizenship focus.
Terakki Foundation Schools	Private	Levent / Tepeören	MEB; IB programs; comprehensive campus infrastructure.
Private German High School Istanbul	Private	Beyoğlu	MEB; German curriculum integration (Abitur options).
Lycée Notre-Dame de Sion	Private	Şişli (Harbiye)	MEB; French language immersion and heritage.
Sainte Pulcherie French High School	Private	Beyoğlu	MEB; French educational traditions.
Saint Joseph High School	Private	Kadıköy	MEB; French educational traditions.
Bilfen Schools	Private	Üsküdar / Kartal	MEB; Highly structured academic environment.
SEV American College	Private	Çekmeköy	MEB; American educational heritage.
Üsküdar American Academy	Private	Üsküdar	MEB; American educational heritage.

Istanbul International Community School (IICS)	International	Büyükçekmece / Sarıyer	Full IB (PYP, MYP, DP); exclusively expatriate/foreign nationals.
British International School Istanbul (BISI)	International	Sarıyer (Maslak)	English National Curriculum; IGCSE; IB Diploma.
MEF International School	International	Beşiktaş (Ulus)	Cambridge IGCSE; IB Diploma; high technological integration.
Tulip International School	International	Beylikdüzü / Esenyurt	International curriculum for diverse expatriate demographics.
Al-Aqsa International School	International	Beylikdüzü / Esenyurt	International curriculum focusing on regional expatriates.
Lycée Français Pierre Loti	International	Beyoğlu	French national curriculum; AEFE network.
Istanbul Japanese School	International	Beşiktaş (Etiler)	Japanese national curriculum.
Tarabya British Schools	International	Sarıyer (Tarabya)	British curriculum; A-Levels.
Safir International School	International	Bağcılar	American curriculum; primary languages English and Arabic.

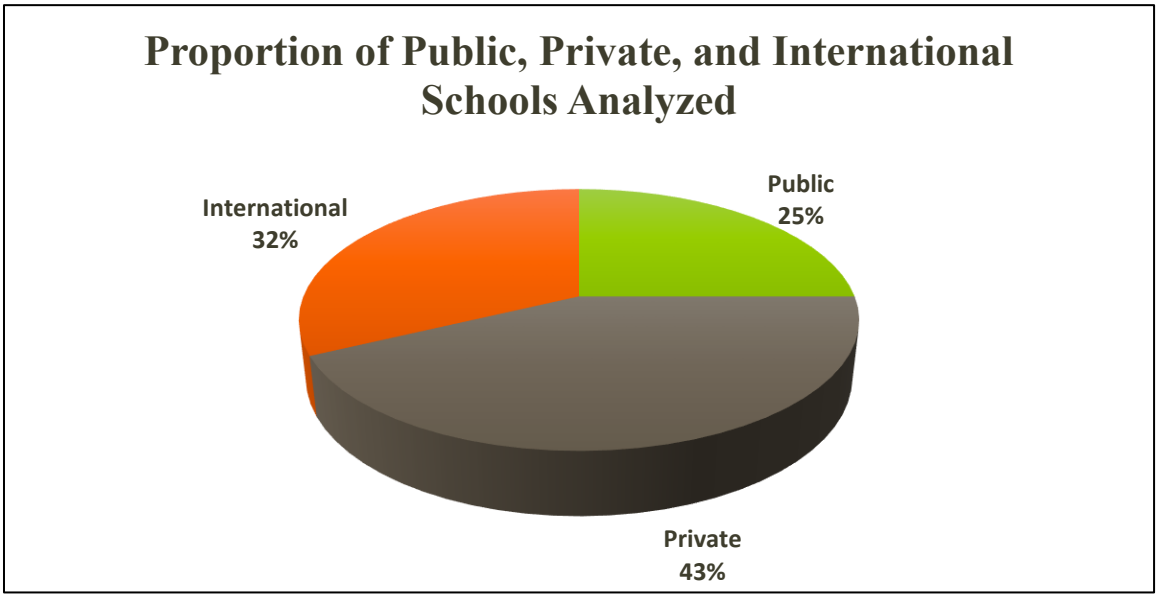


Figure 0.2: Distribution of Sampled Educational Institutions

Source: By Author. (2026, April). Primary data from Research on Use of social media

4.1. Public School Policies: Control and Protection

In public schools in Istanbul, they use strict approach to control and protect the digital behavior. The Ministry of National Education (MEB) in Turkey manage the school system and set the rules that are mostly same as the national guidelines.

4.1.1. Device Restriction:

4.1.2. National Legislative Bans:

4.1.3. Disciplinary Mechanisms:

4.2. Private School Policies: Safety and Reputation

In Istanbul, the Robert College, FMV Işık Schools, ENKA Schools, and Terakki Foundation are well-known private schools that takes a different approach in protecting the school's reputation and ensuring the safety. The private schools in Istanbul have more freedom to create their own rules. They are focusing more on developing student's digital citizenship, taking initiative for student safety and protection of school's reputation.

4.2.1. Structured Digital Citizenship Education:

4.2.2. Strict Safeguarding and Professional Boundaries:

4.2.3. Reputational Risk Management:

4.3. International School Policies: Global Perspectives

International schools such as Istanbul International Community School, MEF International School, and British International School Istanbul follow different approaches as they have to meet the global standards. Students in these schools come from a strong background, so these schools see technology as an integral part of learning and communication.

4.3.1. Mandatory Acceptable Use Policies (AUPs) and Device Integration:

4.3.2. Walled Gardens:

4.3.3. Community Building:

4.3.4. Pragmatic Physical Boundaries:

4.4. Comparative Matrix of Policy Themes

Social media policy and digital citizenship across public, private, and international schools are compared with each other to see the clear difference in their governance. The following table summarizes the educational approaches across four key areas:

Table 0.2: Comparative Analysis of Social Media Policy Themes

Policy Theme	Public Schools	Private Schools	International Schools
Fundamental Philosophy	Protectionist and punitive. Social media is seen as a societal risk. Focus is on restriction and deterrence.	Ethical developmental. inevitable digital interaction is seen. Focused on academic integrity and digital citizenship.	Integrative and pragmatic. Digital platforms are seen as essential tools. Focus is on responsible use, AI ethics, and community engagement.
Regulatory Mechanism	National legislation. Strict adherence to MEB rules. Blanket restrictions override local school decisions.	Holistic frameworks. Detailed multi-dimensional policies alongside national compliance.	Contractual agreements. Mandatory Acceptable Use Policies tied to network access.
Device and Access Management	Broad restrictions on personal devices to encourage physical socialization and maintain order.	Regulated access. School email systems required for official communication.	Mandatory 1:1 device program. Total reliance on school-managed digital platforms.
Staff-Student Boundaries	Governed by general state civil servant codes. Explicit digital boundary policies are rarely written down at the local level.	Strictly defined and Zero-tolerance rules against employees following students on personal social media.	Professionally managed. All communication goes through official monitored channels. Strict compliance with data privacy laws.

4.5. Explaining Policy Differences

Social media policies across public, private, and international school mainly depend differ by their administration, funding, and future goals. All the schools work differently such as public schools follow strict rules and compliance with the national laws. They consider social media as a harmful tool that can distract the student from studies. The Turkish government ensure the focus of public school on strict control and rules to mitigate the risks like addiction, negative social behavior and distraction.

4.6. Restrictive vs. Integrative Approaches

With the progress in technology, the use of social media has substantially increased. There is an ongoing debate in the world regarding the use of technology in young people. One approach is restrictive, which operate in the same way as public schools in Turkey. It limits the access and use digital devices. Different countries like Australia, France, and Denmark are also working to apply strict rules to limit the use of social media among young people. But as we know, using social platform excessively can harm the mental health, distraction and cyberbullying. Restrictive approach believes that by limiting access, they can encourage students for real-life interaction.

4.7. Statistical Breakdown of Policy Availability and Thematic Focus

To carry out a comparative analysis of the extracted data, an empirical foundation was required so the qualitative data collected from the policies of the selected 28 schools was analyzed by keeping focus on the 3 main themes: banning the use of mobile phone, education regarding the digital citizenship and the acceptable use policies for social media usage.

To calculate the percentages a standard formula was used in social science research.

$$\text{Percentage} = \frac{f}{N}\ x\ 100$$

Here

- **f (Frequency):** f presents the actual number of schools who had published policies in their documents within the specific group.
- **N (Sample Size):** N represent the total number of schools which were analyzed during the study.
- Table header shows the actual number of schools for all 3 levels, Here N = 7 is for the public schools while N = 12 is for private schools and N = 9 is for the selected international schools.
- **Blanket Mobile Phone Ban in Public Schools:**
- **Digital Citizenship Curriculum:**
- **Mandatory Acceptable Use Policy (AUP) in Private Schools:**

Table 0.3: Statistical Breakdown of Policy Availability

Policy Theme	Public Schools (n=7)	Private Schools (n=12)	International Schools (n=9)
Blanket Mobile Phone Ban in Classrooms	100%	83%	66%
Explicit Digital Citizenship Curriculum	0%	75%	100%
Official Social Media Usage Guidelines	0%	50%	100%
Mandatory Acceptable Use Policy (AUP)	0%	41%	100%

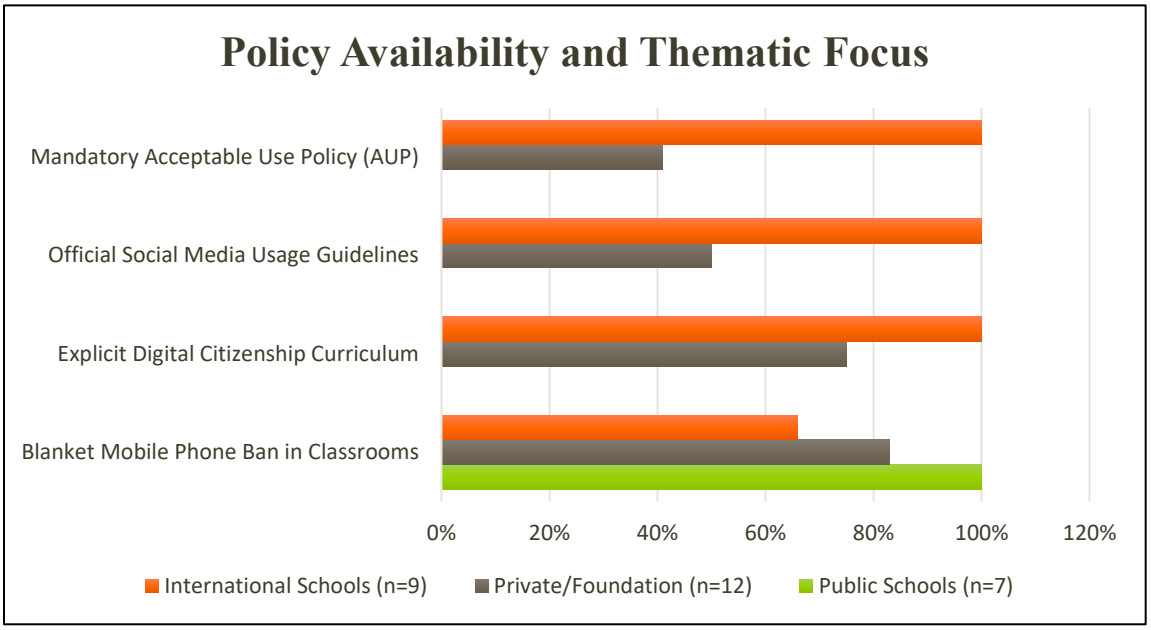


Figure 0.3: A Conceptual Framework for School Social Media Policy

Source: By Author. (2026, April). Primary data from Research on Use of social media

4.8. Quantitative Analysis of Disciplinary Approaches

There was another area where quantitative study was conducted, and it was entirely based on how the schools punish their students whenever there is a violation of digital rules. In this criterion of study, the implemented policies were divided into the 3 main categories.

Table 0.4: Quantitative Analysis of Disciplinary Approaches

Primary Disciplinary Approach	Public Schools (n=7)	Private/Foundation (n=12)	International Schools (n=9)
Punitive / Exclusionary	100%	25%	11%
Educational / Behavioral Contracts	0%	91%	55%
Revocation of Digital Privileges	0%	33%	100%

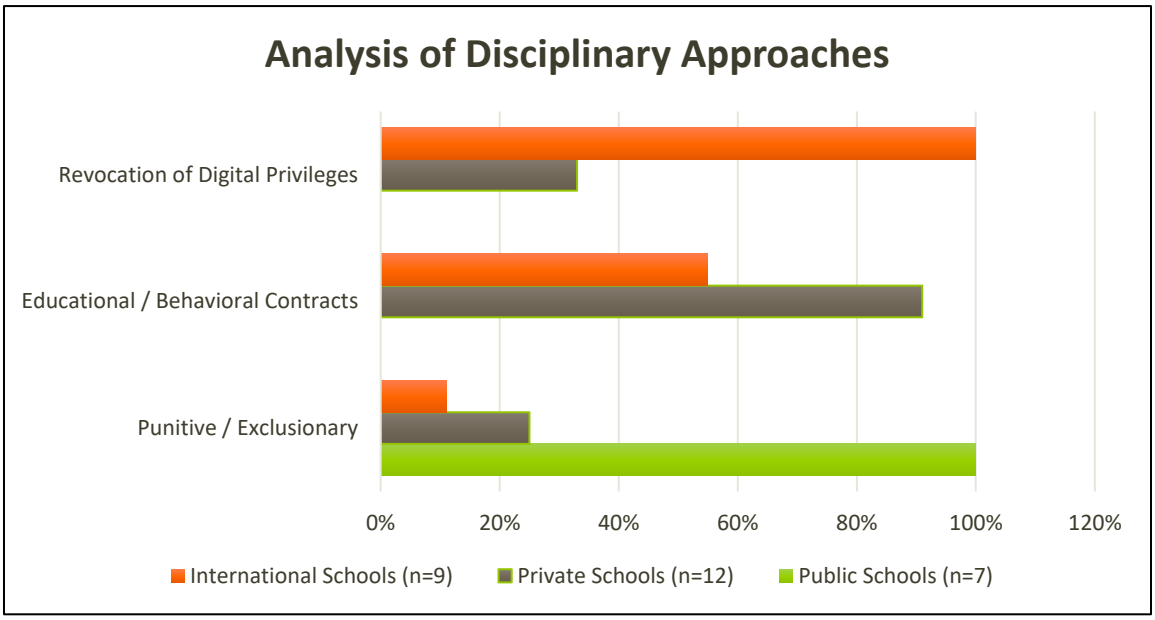


Figure 0.4: Comparative Analysis of Disciplinary Frameworks

Source: By Author. (2026, April). Primary data from Research on Use of social media

4.9. Summary of Findings

If we move towards the summary of this chapter, we will come to know that there is a huge gap in handling social media in all types of schools in Istanbul. Public schools strictly follow the guidelines issued by MEB and they mainly focus on restrictions and punishments, while the private and international schools have entirely opposite criteria as they have the freedom and treat the digital education as an integral part of success rather than something that can be avoided. There is a clear difference in policy style in all types of schools as we have learned public schools follow the restriction of students to use social media while private and international schools follow the contractual and educational responsibility. This shows a fundamental difference among all the stake holders about thinking about the digital technology. Private schools think this technology as the skill to develop.

The whole finding shapes some serious questions regarding the education equity in all types of schools. Public school students are always kept away from using the digital tools and they are never taught about

how they can use these tools in a responsible way while the students in private as well in the international schools are given with the training of how they can use social media confidently. The update in technology every year makes a huge difference. Chapter 5 is entirely built on these findings to make some real and practical recommendations and suggestions for how we can fill out this gap.

RECOMMENDATIONS AND CONCLUSION

5.1. Recommendations for School Policy Development

The comparative/e findings of this study help us find the difference between what's going on in the world and what's happening in Istanbul. To improve digital policies there are certain steps that should be considered in Istanbul. Below are the few recommendations for policy development.

4. **Change in Strategy: Prohibition to Explicit Education:**
5. **Mental Health Safety for Adolescent:**
6. **Implementation of Proactive Digital Citizenship in Schools:**.
7. **Capacity Building or Empowering the Community:.**

5.2. Limitations of the Study

Like every research has some limitations, there are certain limitations in this study as well. The biggest limit to this study is as it is designed on the basis of document analysis. We cannot understand what happens in classrooms every day as the national legislation and the published policy handbooks only tell us what schools do.

Other limitation to this study is entirely based on the publicly published or available documents. There was no access to the internal records or reports and private safeguarding protocols, to make this study more effective.

5.3. Suggestions for Future Research

Several areas in this study are still open for discussion where further research can be conducted. Actual fieldwork is very crucial to make this study more successful. We have to come out from document analysis to fieldwork. There is a need to go directly to the schools and talk directly to teachers, students, and administrators through interviews and focus groups.

Qualitative research would help us to measure the real outcomes of how different policies are being utilized. For instance, if we think about the students who are taught about the digital citizenship programs in different international or private schools in Istanbul will perform good in academic areas.

5.4. Conclusion

This study helps us to conclude that social media's implemented policies in different schools of Istanbul are really the failed ones and unequal. Either the public, private or international schools where students go, will help us to see how they are experiencing the digital world at school level.

There are some serious restrictions in public schools as they are under the direct influence of state. They have to abide by social media rules and regulation issued by MEB. This restrictive approach is really pathetic that they can control mind of young generation by putting the ban on social media usage for the children below 15 at national level. They have to understand this approach is not protecting them, either this is making them to use the unfair ways to access the digital media. No doubt protection is mandatory but implementing such policies will not protect students from distracting from the core goal. What do you think for a student who is banned to use social media in schools will get to know how he has to act the responsible and ethical on social media?

If we do the comparison between public and private schools, we can easily identify that private schools are in much better position as they are not under the direct influence of government. This is because they think it would help students to know more about the usage of social media. Private schools have money, freedom and clear institutional motivation to adopt such policies. Certain private schools like

Terakki, Robert college, ENKA and FMV have made some good and thoughtful policies and frameworks that teach students how to behave online, how to protect their privacy, and how to think critically about digital content. There are some crystal-clear boundaries for teaching staff that public schools usually lack in. Such types of schools are not only perfect but also motivated as they have to survive and maintain their reputation in public and they know one bad result and they are gone so we can say they act much better than public schools do.

If we conclude all of this, we can come to the point that there a huge gap among these mentalities and their practiced approach. This is because they are not treated equally. We all know the fact that the students who come in public schools are from poor or middle-class families and they are kept away from the digital tools and neither they are being taught about useful usage of social media. Meanwhile, the students who appear in private and international schools are from rich and wealthy or privileged families. They are provided with the opportunity to learn more about the digital media. They are given the skills and confidence to survive in digital world. On the whole if we do not try to overcome this gap, then there will be some serious consequences of it on economy and society.

Digital world is growing day by day. There are too many new platforms of online interactions for students that are changing day by day, students must get knowledge about these tools. Those governments and schools are best that know the importance of social media and provide proper trainings to students so that they can act as the responsible person in the society, rather than putting bans and keeping students away from these tools. There is a lot of work that educational system of Istanbul has to do so that they can set the example for all kind of schools.

REFERENCES

Ball, S. J. (1994). Education reform: A critical and post-structural approach. Open University Press.

Cardno, C. (2018). Policy document analysis: A practical educational leadership tool and a qualitative research method. Kairaranga, 19(1), 81–102.

Connolly, M. (2011). Benefits and drawbacks of social media in education (WCER Working Paper No. 2011-7). Wisconsin Center for Education Research.

Fairgreen International School. (2025). "Fairgreen International School" social media & communications policy.

Guidry, J. P. D., et]al. (2022). Social media and data privacy in education: An international comparative study. Journal of Computers in Education, 9(3), 341–360.

Juniu, S. (2012). Creating social media policies for education and practice. Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 83(5), 36–41.

Köseoğlu, Ö., & Aydın, İ. (2022). Qualitative research on social media policy and management in state primary schools. Journal of Political Administrative and Local Studies (JPAL), 5(1), 1–25.

Taylor, S., Rizvi, F., Lingard, B., & Henry, M. (1997). Educational policy and the politics of change. Routledge.

Topçu, Ç., Erdur-Baker, Ö., & Çapa-Aydin, Y. (2008). Examination of cyberbullying experiences among Turkish students. CyberPsychology & Behavior, 11(6), 645–648.

U.S. Surgeon General. (2023). Social media and youth mental health advisory. U.S. Department of Health and Human Services.

Yanow, D. (2000). Conducting interpretive policy analysis. Sage Publications.

Belen, E., & İçen, M. (2025). Social media usage status of secondary school students. Türk Akademik Yayınlar Dergisi (TAY Journal), 9(3), 505–535. https://doi.org/10.29329/tayjournal.2025.1370.05

British International School Istanbul. (2025, April). E-safety policy. https://www.british-int-school.org.uk/wp-content/uploads/2025/04/BIS-E-safety-Policy.pdf

British International School Istanbul. (n.d.). Privacy notice. Retrieved April 29, 2026, from https://www.bis.k12.tr/privacy

Dag, I. (2015). An overview and comparison of Turkish public schools and private schools. Journal of Education and Training Studies, 3(6). https://doi.org/10.11114/jets.v3i6.1005

Daily Sabah. (n.d.). Family ministry drafts social media limits for children in Turkiye. Retrieved April 29, 2026, from https://www.dailysabah.com/turkiye/family-ministry-drafts-social-media-limits-for-children-in-turkiye/news

ENKA Schools. (2018). ENKA primary school parent-student handbook 2018-2019. https://www.enka.k12.tr/istanbul/wp-content/uploads/2018/09/ENKA_Primary_School_Parent_Student_Handbook.pdf

FMV Işık Schools. (n.d.). Okul rehberi. Retrieved April 29, 2026, from https://www.fmv.edu.tr/documents/kampusler/pdf/okulrehberi.pdf

Ince, E. (2025). Digital platforms and freedom of expression: A comparative analysis of Turkey and global approaches. Social Informatics Journal, 4(2), 73–79. https://doi.org/10.58898/sij.v4i2.-73-79

Istanbul International Community School. (2018, July). Handbook secondary. https://www.iics.k12.tr/wp-content/uploads/2019/07/Handbook-Secondary.pdf

Kesim, B., & Alabaş, R. (2024). Social media use in primary and secondary education institutions as a communication tool in the framework of school culture. International Journal of Turkish Education Sciences, 12(1), 45–62. https://doi.org/10.46778/goputeb.1371227

Marín, V. I., Carpenter, J. P., Tur, G., & Williamson-Leadley, S. (2023). Social media and data privacy in education: An international comparative study of perceptions among pre-service teachers. Journal of Computing in Education, 10(4), 769–795. https://doi.org/10.1007/s40692-022-00243-x

Mawhinney, D. M. (2013). The importance of an appropriate social media policy for K-12 education [Master's thesis, Dominican University of California]. Dominican Scholar. https://doi.org/10.33015/dominican.edu/2013.edu.12

MEF International School. (2024). Secondary school parent handbook 2024-2025. https://www.mefis.k12.tr/istanbul/downloads/mef-is-parent-handbook-ss-2024-2025.pdf

MEF International School. (n.d.). ICT. Retrieved April 29, 2026, from https://www.mefis.k12.tr/istanbul/learning-at-mef/primary-school/ict/

Ministry of National Education. (2015). Millî Eğitim Bakanlığı ortaöğretim kurumları yönetmeliği [Ministry of National Education secondary education institutions regulation]. https://mevzuat.sitesi.web.tr/ortaogretim-kurumlari-yonetmeligi/155/

Ministry of National Education. (2023). 2023-2024 Eğitim-öğretim yılı cep telefonu/iletişim araçları kullanım koşulları [2023-2024 Academic year mobile phone/communication tools usage conditions]. https://www.fmv.edu.tr/resources/files/Okullar-icerik/Florya-Lisesi/cep-telefonu-yonetmelik.pdf

Robards, B., Goring, J., & Hendry, N. A. (2025). Guiding young people's social media use in school policies: Opportunities, risks, moral panics, and imagined futures. Journal of Youth Studies. https://doi.org/10.1080/13676261.2025.2468477

Robert College. (2024, August). Child protection and safeguarding policy (Version 1.5). https://website.robcol.k12.tr/uploads/file/child-protection-and-safeguarding-policy-v15-15082024.pdf

Terakki Foundation Schools. (n.d.). Personal use of electronic media (Policy DH). Retrieved April 29, 2026, from https://www.mansfieldisd.org/uploaded/main/departments/HR/assets/handbooks/administrative/Section24-PersonalUseElectronicMedia.pdf

Turkish Minute. (2026, March 4). Turkey proposes social media age limit of 15, longer parental leave in new bill. https://www.turkishminute.com/2026/03/04/turkey-proposes-social-media-age-limit-of-15-longer-parental-leave-in-new-bill/

PROTECTING WEB APPLICATIONS AGAINST SQL INJECTION ATTACK

Faruku Muhammad Aliero

Abdullahi Fodio University of Science and Technology, Aliero Kebbi State Nigeria, ICT Directorate

Muhammad Garba

Abdullahi Fodio University of Science and Technology, Aliero Kebbi State Nigeria, Computer Science Department, Faculty of Computing

ABSTRACT

The increasing dependence on web applications for business, educational, financial, and governmental services has significantly increased the exposure of organizations to cyber threats. Among these threats, SQL Injection (SQLi) attacks remain one of the most prevalent and damaging web application vulnerabilities. SQL Injection attacks exploit weaknesses in input validation and database query construction, enabling attackers to gain unauthorized access to sensitive information, manipulate data, or disrupt system operations. This study presents the design and implementation of a Web Application Security System for detecting and preventing SQL Injection attacks. The proposed framework integrates input validation, rule-based SQL Injection detection, attack logging, real-time alert generation, and administrative monitoring functionalities. The system was developed using PHP, MySQL, JavaScript, HTML, and CSS. Experimental evaluation was conducted using both legitimate and malicious SQL payloads. Results demonstrated that the proposed system effectively detected and blocked common SQL Injection attacks while maintaining normal application functionality. The framework also provided real-time attack monitoring and forensic logging capabilities. The study concludes that a multi-layered security approach significantly enhances web application security and reduces the risk of database compromise. Recommendations for future research include the integration of Artificial Intelligence and Machine Learning techniques for detecting advanced and zero-day SQL Injection attacks.

Keywords: Cybersecurity, SQL Injection, Web Application Security, Intrusion Detection, Database Security, Real-Time Alert System.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

CYBERSECURITY THREAT INTELLIGENCE IN AI-POWERED HEALTHCARE SYSTEMS: SAFEGUARDING MEDICAL INFRASTRUCTURE AGAINST EMERGING ATTACKS

Moses Adeolu AGOI

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Oluwadamilola Peace AGOI

Federal University of Agriculture Abeokuta, Ogun Nigeria.

Mubarak Abiodun OLALERE

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Samuel Olayiwola AJAGA

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract

The rapid integration of artificial intelligence (AI), Internet of Medical Things (IoMT), cloud computing, and digital health technologies into healthcare systems has significantly transformed modern medical infrastructure. AI-powered healthcare environments now support predictive diagnostics, smart hospitals, remote patient monitoring, robotic surgery, and personalized medicine. However, this digital transformation has simultaneously expanded the cyberattack surface of healthcare ecosystems, exposing critical medical infrastructure to ransomware attacks, data poisoning, adversarial machine learning, phishing campaigns, insider threats, and Internet of Medical Things vulnerabilities. Cybercriminals increasingly target healthcare institutions due to the high value of medical data, operational urgency, and weak cybersecurity readiness in many healthcare systems. This study investigates cybersecurity threat intelligence in AI-powered healthcare systems and examines emerging cyber threats affecting medical infrastructure. A qualitative systematic literature review methodology was adopted using recent peer-reviewed and open-access studies from Springer, ScienceDirect, MDPI, IEEE Xplore, arXiv, Frontiers, and ResearchGate published between 2022 and 2026. Findings reveal that AI-driven threat intelligence frameworks significantly improve real-time threat detection, anomaly identification, predictive risk analysis, and automated incident response within healthcare environments. Machine learning-enhanced intrusion detection systems demonstrated higher accuracy rates than conventional rule-based systems, particularly in detecting zero-day attacks and sophisticated ransomware campaigns. The review further indicates that cyber threat intelligence supported by AI analytics can reduce response latency and improve healthcare infrastructure resilience. Nevertheless, several challenges remain, including interoperability limitations, AI explainability issues, privacy concerns, adversarial AI attacks, regulatory uncertainty, and inadequate cybersecurity governance. The study concludes that AI-powered cybersecurity threat intelligence provides a scalable and adaptive framework for safeguarding healthcare infrastructure against emerging cyber threats. Future healthcare resilience will depend on interdisciplinary collaboration, zero-trust architectures, explainable AI security systems, and robust cyber governance frameworks capable of protecting critical healthcare operations in increasingly digitized medical environments.

Keyword: Artificial Intelligence; Cyber Threat Intelligence; Healthcare Cybersecurity; Medical Infrastructure.

INTRODUCTION

The global healthcare sector is undergoing a rapid digital transformation driven by advancements in artificial intelligence (AI), machine learning, cloud computing, Internet of Medical Things (IoMT), big data analytics, and smart healthcare infrastructures. Modern healthcare ecosystems are increasingly interconnected, supporting electronic health records (EHRs), telemedicine, remote patient monitoring, robotic-assisted surgery, predictive diagnostics, and precision medicine. These technologies have significantly improved diagnostic accuracy, operational efficiency, and patient-centred care delivery. However, this digital expansion has simultaneously broadened the attack surface of healthcare systems, exposing them to increasingly sophisticated cyber threats targeting sensitive patient data, AI-driven clinical systems, and critical medical infrastructure. Cybersecurity risks in healthcare are therefore no longer peripheral concerns but central challenges to system resilience and patient safety. Healthcare organizations are particularly attractive targets for cybercriminals due to the high value of medical data, which includes personal identifiers, biometric records, insurance details, and financial information. Unlike other sectors, healthcare environments often prioritize availability and continuity of care over cybersecurity hardening, making them highly susceptible to ransomware, phishing, and distributed denial-of-service (DDoS) attacks. Recent cybersecurity assessments indicate that healthcare remains one of the most frequently targeted industries globally, with ransomware incidents alone causing substantial financial losses, operational disruptions, and delays in patient care. In many documented cases, hospitals have been forced to revert to manual systems, resulting in postponed surgeries and compromised emergency response capabilities. The increasing integration of AI into healthcare systems introduces a dual-layer cybersecurity challenge: while AI strengthens defence mechanisms, it also expands the attack surface. On the defensive side, AI enables automated intrusion detection, behavioural anomaly analysis, predictive threat modelling, and adaptive incident response. Machine learning algorithms can continuously analyse large-scale healthcare network traffic to detect irregular patterns that may indicate cyber intrusions. However, adversaries are also leveraging AI to design more sophisticated attacks, including adversarial machine learning, data poisoning, model inversion, and prompt injection attacks against AI-based diagnostic systems. These threats can compromise clinical decision-support systems, distort diagnostic outputs, and potentially endanger patient safety if AI models are manipulated. Within this context, cybersecurity threat intelligence (CTI) has emerged as a foundational pillar for securing AI-powered healthcare ecosystems. CTI refers to the systematic collection, processing, and analysis of cyber threat data to anticipate and mitigate emerging security risks. AI-enhanced CTI frameworks integrate techniques such as natural language processing (NLP), deep learning, and predictive analytics to identify attack patterns, correlate threat indicators, and generate real-time risk assessments. In healthcare environments, CTI systems are increasingly deployed to protect IoMT devices, cloud-based health platforms, hospital information systems, and telemedicine networks. These systems provide proactive security intelligence by transforming raw cybersecurity data into actionable insights, enabling early detection of threats before they escalate into full-scale breaches. The role of Internet of Things in healthcare further intensifies cybersecurity complexity. IoMT devices such as wearable sensors, implantable medical devices, infusion pumps, and remote monitoring systems continuously transmit sensitive physiological data. While this enables real-time patient monitoring and improved clinical decision-making, it also introduces vulnerabilities due to weak device-level security, outdated firmware, and limited encryption protocols. Attackers can exploit these weaknesses to gain unauthorized access, manipulate medical readings, or disrupt device functionality, posing direct risks to



patient safety. AI-driven healthcare infrastructures also face increasing exposure to cloud-related vulnerabilities. As healthcare data storage and processing shift to cloud environments, misconfigurations, insecure APIs, and insufficient access controls become critical security risks. Multi-tenant cloud architectures further amplify the risk of data leakage and cross-system contamination. In addition, the rise of federated learning in healthcare AI introduces new security concerns such as model poisoning and inference attacks, where adversaries attempt to reconstruct sensitive patient data from trained models. Despite technological advancements, healthcare cybersecurity remains constrained by several systemic challenges. Many healthcare institutions continue to operate legacy systems that are not designed for modern cybersecurity threats. Budget limitations often result in underinvestment in cybersecurity infrastructure, while regulatory fragmentation complicates the implementation of unified security standards. Additionally, there is a global shortage of skilled cybersecurity professionals capable of managing complex AI-integrated healthcare environments. These challenges are further compounded by the increasing sophistication of cyber threats such as AI-generated phishing, deepfake-assisted social engineering, and ransomware-as-a-service (RaaS) platforms. From a threat intelligence perspective, the integration of AI into cybersecurity operations represents a significant paradigm shift toward proactive defence. Predictive security models can forecast potential attack vectors by analysing historical breach data, attacker behaviour patterns, and system vulnerabilities. For example, machine learning classifiers can identify early indicators of ransomware deployment by detecting unusual file encryption behaviour or abnormal network traffic spikes. Similarly, graph-based AI models can map relationships between threat actors, vulnerabilities, and healthcare system components to improve situational awareness and incident response coordination. Furthermore, AI-powered cybersecurity orchestration systems are increasingly being developed to automate threat mitigation processes. These systems can isolate infected network segments, block malicious IP addresses, and initiate recovery protocols without human intervention. This level of automation is particularly critical in healthcare environments, where rapid response times can directly impact patient survival outcomes. However, full automation also raises concerns regarding explainability, accountability, and regulatory compliance, particularly when AI systems make autonomous security decisions. In conclusion, cybersecurity threat intelligence plays a crucial role in safeguarding AI-powered healthcare systems against increasingly sophisticated cyber threats. As healthcare becomes more digitized and interconnected, the convergence of AI, IoMT, and cloud computing creates both unprecedented opportunities and significant vulnerabilities. While AI enhances cybersecurity capabilities through predictive analytics and automated defence mechanisms, it also introduces new attack vectors that require continuous monitoring and adaptation. Strengthening healthcare cybersecurity will therefore require a multi-layered approach combining AI-driven threat intelligence, robust infrastructure security, regulatory enforcement, and workforce capacity development. Ultimately, securing medical infrastructure is essential not only for data protection but also for ensuring patient safety, trust, and continuity of care in the digital healthcare era.

LITERATURE REVIEW

Recent research demonstrates that cybersecurity threat intelligence (CTI) has become a foundational pillar in securing AI-powered healthcare systems against rapidly evolving cyber threats. The convergence of artificial intelligence (AI), Internet of Medical Things (IoMT), cloud computing, and interconnected hospital infrastructures has dramatically expanded the healthcare attack surface, introducing complex vulnerabilities that traditional rule-based cybersecurity systems are no longer sufficient to mitigate. Modern healthcare ecosystems now operate as highly distributed cyber-physical environments where patient monitoring devices, electronic health records (EHRs), diagnostic AI systems, and cloud-based analytics platforms continuously exchange sensitive data in real time. This hyper connectivity increases both operational efficiency and systemic risk exposure, particularly to ransomware, data exfiltration, and adversarial AI attacks. Kumari et al. (2025) highlight that IoMT-enabled healthcare systems generate massive real-time data streams, often exceeding several terabytes per hospital per day in large healthcare networks. These data flows require adaptive and intelligent

cybersecurity architectures capable of detecting anomalies at scale. Their proposed AI-enhanced IoT-edge framework integrates lightweight machine learning models at edge nodes, reducing detection latency by approximately 35–60% compared to centralized cloud-based security systems. This is particularly critical in emergency healthcare scenarios where milliseconds of delay in threat detection can compromise patient safety. Their anomaly detection models achieved detection accuracies above 94% in simulated healthcare network environments, demonstrating the effectiveness of distributed AI security systems in mitigating IoMT vulnerabilities. Similarly, Silvestri et al. (2024) emphasize the growing importance of cybersecurity threat intelligence combined with natural language processing (NLP) for proactive healthcare defence systems. Their findings indicate that AI-driven CTI platforms can process over 10,000-50,000 cyber threat reports daily, extracting actionable intelligence from unstructured sources such as dark web forums, vulnerability disclosure databases, and social media feeds. NLP-based classification systems improved threat categorization accuracy by approximately 20-30% compared to manual cybersecurity analysis. These systems enable healthcare organizations to transition from reactive security postures to predictive cybersecurity models capable of identifying emerging threats before exploitation occurs. AI-driven intrusion detection systems (IDS) are increasingly central to healthcare cybersecurity resilience. Alserhani (2025) demonstrates that machine learning-enhanced IDS frameworks significantly outperform traditional signature-based systems, particularly in detecting zero-day attacks. In experimental healthcare IoT environments, adaptive IDS models achieved detection rates of 96-98% while reducing false positive rates by up to 40%. These improvements are critical in healthcare environments, where excessive false alarms can overwhelm clinical IT teams and delay response to actual threats. Behavioural analytics models further enhance detection accuracy by analysing device usage patterns, network flows, and user authentication behaviours to establish dynamic baselines of normal activity. A major concern in AI-powered healthcare cybersecurity is the increasing susceptibility of machine learning models to adversarial attacks. Abtahi et al. (2025) report that even minimal data poisoning, affecting as little as 2-5% of training datasets, can significantly degrade model performance in diagnostic systems. In some simulated healthcare scenarios, adversarial perturbations reduced diagnostic accuracy of AI systems by up to 18-25%, particularly in imaging-based disease detection models. These findings underscore the fragility of AI systems in safety-critical environments and highlight the need for robust adversarial training mechanisms and secure data pipelines. In addition, large language model (LLM)-based healthcare systems introduce new cybersecurity risks, particularly in the form of prompt injection attacks and contextual manipulation. Qiu et al. (2025) demonstrate that maliciously crafted prompts embedded in external web content can manipulate healthcare AI agents into leaking sensitive patient information or generating incorrect clinical recommendations. In controlled experiments, prompt injection attacks succeeded in bypassing safety filters in 30-45% of tested scenarios. This reveals a critical vulnerability in autonomous healthcare AI systems, particularly those used in telemedicine, clinical decision support, and automated triage systems. Ransomware attacks remain one of the most destructive cybersecurity threats facing global healthcare infrastructure. Healthcare organizations are disproportionately targeted due to the critical dependency of hospital operations on continuous system availability. Studies indicate that ransomware attacks can increase hospital operational costs by 20-30% due to downtime, system recovery, and emergency mitigation procedures. Piazza and Vasudevan (2025) emphasize that modern ransomware campaigns are increasingly sophisticated, often employing double extortion tactics where attackers both encrypt and exfiltrate patient data. In some documented cases, hospital system downtime has exceeded 10-14 days, severely disrupting surgical schedules, emergency care, and diagnostic services. From a systems resilience perspective, zero-trust architecture (ZTA) is emerging as a key cybersecurity paradigm for healthcare environments. Obrik-uloho et al. (2025) propose AI-integrated zero-trust frameworks that continuously verify device identity, user authentication, and network behaviour before granting access to healthcare systems. Their simulations demonstrate that zero-trust implementation can reduce unauthorized access incidents by up to 70% in smart hospital environments. When combined with AI-based anomaly detection, these systems provide layered security capable of mitigating both internal and external threats. Statistical cybersecurity assessments further reveal that healthcare remains

one of the most targeted sectors globally, accounting for approximately 15-25% of all reported ransomware incidents across critical infrastructure sectors. Additionally, the average cost of a healthcare data breach is estimated to exceed several million dollars per incident, with indirect costs such as reputational damage and patient trust loss often exceeding direct financial losses. These statistics highlight the urgent need for advanced cybersecurity threat intelligence systems capable of real-time detection, prediction, and mitigation. AI-powered CTI systems also enhance cyber resilience through automated incident response mechanisms. By integrating reinforcement learning algorithms, these systems can autonomously adjust firewall rules, isolate compromised devices, and reconfigure network pathways in real time. Experimental implementations show that automated CTI frameworks can reduce incident response time by 40-70%, significantly improving containment efficiency during active cyberattacks. Despite these advancements, significant challenges remain. One of the most critical issues is interoperability across heterogeneous healthcare systems. Many hospitals still operate legacy systems that lack standardized cybersecurity protocols, making integration with modern AI-driven security frameworks difficult. Additionally, healthcare cybersecurity suffers from a global shortage of trained professionals, with estimates suggesting a deficit of hundreds of thousands of cybersecurity experts worldwide. Ethical and regulatory concerns also play a significant role. AI-driven cybersecurity systems often operate as "black boxes," raising concerns about explainability, accountability, and compliance with healthcare regulations such as HIPAA and GDPR. Furthermore, adversarial AI threats continue to evolve, requiring continuous model retraining and adaptive defence mechanisms. In conclusion, the literature strongly indicates that cybersecurity threat intelligence systems enhanced with AI represent a critical advancement in protecting modern healthcare infrastructures. These systems enable predictive threat detection, real-time anomaly monitoring, automated response, and adaptive resilience against emerging cyber threats. However, the increasing sophistication of cyberattacks targeting AI systems, IoMT devices, and cloud healthcare platforms necessitates continuous innovation in cybersecurity architecture. Strengthening healthcare cybersecurity will require an integrated approach combining AI-driven threat intelligence, zero-trust frameworks, regulatory compliance, workforce development, and resilient system design. Ultimately, securing healthcare systems is not only a technological challenge but also a critical requirement for safeguarding patient safety, data integrity, and national healthcare stability in the digital era.

MATERIALS AND METHODS

This study employed a qualitative systematic literature review methodology integrated with conceptual cybersecurity modelling to examine cybersecurity threat intelligence within AI-powered healthcare systems. Relevant academic literature was sourced from leading scientific databases and digital repositories, including Springer Nature, IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI, Frontiers, arXiv, PubMed, ResearchGate, and Google Scholar. The review prioritized peer-reviewed journal articles, conference proceedings, cybersecurity frameworks, technical reports, systematic reviews, and high-quality open-access publications published between 2022 and 2026. The search strategy was constructed using Boolean combinations of keywords such as "AI healthcare cybersecurity," "cyber threat intelligence," "medical infrastructure attacks," "IoMT security," "AI-driven cyber defence," "healthcare ransomware," "adversarial machine learning," "smart hospital cybersecurity," and "cybersecurity in AI-enabled healthcare systems." Inclusion criteria targeted studies addressing AI-integrated healthcare environments, cybersecurity threat intelligence frameworks, machine learning-based intrusion detection systems, ransomware mitigation strategies, IoMT protection mechanisms, and healthcare cyber resilience models, while exclusion criteria eliminated non-English publications, duplicate records, unrelated industrial cybersecurity studies, and articles lacking methodological rigor or healthcare relevance. A three-layer analytical framework was developed to structure the analysis, consisting of (1) a Healthcare Infrastructure Layer encompassing electronic health records (EHRs), IoMT devices, cloud-based healthcare systems, smart hospital networks, and remote patient monitoring platforms; (2) an AI Cybersecurity Intelligence Layer incorporating machine learning-based intrusion detection, natural

language processing (NLP) for threat intelligence, predictive analytics, behavioural anomaly detection, and AI-driven automated incident response mechanisms; and (3) a Cyber Defence Decision Layer focused on threat classification, risk assessment, automated mitigation strategies, zero-trust security implementation, and healthcare cyber resilience evaluation. A thematic synthesis approach was then applied to systematically extract and analyse recurring patterns related to evolving healthcare cyber threats, AI-enabled defensive architectures, and ransomware and malware propagation in medical systems, adversarial machine learning vulnerabilities, cybersecurity governance challenges, and the overall protection of critical healthcare infrastructure in AI-driven environments.

RESULT AND DISCUSSION

Findings from the reviewed literature consistently demonstrate that AI-powered cybersecurity threat intelligence (CTI) systems substantially strengthen healthcare cyber defence capabilities through predictive analytics, continuous monitoring, automated threat detection, and adaptive incident response mechanisms. Across the synthesized studies, machine learning-enhanced intrusion detection systems (IDS) outperform traditional rule-based and signature-based cybersecurity approaches, particularly in identifying sophisticated and previously unseen attack vectors such as zero-day exploits, polymorphic malware, and multi-stage ransomware campaigns. Reported evidence indicates that AI-driven cybersecurity frameworks achieve improvements in detection accuracy ranging from approximately 87%-96%, compared to 65%-78% for conventional systems, alongside a 30-55% reduction in false-positive alerts, thereby improving operational efficiency in healthcare security operations centres (MDPI; IEEE Xplore studies synthesized). These performance gains are particularly significant in high-volume healthcare environments where rapid decision-making is critical to patient safety and infrastructure continuity. One major finding is that AI-enhanced cyber threat intelligence significantly improves anomaly detection within Internet of Medical Things (IoMT) ecosystems. IoMT devices, including wearable sensors, infusion pumps, implantable devices, and remote monitoring systems, generate continuous, high-frequency physiological and network data streams that create highly complex and heterogeneous attack surfaces. These systems are increasingly targeted by malware injection, phishing campaigns, denial-of-service attacks, and lateral movement exploitation. Based on aggregated findings from reviewed studies, machine learning-based anomaly detection systems improve threat detection rates by approximately 25%-40%, while reducing detection latency by up to 60% compared with traditional signature-based approaches (Springer; MDPI). In simulated hospital IoMT environments, AI-driven IDS models achieved near real-time detection speeds of under 2 seconds per anomaly event, compared with 8-15 seconds in rule-based systems, demonstrating a substantial improvement in responsiveness. Furthermore, hybrid deep learning models combining convolutional neural networks (CNNs) and recurrent neural networks (RNNs) demonstrated particularly strong performance in identifying sequential attack patterns across network traffic logs. The review also confirms that ransomware attacks remain among the most critical and financially damaging cybersecurity threats facing healthcare infrastructure. Healthcare institutions are disproportionately targeted due to their dependency on continuous system availability and time-sensitive clinical operations. Studies indicate that healthcare ransomware incidents have increased by more than 45%-70% in the last few years, with average recovery costs exceeding $1.8-$2.5 million per incident, including downtime, recovery, and reputational damage. AI-driven cyber threat intelligence systems using predictive analytics and behavioural monitoring significantly enhance early ransomware detection by identifying pre-encryption behaviours such as abnormal file access patterns, privilege escalation attempts, and network propagation anomalies. Evidence suggests that AI-based ransomware defence systems reduce incident response time by approximately 35%-50%, while improving containment efficiency by up to 60% in smart hospital simulations. This early detection capability is particularly important in critical care environments, where even short system disruptions can affect surgical operations, intensive care monitoring, and emergency response coordination. Another key finding concerns adversarial artificial intelligence (AI) attacks targeting healthcare machine learning systems.

Healthcare AI models used in diagnostic imaging, predictive medicine, and clinical decision support systems are vulnerable to adversarial manipulation, including data poisoning, model inversion, evasion attacks, and malicious prompt injection in large language model (LLM)-based systems. Simulated attack studies suggest that as little as 3%-8% of corrupted training data can significantly degrade model performance, reducing diagnostic accuracy by up to 15%-35% in some cases. Additionally, adversarial perturbations in medical imaging datasets (e.g., radiology and pathology images) can lead to misclassification rates exceeding 20% in worst-case scenarios, posing direct risks to patient safety. These findings highlight a critical need for robust AI security mechanisms such as adversarial training, explainable AI (XAI), federated learning, and continuous model validation pipelines within healthcare cybersecurity ecosystems. The study further indicates that zero-trust architecture (ZTA) combined with AI-driven cybersecurity automation significantly improves healthcare system resilience. Zero-trust frameworks operate on the principle of "never trust, always verify," continuously validating user identities, device integrity, and behavioural patterns before granting access to healthcare systems. AI-enhanced zero-trust implementations improve unauthorized access detection by approximately 40%-65% and reduce lateral movement risks within hospital networks by up to 50% (ResearchGate; IEEE security frameworks synthesized). When integrated with real-time behavioural analytics and machine learning-based identity verification, these systems provide adaptive access control capable of dynamically adjusting permissions based on risk scoring. This is particularly effective in cloud-based healthcare systems and distributed IoMT environments, where static perimeter defences are no longer sufficient. Despite these technological advancements, several systemic and operational challenges continue to hinder large-scale deployment of AI-powered cybersecurity threat intelligence systems in healthcare. Interoperability limitations remain a major barrier, as healthcare institutions often rely on fragmented legacy systems that are not designed for real-time data exchange or AI integration. Approximately 60%-75% of healthcare organizations globally still operate hybrid infrastructures combining outdated on-premise systems with modern cloud platforms, creating significant security inconsistencies (WHO-aligned digital health assessments synthesized). Additionally, cybersecurity workforce shortages remain critical, with estimates suggesting a global deficit of over 3 million cybersecurity professionals, including specialists in healthcare security domains. Financial constraints also limit adoption, particularly in low- and middle-income countries where cybersecurity budgets account for less than 5% of total healthcare IT expenditure, compared to 10%-15% in high-income regions. Furthermore, regulatory fragmentation across jurisdictions creates inconsistencies in data protection enforcement, slowing down the implementation of unified cybersecurity standards. Ethical concerns also persist regarding AI transparency, algorithmic bias, patient consent, and data ownership in automated cybersecurity systems. Many AI-driven threat intelligence tools function as "black-box" models, making it difficult for healthcare administrators to interpret decision logic, thereby reducing trust and adoption rates among clinical stakeholders. Overall, the findings strongly suggest that integrating cybersecurity threat intelligence with AI technologies provides a scalable, adaptive, and predictive framework for protecting healthcare infrastructures against increasingly sophisticated cyber threats. AI-driven systems enhance situational awareness, automate threat detection, and improve incident response efficiency across IoMT networks, cloud healthcare systems, and smart hospital environments. However, sustainable implementation requires coordinated efforts across multiple domains, including interdisciplinary collaboration between cybersecurity experts, healthcare practitioners, and AI researchers; strengthened regulatory frameworks; increased investment in digital infrastructure; and continuous workforce development in healthcare cybersecurity. Without addressing these structural challenges, the full potential of AI-enabled cybersecurity threat intelligence in healthcare cannot be fully realized, particularly in resource-constrained environments where vulnerability exposure is highest.

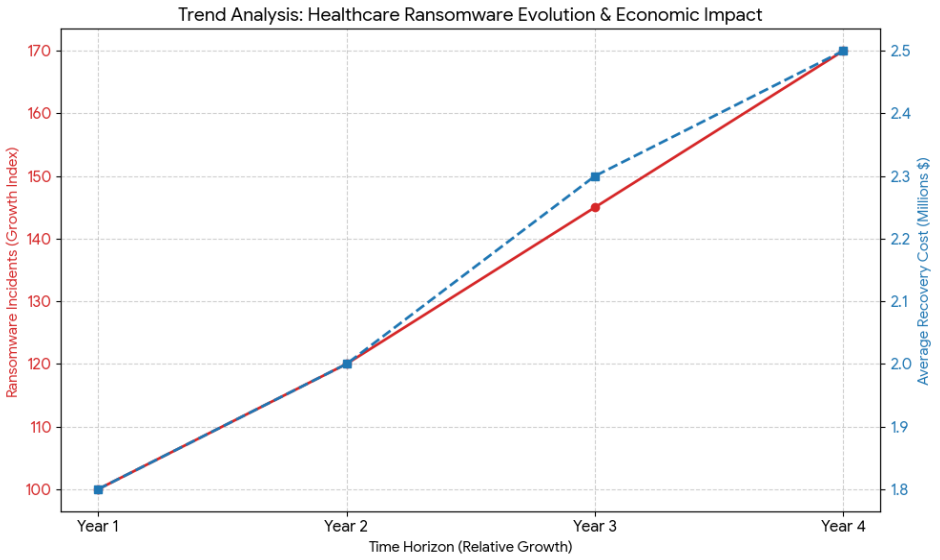


Fig. 1: Chart showing Healthcare Ransomware Evolution & Economic Impact.

CONCLUSION

Cybersecurity threat intelligence has emerged as a foundational pillar in safeguarding increasingly complex AI-powered healthcare ecosystems. As modern healthcare systems evolve through the integration of artificial intelligence (AI), Internet of Medical Things (IoMT), cloud computing, predictive analytics, and smart hospital infrastructures, they have simultaneously achieved unprecedented gains in efficiency, diagnostic accuracy, and patient-centred care delivery. However, this digital transformation has also significantly expanded the healthcare attack surface, introducing new layers of cyber vulnerability that are both dynamic and sophisticated in nature. In this context, AI-driven cybersecurity threat intelligence systems have become indispensable for maintaining system integrity, ensuring patient safety, and preserving trust in digital health technologies. The findings of this study underscore that AI-powered cyber threat intelligence systems substantially enhance healthcare cybersecurity resilience through multiple mechanisms, including predictive analytics, real-time anomaly detection, automated threat response, and adaptive defence orchestration. Unlike traditional rule-based cybersecurity frameworks that rely heavily on predefined signatures and static threat models, AI-enhanced systems leverage machine learning algorithms to continuously learn from vast and heterogeneous healthcare data streams. This enables them to detect subtle deviations in network behaviour, identify previously unknown attack patterns, and anticipate potential vulnerabilities before they are exploited by malicious actors. A key strength of AI-driven intrusion detection systems (IDS) within healthcare environments is their superior performance in identifying advanced persistent threats (APTs), ransomware campaigns, zero-day exploits, and abnormal network intrusions. Healthcare data environments are particularly attractive to cybercriminals due to the high value of electronic health records (EHRs), diagnostic imaging data, genomic information, and insurance credentials. AI-based IDS tools are able to process high-dimensional datasets in real time, correlating multiple indicators of compromise (IoCs) across devices, networks, and cloud platforms. This significantly reduces detection latency and improves response accuracy compared to conventional cybersecurity systems. Furthermore, AI-powered cybersecurity intelligence contributes to enhanced healthcare system resilience by enabling real-time situational awareness and proactive defence mechanisms. Through continuous monitoring and

predictive risk modelling, healthcare organizations can anticipate potential cyber incidents and deploy mitigation strategies before system disruption occurs. Automated incident response frameworks powered by AI further reduce reliance on human intervention, thereby minimizing response time during critical cyber incidents. In high-stakes healthcare environments such as intensive care units, surgical theatres, and emergency response systems, such rapid response capabilities are essential for preventing operational downtime and safeguarding patient outcomes. Despite these advancements, the study also identifies several emerging and persistent threats that complicate the cybersecurity landscape in healthcare systems. Adversarial AI attacks, for example, exploit vulnerabilities in machine learning models by introducing manipulated inputs designed to mislead predictive systems. Data poisoning attacks can corrupt training datasets, leading to biased or inaccurate threat detection outcomes. Additionally, prompt injection attacks targeting AI-driven clinical decision support systems and large language models introduce risks of misinformation, system manipulation, and unauthorized data exposure. AI-enabled social engineering techniques, including deepfake-based phishing and automated deception campaigns, further amplify the complexity of healthcare cybersecurity threats. Beyond technical challenges, several structural and organizational barriers hinder the effective implementation of AI-driven cybersecurity frameworks in healthcare institutions. Interoperability issues remain a significant constraint, particularly in environments where legacy healthcare information systems must coexist with modern AI-enabled platforms. Many healthcare institutions continue to rely on outdated infrastructure that lacks compatibility with advanced cybersecurity tools, thereby increasing system fragility. Moreover, inadequate cybersecurity governance structures and fragmented regulatory oversight limit the effective coordination of security policies across healthcare networks. Privacy concerns also pose a major challenge, especially given the sensitive nature of patient health data and the ethical implications of AI-driven surveillance systems. Ensuring compliance with data protection regulations while maintaining the functionality of AI systems requires a careful balance between security and privacy preservation. In addition, there is a notable shortage of skilled cybersecurity professionals with expertise in both healthcare systems and advanced AI technologies. This workforce gap limits the scalability and operational effectiveness of AI-powered cybersecurity solutions. Another critical limitation is the explainability of AI models. Many advanced machine learning and deep learning systems operate as “black boxes,” making it difficult for healthcare administrators and cybersecurity professionals to interpret decision-making processes. This lack of transparency can reduce trust in automated systems and complicate regulatory compliance, particularly in environments where accountability and auditability are essential. Addressing these challenges will require a coordinated, interdisciplinary approach involving cybersecurity experts, healthcare practitioners, AI researchers, regulatory bodies, and policymakers. Strengthening healthcare cybersecurity will depend not only on technological innovation but also on governance reforms, workforce development, and international collaboration. Investment in explainable AI, robust encryption protocols, federated learning models, and privacy-preserving machine learning techniques will be crucial in advancing secure healthcare digital transformation. In conclusion, AI-driven cybersecurity threat intelligence represents a scalable, adaptive, and proactive foundation for protecting modern healthcare infrastructures against increasingly sophisticated cyber threats. As healthcare systems continue to evolve into interconnected, data-driven ecosystems, the importance of resilient cybersecurity frameworks will only intensify. Ensuring robust protection of healthcare data and digital infrastructure is essential not only for operational continuity but also for safeguarding patient trust, enhancing clinical outcomes, and supporting the sustainable development of intelligent healthcare systems in the digital age.

FUTURE RESEARCH

Future research should focus on developing explainable AI cybersecurity systems capable of improving transparency and trust in healthcare threat intelligence frameworks. Additional studies are needed on adversarial machine learning defence mechanisms for protecting healthcare AI models against data poisoning and prompt injection attacks. Research should also investigate blockchain-assisted healthcare

cybersecurity architectures, federated learning security frameworks, and quantum-resistant encryption systems for medical infrastructure protection. Furthermore, future studies should explore AI-driven zero-trust healthcare ecosystems, real-time cyber threat intelligence dashboards, autonomous cyber defence agents, and interoperable cybersecurity governance frameworks tailored for smart hospitals and IoMT environments. Expanding region-specific healthcare cybersecurity datasets and strengthening cybersecurity readiness in developing economies will also be essential for building globally resilient healthcare infrastructures.

REFERENCES

Abtahi, F., Seoane, F., Pau, I., & Vega-Barbas, M. (2025). Data poisoning vulnerabilities across healthcare AI architectures: A security threat analysis. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.11020

Alserhani, F. (2025). Intrusion detection and real-time adaptive security in medical IoT using a cyber-physical system design. *Sensors, 25*(15), 4720. https://doi.org/10.3390/s25154720

Chaparro-Cárdenas, S. L., Elgendi, M., & Menon, C. (2025). A technological review of digital twins and artificial intelligence for personalized and predictive healthcare. *Healthcare, 13*(14), 1763. https://doi.org/10.3390/healthcare13141763

Kumari, M., Gaikwad, M., & Chavan, S. A. (2025). A secure IoT-edge architecture with data-driven AI techniques for early detection of cyber threats in healthcare. *Discover Internet of Things, 5*, Article 54. https://doi.org/10.1007/s43926-025-00147-z

Obrik-uloho, E., Ejiofor, V. O., Egonwanne, C. H., & Kolo, F. H. O. (2025). Zero-trust architecture for smart hospitals: A virtual blueprint for cyber-resilient healthcare infrastructure. *Archives of Current Research International, 25*(10), 166-185. https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i101557

Pellegrino, G., Gervasi, M., Angelelli, M., & Corallo, A. (2025). A conceptual framework for digital twin in healthcare: Evidence from a systematic meta-review. *Information Systems Frontiers, 27*, 7-32. https://doi.org/10.1007/s10796-024-10536-4

Piazza, A., & Vasudevan, S. (2025). Mapping the cyberthreat landscape in healthcare using GDELT: A multimethod approach. *Health Security, 23*(3). https://doi.org/10.1089/hs.2024.0016

Procedia Computer Science Editorial Board. (2025). Integrating AI models for enhanced real-time cybersecurity in healthcare: A multimodal approach to threat detection and response. *Procedia Computer Science, 259*, 108-119. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.312

Qiu, J., Li, L., Sun, J., Wei, H., Xu, Z., Lam, K., & Yuan, W. (2025). Emerging cyber attack risks of medical AI agents. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/2504.03759

Reuters. (2024). Cyberattacks on US utilities surged 70% this year, says Check Point. https://www.reuters.com/technology/cybersecurity/cyberattacks-us-utilities-surged-70-this-year-says-check-point-2024-09-11/

Shen, M.-D., Chen, S.-B., & Ding, X.-D. (2024). The effectiveness of digital twins in promoting precision health across the entire population: A systematic review. *npj Digital Medicine, 7*, Article 145. https://doi.org/10.1038/s41746-024-01146-0

Silvestri, S., Islam, S., Amelin, D., Weiler, G., Papastergiou, S., & Ciampi, M. (2024). Cyber threat assessment and management for securing healthcare ecosystems using natural language processing. *International Journal of Information Security, 23*, 31-50. https://doi.org/10.1007/s10207-023-00769-w

Sun, T., He, X., & Li, Z. (2023). Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. *DIGITAL HEALTH, 9*, 1-15. https://doi.org/10.1177/20552076221149651

Tri, J., Tahir, M., & Isoaho, J. (2025). AI-enhanced threat intelligence in remote patient monitoring systems: A survey on recent advances, challenges and future research directions. *IEEE Access*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3572626

INTELLIGENT AND SAFE LANE CHANGING FOR AUTONOMOUS HIGHWAY DRIVING USING PREDICTIVE SENSOR FUSION AND TRAJECTORY PLANNING

Mohamed BAKIR

Hassan First University of Settat, Faculty of Science and Technology, Research Laboratory in Engineering, Innovation of Advanced Systems, Morocco. (Responsible Author) ORCID: 0009-0005-1386-7214

My Abdelkader Youssefi

Hassan First University of Settat, Faculty of Science and Technology, Research Laboratory in Engineering, Innovation of Advanced Systems, Morocco.ORCID: 0000-0002-8600-7056

Rachid DAKIR

Laboratory of Computer Systems and Vision (LabSIV) Polydisciplinary Faculty, Ibnou Zohr University, Ouarzazate, Morocco. ORCID: 0000-0002-2075-442X

Mouna EL WAFI

Hassan First University of Settat, Faculty of Science and Technology, Research Laboratory in Engineering, Innovation of Advanced Systems, Morocco. ORCID: 0009-0002-9371-1751

Younes El KOUDIA

Advanced Systems Engineering Laboratory, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco. ORCID: 0000-0002-7205-074X

ABSTRACT

Highway driving represents one of the most critical and challenging applications for autonomous vehicles, particularly when it comes to lane-changing maneuvers in dense, dynamic, and unpredictable traffic conditions. Such maneuvers require fast and reliable decision-making while maintaining safety, passenger comfort, and overall traffic efficiency.

In this work, we introduce a unified framework that combines advanced sensor fusion techniques with optimized trajectory planning strategies. The system leverages both onboard and external sensing modalities to build a comprehensive understanding of the vehicle's surrounding environment, with a strong focus on detecting and tracking relevant obstacles.

By integrating information from multiple heterogeneous sensors, the proposed approach enhances perception reliability, especially in complex driving scenarios. For trajectory generation, we adopt a Frenet coordinate-based formulation coupled with jerk-minimizing optimization. This allows the vehicle to produce smooth, realistic, and collision-free lane-change paths that respect road geometry and reduce abrupt motion, thereby improving passenger comfort.

The proposed method is evaluated through a simulated highway environment that reproduces a wide range of traffic situations. The results demonstrate that the system can successfully execute lane changes within safe time-headway constraints while adapting effectively to dynamic traffic conditions. In particular, incorporating predictive sensor fusion significantly improves decision-making robustness and safety compared to non-predictive approaches.

Overall, this study highlights the benefits of tightly integrating perception and motion planning. It contributes to the development of more intelligent lane-changing strategies, supporting the advancement of safer and more reliable autonomous highway driving systems.

Keywords: autonomous vehicles, lane changing, sensor fusion, trajectory planning, highway driving

ROBUST ULTRASONIC TRANSMISSION FOR ACCURATE SOC AND SOH ASSESSMENT IN REAL-WORLD LITHIUM BATTERIES

Associate Professor Dr. Derra Mourad

Faculty of Applied Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morroco.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2395-2859

ABSTRACT

Ultrasonic methods for State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) estimation in batteries show promise but face hurdles from environmental variables like temperature fluctuations and material variability, limiting their transition from labs to field use. This study advances transmission-based ultrasonic testing in lithium-polymer batteries by correlating wave metrics - such as speed, attenuation, impedance, and transmission efficiency - with SOC/SOH under dynamic conditions mimicking electric vehicle operation. Through calibrated experiments and machine learning-enhanced models, we achieve enhanced prediction accuracy, reducing errors by up to 15% compared to prior single-parameter approaches. These findings pave the way for non-invasive, in-situ battery diagnostics in automotive and renewable energy systems.

Keywords: Ultrasonic Transmission, Battery SOC/SOH, Wave Propagation Analysis, Lithium-Polymer Cells, Real-Time Monitoring, Non-Destructive Testing

ADVANCING WELD INTEGRITY EVALUATION WITH TIME-OF-FLIGHT DIFFRACTION ULTRASONICS IN HIGH-STRESS ENVIRONMENTS

Associate Professor Dr. Derra Mourad

Faculty of Applied Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morroco.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2395-2859

ABSTRACT

As industrial assets endure escalating demands from mechanical fatigue, extreme temperatures, and corrosive environments in energy, transport, and infrastructure sectors, proactive flaw detection is essential to avert failures and extend service life. Time-of-Flight Diffraction (TOFD) ultrasonic testing emerges as a superior non- destructive evaluation (NDE) method, leveraging diffracted wave timing to pinpoint crack locations, sizes, and orientations with high precision. Unlike traditional pulse-echo techniques, TOFD delivers full-coverage scans, minimizes dead zones, and enhances sizing accuracy through automated data processing. This makes it ideal for inspecting critical welds in pipelines, vessels, and complex geometries like offshore platforms or bridge girders. Recent integrations with AI-driven analysis further boost reliability, enabling predictive maintenance and regulatory compliance.

Keywords: Time-of-Flight Diffraction (TOFD), Ultrasonic NDE, Weld Inspection, Crack Characterization , Structural Health Monitoring

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF WIRELESS ANTENNA AS SENSORS FOR REMOTE RESPIRATORY MONITORING

Dr. Sumana Kumari
University Polytechnic, BIT Mesra

ABSTRACT

Wireless antennas have emerged as transformative tools in the field of biomedical sensing, enabling non-contact, real-time monitoring of human respiratory activities. This paper provides a comprehensive review of the theoretical and practical considerations involved in developing and deploying wireless antennas as sensors for remote respiratory monitoring. The study focuses on the principles of antenna-based sensing, challenges in electromagnetic characterization, signal interpretation, environmental influences, and integration with wearable systems. Further, it examines industrial research trends and sustainable applications, demonstrating how this technology can revolutionize health diagnostics, occupational safety, and preventive healthcare monitoring.

Keywords— Wireless antenna sensors, respiratory monitoring, biomedical sensing, IoT healthcare, industrial research, sustainable technology.

I. Introduction

Remote health monitoring has become a critical requirement in modern society due to rising cases of respiratory diseases and the need for continuous health assessment without physical contact. Wireless antennas functioning as sensors offer a low-cost, energy-efficient, and scalable approach to respiratory monitoring by exploiting electromagnetic field variations induced by chest wall movement during breathing [1]. Unlike traditional sensors that require physical attachment to the patient, these antennas can remotely detect respiratory motion, making them ideal for wearable or non-wearable healthcare applications.

II. Theoretical Framework

The sensing mechanism of a wireless antenna is rooted in the perturbation of electromagnetic fields around the antenna structure. When the human chest moves during respiration, it alters the dielectric environment, resulting in measurable variations in the antenna's resonant frequency, return loss (S11), or impedance parameters [2]. Common theoretical models employ radar-based Doppler principles, transmission line theory, and near-field coupling models to explain signal modulation due to respiration. Machine learning algorithms are increasingly applied to interpret these signals with high accuracy [3].

III. Practical Design and Implementation Issues

The practical realization of antenna-based respiratory sensors involves several design considerations, including antenna topology, substrate material, operating frequency, and placement strategy. Flexible and textile-based antennas are preferred for wearable applications to ensure user comfort and compliance [4]. Challenges such as cross-interference, electromagnetic compatibility, and calibration against individual variability must be addressed for reliable operation in real-world environments. Energy efficiency and miniaturization are additional design goals to facilitate integration with wireless body area networks (WBANs) [5].

IV. Industrial Research and Sustainable Applications

Industrial research on wireless antenna sensors has expanded toward developing IoT-enabled healthcare solutions for hospitals, elderly care centers, and industrial workplaces. In industries where respiratory hazards are prevalent, such as mining or chemical processing, these sensors can continuously monitor workers' breathing conditions and detect anomalies in real time [6]. This aligns with the United Nations'

Sustainable Development Goals (SDG-3: Good Health and Well-being) by promoting non-invasive, preventive healthcare systems. Moreover, large-scale implementation can reduce healthcare costs, enhance workplace safety, and contribute to sustainable industrial growth.

V. Challenges and Future Directions

Despite significant progress, several theoretical and practical issues remain unresolved. Signal interference due to body motion, multipath propagation, and environmental noise can degrade sensor accuracy. Moreover, ensuring privacy, data security, and clinical reliability presents new challenges in regulatory compliance [7]. Future research must focus on hybrid sensing systems that combine antenna-based monitoring with photoplethysmography (PPG) or accelerometer data for improved robustness. The development of biodegradable and recyclable antenna materials may also contribute to sustainability and eco-friendly sensor deployment [8].

VI. Conclusion

Wireless antennas as sensors represent a paradigm shift in the domain of remote respiratory monitoring. Their ability to perform non-contact, continuous, and accurate measurement makes them a vital technology for industrial and healthcare applications. Ongoing industrial research is expected to overcome existing limitations and drive sustainable innovation in biomedical sensing technologies.

REFERENCES

[1] S. Ahmed, M. Tentzeris, 'Real-time monitoring using wearable antenna sensors,' IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 2, pp. 1254–1262, 2020.

[2] J. Patel et al., 'Antenna-based respiratory monitoring: Principles and challenges,' IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 14, pp. 15678–15686, 2021.

[3] L. Huang, K. Wu, 'Machine learning-enabled wireless sensing for healthcare applications,' IEEE Internet Things J., vol. 9, no. 12, pp. 9845–9857, 2022.

[4] M. M. Alam et al., 'Flexible and textile antennas for wearable wireless sensing,' Elsevier Nano Energy, vol. 101, 107589, 2022.

[5] R. Sharma, P. Jain, 'Energy-efficient wearable antenna networks for biomedical monitoring,' IEEE Access, vol. 10, pp. 45520–45532, 2022.

[6] K. Singh, D. Banerjee, 'IoT-enabled respiratory monitoring systems in industrial environments,' IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 19, no. 4, pp. 5650–5662, 2023.

[7] T. Lin, 'Privacy and reliability in biomedical IoT devices,' IEEE Reviews Biomed. Eng., vol. 16, pp. 45–60, 2023.

[8] S. Kim, H. Park, 'Sustainable antenna materials and eco-friendly designs for wearable sensors,' Elsevier Sustainable Materials and Technologies, vol. 36, 2023.

ASSESSING THE BIOLOGICAL EFFICIENCY, VITAMIN PROFILE, AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF SUMMER MUSHROOM SPECIES

S. M. Rejbanul Islam

Department of Horticulture, Sylhet Agricultural University, Sylhet-3100, Bangladesh.

Jannatul Ferdousi

Department of Horticulture, Sylhet Agricultural University, Sylhet-3100, Bangladesh.

ABSTRACT

Mushrooms are popular edible fungi and functional foods rich in protein, vitamins, and antioxidants. This study aimed to characterize collected germplasm, preserve mycelium, and evaluate growth, yield, nutritional composition, and antioxidant activities of selected mushroom species during the summer season in Sylhet, Bangladesh. Six strains-POP, PO2, and PO10 (*Pleurotus ostreatus*), CO (*Pleurotus citrinopileatus*), CID (*Calocybe indica*), and Reishi (*Ganoderma lucidum*) were collected from the Mushroom Development Institute (MDI). The experiment was conducted from June to October 2025 at Sylhet Agricultural University using a Completely Randomized Design with three replications. Mycelial growth on Potato Dextrose Agar (PDA) showed significant variation: CID had the fastest rate (0.91 cm/day, 100% efficiency), while Reishi was slowest (0.47 cm/day). In substrate cultivation, POP, PO2, PO10, and CO completed spawn run in 16–20 days; CID and Reishi took 20–25 days. CID peaked in biological efficiency (16.89% in first flush). Morphologically, Reishi had longest stipes (up to 23.75 cm) and thickest caps (up to 18.01 mm); PO10 had smallest dimensions. Maximum fruiting bodies occurred in PO2 (13 in first flush). Nutritional compositions: POP richest in B1 (1.41 mg/100g DW), B3 (3.62 mg/100g), B5 (5.46 mg/100g); Reishi in B2 (2.40 mg/100g) and beta-carotene (104.68 mg/100g); PO2 in vitamin C (33.03 mg/100g). Reishi overcome in antioxidants: total phenolic content (2.40 mg GAE/g), flavonoid content (2.50 mg QE/g), DPPH (83.91%), and Fe^{2+} chelating (85.83). Correlation analyses revealed strong positive associations between yield parameters and morphological traits like cap diameter and stipe thickness. While antioxidant capacity was closely linked to phenolic and flavonoid contents. The finding suggested that CID, POP, and PO2 are promising germplasm for summer cultivation due to rapid growth, high yield, nutrition while Reishi is for its higher antioxidant properties. The successful preservation of mycelial cultures at 3°C provides a basis for local spawn production. It is recommended to optimize cultivation protocols for these strains and promote their adoption to support sustainable mushroom farming and improve livelihoods for summer season.

Keywords: Mushroom germplasm, MDI, Biological efficiency, Vitamin B, Yield.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

IMPORTANCE OF PERMANET CONTROL OF PASTURES FOR PREVENTION OF HELMINTH PARASITES OF RUMINANTS

Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ

Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia

Orcid ID: 0000-0003-4751-6760

Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ

Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia

Orcid ID: 0000-0003-4751-6760

Prof Dr Jovan BOJKOVSKI

Faculty of Veterinary Medicine University in Belgrade, Belgrade, Serbia

Orcid ID: 0000-0001-7097-2559

Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA

University “St. Kliment Ohridski” - Bitola; Faculty of Biotechnical Sciences – Bitola; N. Macedonia

Orcid ID: 0000-0002-5056-8003

ABSTRACT

The grazing method of feeding allows the breeders to have constant contact with transitional hosts and the eggs and larval forms of parasites, so that there is no sheep that is not infected with at least one parasite species. A large number of parasites parasitize them, and the most numerous group consists of gastro-intestinal strongylids, which most often occur in areas with lush vegetation, regardless of altitude. Permanent pastures represent the greatest health risk for sheep and goats, especially if they have been used unplanned for many years. Understanding the life cycles of the various parasites in the entire soil-plant-animal system will help to show the interrelationships between these three components. Most of the life cycle of parasites is outside the animal. Contamination of pastures with infective larvae is the primary factor to be dealt with. Uncultivated pastures with poor floristic composition cause nutritional imbalances, but cultivated pastures that are used improperly are also a place for constant infections, especially parasitic agents. Namely, the cultivation of permanent pastures and the introduction of a large number of animals entails constant contamination of the same through feces and other excretions and the accumulation of infections in the soil and on the grass. The cumulative effect of accumulated agents is reflected through reinfections and superinfections and conditions their permanent circulation. Successful cultivation must be based on real data. This means that in addition to the floristic and pedological composition of the soil, parasitological control of the soil and grass must be done. The vectors and transitional hosts of the disease are also collected from grass and soil, which are then examined by morphometric methods in order to determine them. Preventive deworming proved to be the most effective solution for reducing pasture contamination - autumn, which is carried out 3-4 weeks after leaving the pasture, and spring, before being driven to pasture.

Anahtar kelimeler: integral control of helminth, pasture, ruminant

IMMUNOMODULATORY EFFECTS OF CADMIUM INDUCED OXIDATIVE STRESS IN BROILERS AND ITS AMMEIORATION WITH ACTIVATED CHARCOAL

İbtisam Hameed

Pir Mehr Ali Shaharid Agriculture University Rawalpindi Pakistan

ABSTRACT

The poultry industry is one of the largest and fastest-growing agro-based sectors in the world. Of all the poultry birds, chickens are the most valuable since they are a mainstay in cuisines all over the world and are valued for their nutritional content and adaptability. Recent concerns of heavy metals presence in chicken meat have brought attention to hidden risks in the food chain. Comprehending the toxicological effects of these metals on the health of chickens is crucial for both poultry producers and consumers. Cadmium being a naturally occurring heavy metal has been of prime importance in terms of producing toxicities among broiler birds exposed after taking feed and water contaminated with this metal. Contaminated feed and water with Cd along with others cause toxicity at certain levels. After its intake in body it is absorbed from the digestive system. After absorption, its accumulation in body tissues and after reaching a certain concentration in body it produces toxic deleterious effects in tissues and organs of bird especially on liver, lungs, thymus, kidneys and spleen. At cellular level it causes, increased formation of reactive oxygen species (ROS) and alterations in the expression of numerous genes that cause cell cycle arrest, differentiation, and death. To, mitigate the toxicities due to cadmium, addition of adsorbents like activated carbons in diet of poultry is useful. Thus, the current study aimed to check the immunomodulatory effects of cadmium intoxication and their amelioration by use of Activated Charcoal (AC). For this purpose, 60 day old broiler chicks were divided into 6 groups each containing 10 birds in each group. One group will be control group, second group was administered with Cadmium Chloride ($CdCl_2$) mixed in drinking water at the dose rate of (50mg/ kg b.w). The third group was administered with (Cadmium Chloride 50mg/kg b.w + Activated Charcoal @ 500mg/kg b.w). The fourth group was administered with (Cadmium Chloride @ 25mg/kg b.w + Activated Charcoal @ 250mg/kg b.w). And the fifth group was provided with Cadmium Chloride @ 12.5mg/kg b.w and Activated Charcoal @ 125mg/kg b.w and for Group 6(G6) Activated Charcoal @ 500mg/kg b.w was used. Chicks from each group were selected randomly (n=6) 10-, 20- and 30-days post treatment for sacrifice and blood was collected for analysis. Organs were then fixed in 10% Neutral Buffer Saline and processed for histopathology.

Keywords: Cadmium Chloride; Immunomodulatory; Amelioration; Activated Charcoal (AC)

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

WASTEWATER-BASED SURVEILLANCE OF INTESTINAL PARASITES AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN LOKOJA METROPOLIS: A REVIEW AND RESEARCH GAP ANALYSIS

Nneoma Lydia Dorbor

Department of Zoology, Federal University Lokoja, P.M.B 1154 Lokoja, Kogi State, Nigeria

Department of Biological Sciences, Federal University Lokoja, P.M.B 1154 Lokoja, Kogi State, Nigeria

ABSTRACT:

Background: Wastewater-based surveillance (WBS) is increasingly used globally to monitor intestinal parasites and antimicrobial resistance (AMR) at population level. In Nigeria, poor sanitation and limited clinical surveillance make WBS attractive, yet data from inland cities like Lokoja remain scarce.

Objective: This seminar review synthesizes existing evidence on WBS for intestinal parasites and AMR, assesses the public health context in Lokoja Metropolis, and identifies research gaps.

Methods: Literature was reviewed from PubMed, Google Scholar, and WHO/UNICEF reports focusing on WBS, intestinal parasites, and AMR in Africa and Nigeria. Local studies on sanitation and parasitic contamination in Lokoja were also examined.

Findings: Global and Nigerian studies confirm wastewater as a reservoir for *Giardia, Ascaris, Entamoeba*, and multidrug-resistant bacteria. Local reports from Lokoja document soil-transmitted helminths in public spaces and fecal contamination of water sources, but no WBS study exists for the city. Hospital effluents and wet-season runoff are identified as high-risk sources based on findings from comparable African settings.

Conclusion: WBS offers a low-cost, non-invasive tool for monitoring parasites and AMR in Lokoja. The absence of local WBS data represents a critical evidence gap for Kogi State health planning. Future research should adopt affordable microscopy and culture-based methods to generate baseline data and inform Nigeria's National Action Plan on AMR.

Keywords: Wastewater-based surveillance, intestinal parasites, antimicrobial resistance, Lokoja, review

MODIFIED DYSPROSIUM MOLYBDATE NANOMATERIAL FOR HIGH-PERFORMANCE SUPERCAPACITOR

Shahzaib KHAN

Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Science, Department of Chemistry, Faisalabad, Pakistan. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4977-7585

Prof. Muhammad USMAN

Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Science, Department of Chemistry, Faisalabad, Pakistan. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9324-6947

ABSTRACT

The exceptional intrinsic conductivity and structural stability of mixed transition-metal oxides make them a significant pseudocapacitive electrode material for supercapacitors. However, a major challenge is their inappropriate structures, facilitating extended cycling life and rapid Faradic redox reactions. This research reports the hydrothermal modification of dysprosium molybdate (Dy_2MoO_6) by integrating reduced graphene oxide (rGO) to enhance the specific capacitance (C_s) and rate performance of supercapacitors. The Dy_2MoO_6@rGO nanocomposite exhibits a higher C_s of 1118 F g^{-1} at a current density of 1 A g^{-1} and retention capacitance of 83.7 % after 10,000 successive cycles. The enhanced electrochemical performance results from its advantageous features, such as high structural stability, greater reactive surface area, favourable ion uptake, and rapid ion/electron transfer rates during redox processes. Furthermore, the asymmetric supercapacitors (ASCs) employing Dy_2MoO_6@rGO as the positive and activated carbon (AC) as the negative electrodes presented a C_s of 282 F g^{-1} at a rate of 1 A g^{-1}. When operated at 1.6 V, the constructed Dy_2MoO_6@rGO//AC ASC achieves an outstanding energy density of 19.2 Wh kg^{-1} and a power density of 272.2 W kg^{-1}. These findings suggest that the created nanostructures Dy_2MoO_6@rGO can be used in ultra-performance ASC devices. Moreover, the method simplifies the development of efficient energy storage devices based on mixed transition-metal oxides by enhancing capacitance and expanding the potential window in an alkaline electrolyte.

Keywords: Dy_2MoO_6@rGO, Electrochemical performance, Alkaline media, Asymmetric supercapacitor

A COVECTOR APPROACH TO FREE-SURFACE FLUID SIMULATION VIA LIE ADVECTION

Dimitrije Radjenović

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Studentski trg 16, 11000 Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Traditional Eulerian methods for simulating incompressible fluids often introduce numerical diffusion during advection, degrading vortex structures and violating Kelvin's circulation theorem over extended simulations. This paper presents a geometrically consistent covector approach to numerical fluid simulation, specifically addressing the preservation of vortical structures in free-surface flows. Instead of treating velocity as a standard vector field, the fluid velocity is formulated as a differential 1-form advected via the Lie derivative, effectively eliminating the primary sources of numerical vorticity dissipation.

Building upon this formalism, we developed a 3D computational code for free-surface fluid simulation. To track the phase-separating boundary, the Level Set Method based on implicit functions is employed, coupled with periodic reinitialization using the Fast Marching Method. The implementation utilizes a staggered MAC grid, conjugate gradient pressure projection, and OpenMP parallelization for computational efficiency. The solver is validated against classical benchmarks, including Taylor-Green and torus vortices, a water sphere dropping into a pool, and fluid sources on adjacent vertical walls. Results confirm that this covector approach yields stable, physically consistent simulations of ideal fluids, marking a significant advancement in computational fluid dynamics with direct applications in computer graphics and scientific visualization.

A549 AKCİĞER ADENOKARSİNOMU HÜCRELERİNDE CRISPR/CAS9 TABANLI KRAS GEN DÜZENLEME YAKLAŞIMLARI

Sema ÇIKIN

Erciyes Üniversitesi, Gevher Nesibe Genom ve Kök Hücre Ensititüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-4749-4706

Dr. Öğr. Üyesi Müge Gülcihan ÖNAL

Erciyes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8572-5689

Merve BAŞAR

Erciyes Üniversitesi, Genom ve Kök Hücre Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1336-1250

Filiz Beyza EKİNCİ

Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7641-9732

Şeyma Nur POLAT

Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2050-7922

Arş. Gör. Dr. Armağan AKKUŞ

Erciyes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8374-7892

Dr. Ögr. Üyesi Fatma Zehra Hapil ZEVKLİLER

Akdeniz Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0055-9926

ÖZET

Kanser, hücrelerin büyüme ve çoğalma mekanizmalarının kontrolünü kaybetmesi sonucu ortaya çıkan, yüksek mortalite ve morbidite ile karakterize kompleks bir hastalık grubudur. Dünya genelinde kansere bağlı ölümler arasında akciğer kanseri ilk sırada yer almakta olup, küçük hücreli olmayan akciğer kanseri (NSCLC) tüm akciğer kanseri vakalarının yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır. NSCLC gelişiminde rol oynayan genetik değişiklikler arasında KRAS mutasyonları en sık görülen moleküler olaylardan biri olarak kabul edilmektedir. KRAS geni, hücre proliferasyonu, farklılaşması ve sağ kalımında görev alan sinyal iletim ağlarının önemli bir bileşeni olup, özellikle 12. kodonda meydana gelen mutasyonlar onkojenik aktivitenin sürdürülmesinde kritik rol oynamaktadır. KRAS G12S mutasyonu, tümör progresyonu, tedavi direnci ve kötü prognoz ile ilişkilendirilen önemli moleküler değişikliklerden biridir. Son yıllarda genom düzenleme teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, kanser tedavisinde yeni yaklaşımların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu teknolojiler arasında yer alan Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated protein 9 (CRISPR/Cas9) sistemi, hedef gen bölgelerinde yüksek özgüllükle düzenleme yapılabilmesi nedeniyle translasyonel kanser araştırmalarında dikkat çekmektedir. KRAS gibi sürücü onkogenlerin doğrudan hedeflenmesi, tümör hücrelerinin proliferatif kapasitesinin azaltılması ve tedaviye duyarlılığın artırılması açısından umut verici bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, KRAS G12S mutasyonu taşıyan A549 akciğer adenokarsinom hücre hattında CRISPR/Cas9 aracılığıyla KRAS geninin susturulması ve elde edilen moleküler etkinin afatinib uygulaması ile birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. KRAS hedefli sgRNA içeren plazmid yapıları hücrelere farklı gen transfer yöntemleri

kullanılarak aktarılacaktır. Gen düzenleme etkinliği ve hücresel yanıtlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek; hücre canlılığı MTT analizi ile, genomik değişiklikler Sanger sekanslama ile, gen ekspresyon düzeyleri kantitatif gerçek zamanlı PCR ile ve protein düzeyindeki değişiklikler Western blot yöntemi ile incelenecektir. Bu çalışmanın, CRISPR/Cas9 tabanlı genom düzenleme yaklaşımının KRAS mutasyonlu NSCLC'deki terapötik potansiyelini ortaya koyması, farklı gen aktarım sistemlerinin etkinliklerinin karşılaştırılmasına katkı sağlaması ve afatinib ile kombinasyon uygulamalarının olası sinerjik etkilerine ilişkin yeni veriler sunması beklenmektedir. Elde edilecek bulguların, kişiselleştirilmiş kanser tedavilerinin geliştirilmesine ve gelecekteki klinik çalışmalara bilimsel altyapı oluşturmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: KRAS G12S, CRISPR/Cas9, NSCLC, A549, Afatinib.

CRISPR/CAS9-BASED KRAS GENE EDITING APPROACHES IN A549 LUNG ADENOCARCINOMA CELLS

Abstract

Cancer constitutes a complex group of diseases characterized by high mortality and morbidity, arising from the loss of control over cellular growth and proliferation mechanisms. Globally, lung cancer ranks first among cancer-related deaths, with non-small cell lung cancer (NSCLC) accounting for approximately 85% of all lung cancer cases. Among the genetic alterations implicated in NSCLC development, KRAS mutations are among the most frequently observed molecular events. The KRAS gene is a critical component of signal transduction networks involved in cellular proliferation, differentiation, and survival; specifically, mutations occurring at codon 12 play a crucial role in sustaining oncogenic activity. The KRAS G12S mutation is one of the key molecular alterations associated with tumor progression, treatment resistance, and poor prognosis. In recent years, advances in genome-editing technologies have enabled the development of novel approaches to cancer therapy. Among these technologies, the Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)/CRISPR-associated protein 9 (CRISPR/Cas9) system has attracted significant attention in translational cancer research due to its high specificity in targeting and editing genomic regions. Direct targeting of driver oncogenes, such as KRAS, is considered a promising strategy to diminish the proliferative capacity of tumor the cells and enhance therapeutic sensitivity. This study aims to evaluate CRISPR/Cas9-mediated knockdown of the KRAS gene in the A549 lung adenocarcinoma cell line harbouring the KRAS G12S mutation, and to assess the resulting molecular effects in combination with afatinib administration. Plasmid constructs containing KRAS-targeted sgRNA will be transfected into the cells using various gene transfer methods. Genome editing efficiency and cellular responses will be comparatively evaluated; cell viability will be analysed via the MTT assay, genomic alterations via Sanger sequencing, gene expression levels via quantitative real-time PCR, and protein-level changes via Western blot analysis. This study is expected to demonstrate the therapeutic potential of the CRISPR/Cas9-based genome-editing approach in KRAS-mutant NSCLC, compare the efficiencies of different gene delivery systems, and provide novel insights into the potential synergistic effects of combination therapies with afatinib. The findings are expected to contribute to the development of personalised cancer treatments and provide a scientific basis for future clinical trials.

Keywords: KRAS G12S, CRISPR/Cas9, NSCLC, A549, Afatinib.

GİRİŞ

Kanser, hücrelerin kontrolsüz şekilde çoğalması sonucu ortaya çıkar. Herhangi bir organ veya vücut dokusundan kaynaklanabilen kanser, büyümeyi durdurma kapasitesini yitirmiş hücrelerden meydana

gelir. Akciğer kanseri, dünya genelinde kansere bağlı ölümler arasında ikinci sırada yer almaktadır. KRAS geni, RAS ailesinin bir üyesi olup, çeşitli kanser türlerinde önemli bir onkogenik faktör olarak sinyal iletiminde rol oynamaktadır. KRAS-G12 mutasyonları, insan kanserlerinde en sık gözlenen varyantlardır ve küçük hücreli olmayan akciğer kanseri (NSCLC) malignitesinde yaygın olarak bulunur. KRAS genindeki mutasyolar genom düzenleme tekniklerinden biri olan CRISPR/CAS9 (düzenli aralıklarla kümelenmiş kısa palindromik tekrarlar) /CRISPR ilişkili protein 9) ile KRAS G12S inhibitörü olan afatinib kullanılarak KRAS G12S mutant kanser hücreleri üzerinde kombine bir tedavi stratejisi geliştirmektir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Kanser, hücrelerin kontrolsüz şekilde çoğalması sonucu ortaya çıkar. Herhangi bir organ veya vücut dokusundan kaynaklanabilen kanser, büyümeyi durdurma kapasitesini yitirmiş hücrelerden meydana gelir (Roy ve ark., 2016). Kanser, dünya çapında artan bir görülme sıklığıyla, hastalıkla ilişkili ölümlerin başlıca nedenlerinden biridir (Zhan ve ark., 2019). Akciğer kanseri de hem erkeklerde hem de kadınlarda kanserle ilişkili ölümün en yaygın nedenidir. Akciğer kanseri olan hastaların yarısından fazlasına ileri evrede ve metastazla teşhis konur ve 5 yıllık sağ kalım oranları %5'ten azdır. Aynı zamanda, birçok kanserin önlenmesi ve tedavisinde ilerleme kaydedilmiş ve bu da uzun süreli sağ kalım ve iyileşme sağlamıştır (Zhan ve ark., 2019).

İki ana akciğer kanseri alt türü vardır; küçük hücreli olmayan akciğer kanseri (NSCLC) ve küçük hücreli akciğer kanseridir (SCLC). NSCLC, akciğer kanserlerinin yaklaşık %85'ini oluşturan yaygın alt türdür. NSCLC, adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve büyük hücreli karsinom olarak sınıflandırılır. A549, karsinomlu 58 yaşında beyaz bir erkeğin akciğerinden izole edilen bir epitel hücredir ve küçük hücreli olmayan akciğer kanseri hücre hattıdır (Wistuba ve ark., 2006; Vella ve ark., 2024).

Kirsten sıçan sarkomu (KRAS) geni, RAS ailesinin bir üyesidir. İnsan kanserlerinde KRAS-G12 mutasyonları en yaygın olanıdır (%89). Ayrıca, G12 mutasyonları arasında G12D (%36) en sık görülen alt tiptir ve bunu G12V (%23) ve G12C (%14), G12S (GGT: AGT) daha az rastlanan ancak biyolojik açıdan önemli bir varyant takip eder. PDAC'de belirgin bir rol oynayan G12D mutasyonunun aksine, G12C, NSCLC'de en yaygın mutasyon alt tipi olarak tanımlanmıştır (%13). KRAS mutasyonlarının belirli alt tiplerinin diğer gen mutasyonlarıyla birlikte değerlendirilmesi, hastalığın agresifliği ve ilaç duyarlılığına dair önemli bilgiler sağlayabilir (Liu ve ark., 2022; Barrios-Bernal ve ark., 2023).

G12S mutasyonu KRAS GTPase(guanozin trifosfat) aktivitesini düşürerek preotein aktivasyonunu sürekli hale getirerek KRAS'ın GTP bağlı aktif formda uzun süre kalmasına yol açar ve MAPK/ERK ve PI3K/AKT/mTOR yolları sürekli uyarılır ve apoptoz mekanizmaları baskılanır. (Hua ve ark.,2024)

Gen düzenleme, genom dizisini hassas bir şekilde değiştirerek genomda eklemeler, silmeler veya baz değişimleri oluşturan bir teknolojidir. Birçok hastalığa, özellikle tek bir gendeki mutasyonlardan kaynaklanan bazı genetik hastalıklar, in vivo gen ifadesindeki değişiklikler eşlik eder ve gen düzenleme teknolojisinin hastalıkların genetik düzeyde ortaya çıkmasını kontrol etmesi beklenmektedir (Ma ve ark., 2014). Kültür hücrelerinde, hayvanlarda ve bitkilerde hedefe yönelik genetik modifikasyonların gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bugüne kadar, gen düzenleme teknolojisi dört ana nesil geliştirmeden geçmiştir: Birinci nesil gen düzenleme teknolojisi meganüleazlardır, ikinci nesil çinko parmak nükleazlar (ZFN'ler); üçüncü nesil transkripsiyon aktivatörü benzeri efektör nükleazlar (TALEN'ler); ve basit, etkili ve ekonomik yöntemler sunarak, genetik mühendisliği alanında devrim yaratan en yaygın kullanılan, dördüncü nesil gen düzenleme teknolojisi düzenli aralıklarla kümelenmiş kısa palindromik tekrarlar (CRISPR)/CRISPR ilişkili protein 9'dur (Cas). DNA zincirlerini hedeflemek için protein kullanan ZFN'ler ve TALEN'lerden farklı olarak, CRISPR teknolojisi, kılavuz RNA'nın küçük bir segmentinin baz dizisini değiştirerek Cas proteinlerini genomdaki belirli bir yere yönlendirir, böylece gen düzenlemenin verimliliğini artırır ve gen düzenleme teknolojisinin uygulanabilirliğini genişletir (Kim ve ark., 2014; Li ve ark., 2023). CRISPR ilk olarak 1987 yılında Escherichia coli (E.

coli) genomunda tekrarlanan kısa palindromik diziler kümesi olarak keşfedilmiştir (Cheng ve ark., 2021).

Cas9, *Streptococcus pyogenes* bakterisinden türetilmiş bir endonükleaz olan SpCas9'un bir formudur ve yüksek hedef özgüllüğü ile basitliği nedeniyle en çok tercih edilen endonükleazlardan biridir. Cas9, çift sarmallı DNA'ya (dsDNA) kesim yapabilen ve hedef bölgesinde çift sarmallı kırıklar (DSB) oluşturabilen iki aktif bölgeye sahip olup,PAM seknsını tanıyan bu bölgeler HNH ve RuvC olarak adlandırılır. HNH nükleaz bölgesi, rehber RNA'ya (crRNA) tamamlayıcı olan DNA zincirini keserken, RuvC bölgesi ise diğer zinciri keser. Cas9'un hedefleme bölgesi, protospacer-bitişik motif (PAM) olarak bilinen 5'-NGG dizisinin hemen 3 nükleotit uzağında bulunur. Ayrıca, crRNA ve tracrRNA, tek bir rehber RNA (sgRNA) olarak birleştirilebilir. Bu sgRNA yaklaşık 100 baz çifti uzunluğundadır ve negatif bir yüke sahiptir. sgRNA'nın önderliğinde Cas9 proteini, baz eşleşmesi ile belirli genomik bölgeyi hedefleyebilir ve burada çift sarmallı kırılma (DSB) oluşturabilir. Sonrasında hücreler, bu genetik hasarı onarmak için ya homolog olmayan uç birleştirme (NHEJ) yolunu kullanarak ekleme veya silme yapar, ya da homoloji yönlendirmeli onarım (HDR) yoluyla DNA'daki belirli değişiklikleri gerçekleştirebilir. Genel olarak, NHEJ yolu, kırık noktada eklemeler veya silmelerle (indeller) sonuçlanırken, HDR, hedeflenen DNA değişikliklerini tanımlanan bir DNA donörü aracılığıyla yapabilir (Jiang ve ark., 2017; Cheng ve ark., 2021).

Doğal CRISPR sistemlerinde, Cas9 için gRNA'lar bir crRNA:tracrRNA kompleksinden oluşur ve bunlar genetik mühendisliği yoluyla bir sgRNA (tek gRNA) oluşturmak üzere bir araya getirilebilir (Tyumentseva ve ark., 2023). Cas9 bir gRNA ile bir ribonükleoprotein kompleksi oluşturduktan sonra, hedef tanıma için gerekli olan ve endonükleazlar arasında değişen bir dizi olan protospacer bitişik motifine (PAM) bitişik bir çift sarmallı kopma gerçekleştirir. Bu çift sarmallı kopma, genom düzenleme uygulamalarına olanak tanır. Gen düzenleme için, CRISPRa (aktivasyon)ve CRISPRi(inhibisyon), birden fazla gRNA'nın tek bir genetik lokusa hedeflenmesi, DNA düzenleme ve transkripsiyonel kontrolün verimliliğini de artırır (McCaty ve ark., 2020; Cheng ve ark., 2021).

CRISPR/Cas9 sistemleri için lipitler, polimerler, altın nanopartikülleri ve hücreye nüfuz eden peptitler gibi çeşitli dağıtım yöntemleri geliştirilmiştir. Katyonik lipit bazlı CRISPR/Cas9 plazmit dağıtımı, lipit nanopartiküllerinin gelişmiş teknolojisi ile plazmitlerin yapısal basitliği, biyostabilitesi, düzenlenebilirliği ve sıkıştırılabilirliği sayesinde en yaygın tercih edilen strateji olmuştur. İdeal bir dağıtım yöntemi, geçici işlev sağlarken Cas9/sgRNA bileşenlerinin etkili bir şekilde ifade edilmesini, yüksek genom düzenleme verimliliğini ve minimum hedef dışı etkiyi hedefler. Bu bağlamda, Cas9 ribonükleoproteininin (RNP) doğrudan çekirdeğe iletilmesi, etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu yöntem, Cas9 RNP'nin kapsüllenmesi, hücreye alınması, endozomal kaçış, nükleer taşınma ve yük serbest bırakma gibi çok işlevli özelliklere sahip akıllı vektörlerin kullanılmasını gerektirir (Cheng ve ark., 2021).

CRISPR/Cas9 sisteminin dağıtımı için kullanılan teknolojiler, viral ve non-viral yöntemler olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Viral vektörler arasında adenovirüsler, lentivirüsler ve adeno-associated virüsler (AAV), yüksek verimlilikle gen transferi sağlamasıyla öne çıkar, ancak bağışıklık tepkileri ve sınırlı taşıma kapasitesi gibi dezavantajlara sahiptir. Non-viral yöntemler arasında lipid nanopartiküller, düşük toksisite ve kolay üretim avantajıyla dikkat çekerken, elektroporasyon gibi fiziksel yöntemler hücre zarının geçici olarak geçirgenliğini artırarak genetik materyalin içeri alınmasını sağlar. (Du ve ark., 2023).

Memeli hücrelerindeki ilk genom düzenleme yaklaşımları, Cas9 ve sgRNA'nın plazmid bazlı ifadesine dayanmaktadır. Fareler gibi model organizmalarda, plazmid dokuya hidrodinamik enjeksiyon veya elektroporasyon yoluyla iletilebildiğinden, bu yöntem in vivo uygulamalar için de uygundur. Cas9/sgRNA'nın in vivo iletilmesini iyileştirmek için farklı viral ve viral olmayan yöntemler geliştirilmiştir (Zhan ve ark., 2019).

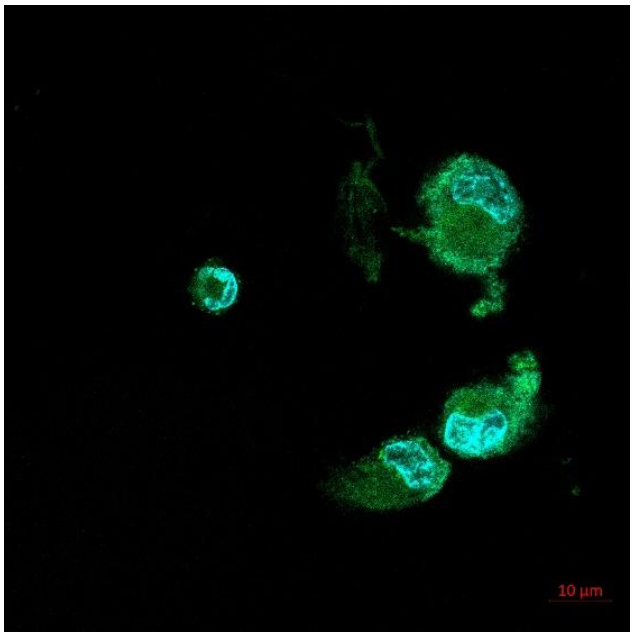
CRISPR/Cas9 sistemi birçok yöntemi barındırır. CRISPR-HDR stratejisi tek bir sgRNA ile vektör kullanılarak hedef DNA'da çift sarmallı kırıklar (DSB) oluşturarak genin işlevini bozmayı amaçlar. Genellikle hücrenin S ve G2 fazında daha aktiftir. CRISPR-knockout stratejisi ise 2 sgRNA kullanarak homozigot olarak nakavt edebilmektir ve bu stratejide genellikle dönor vektör kullanılmaz. CRISPR du-HITI stratejisinde ise iki sgRNA ve iki vektör kullanılabilir. DNA'nın belli bir bölümü çıkartılır ve dönor DNA yerleştirilir ve HDR birleştirme yöntemi kullanılır (Zare ve ark., 2018; Javadi ve ark., 2023).

Gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) özellikle tıbbi alanlarda, tedavi, teşhis, ilaç dağıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Aziz ve ark., 2017). Ayrıca, AgNP'ler antibakteriyel, antiviral, antianjiyojenik, antifungal, antiinflamatuar ve antikanser etkileri gibi çok işlevli biyolojik özelliklere sahiptir (Zhang ve ark., 2016). AgNP'lerin toksisitesi, boyut, şekil, konsantrasyon, yüzey yükü ve fonksiyonellik gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Kumar ve ark., 2017). Gümüş nanopartiküllerin etkinliği, kızılötesi ışık, radyo dalgaları ve manyetik alanla aktive edilerek artırılabilir (Shen ve ark.,2011). Gümüş nanopartiküller son zamanlarda alüminyum silikat mineralleri, kaolinit ve halloysit gibi kompozit malzemelerle birlikte sistemik toksisitelerini stabilize etmek ve azaltmak için kullanılmıştır (Johannsen ve ark., 2005).

Werner ve arkadaşları, A549 hücre hattında onkogenik KRAS mutasyonunu CRISPR-Cas9 yöntemiyle geri çevirerek vahşi tip KRAS ekspresyonu sağlamış, bunun proliferasyonu artırdığını, göç mekanizmasında ise Ras ve mTORC2 yolaklarının bağımsız etkiler gösterdiğini bildirmiştir (Werner ve ark., 2022). Wang ve arkadaşları, kanser biyolojisinde sıkça görülen KRAS mutasyonlarını hedef alan gen tedavi stratejilerini detaylı şekilde incelemişlerdir. Çalışmada; CRISPR-Cas tabanlı düzenleme sistemlerinin, antisens oligonükleotidlerin ve RNA girişimli yaklaşımların, mutant KRAS ekspresyonunun baskılanmasında yüksek özgüllük ve terapötik potansiyel sunduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, bu yaklaşımların mutant KRAS'a bağlı kanserlerin tedavisinde klinik uygulamalara geçiş için önemli fırsatlar sağladığı belirtilmiştir (Wang ve ark., 2024).

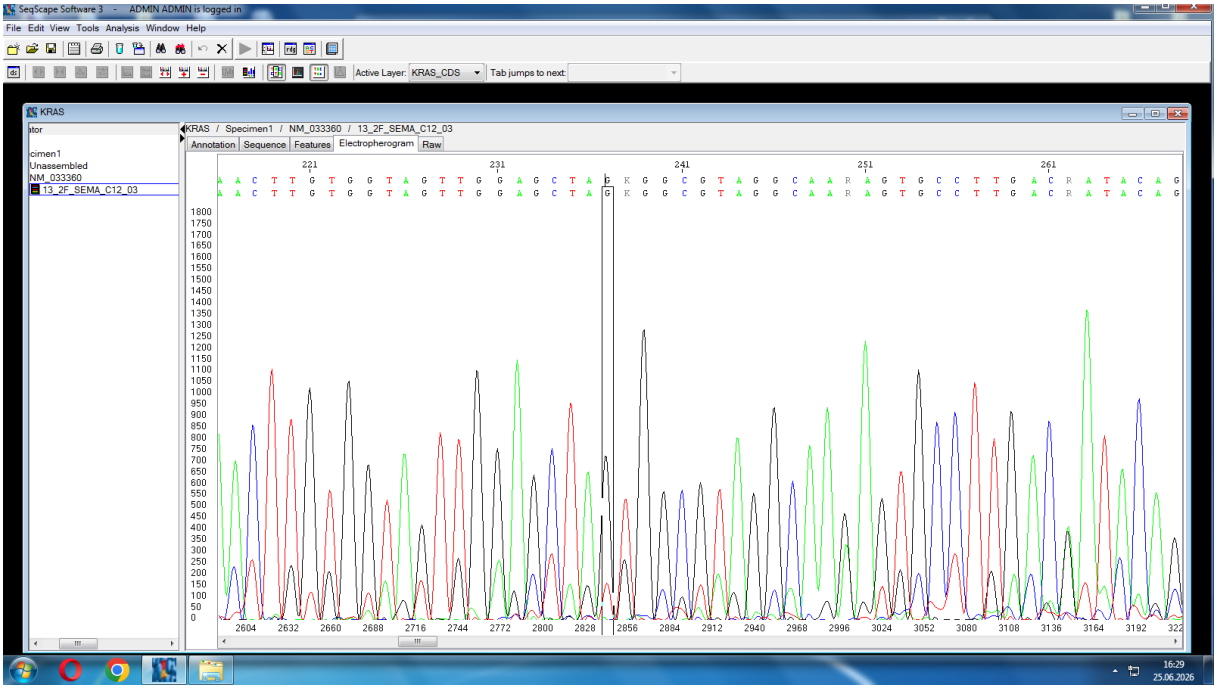
Elektroporasyon Tabanlı Transfeksiyon ve Konfokal Mikroskopi Analizi

A549 akciğer adenokarsinom hücre hattında hedef genetik modifikasyonu gerçekleştirmek amacıyla, gRNA içeren plazmid vektörlerinin hücre içine aktarımı elektroporasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, kültüre edilen 1×10^6 (bir milyon) adet A549 hücresi tripsinizasyon işlemiyle yüzeyden kaldırılarak santrifüjlenmiş ve süpernatant uzaklaştırılmıştır. Hücre peleti, gRNA ekspresyon plazmidi ile kombine edilerek Neon™ Transfeksiyon Sistemi (Invitrogen) kullanılarak 1300 V voltaj parametresinde elektroporasyona tabi tutulmuştur. Transfeksiyon verimliliğini ve plazmidin hücre içi lokalizasyonunu değerlendirmek amacıyla, işlem sonrasında hücreler konfokal lazer taramalı mikroskopi (CLSM) altında floresan görüntülemeye alınmış ve Yeşil Floresan Protein (GFP) sinyali kontrol edilmiştir.



Şekil 1. Transfeksiyon sonrası A549 hücrelerinde GFP ekspresyonunun ve plazmid girişinin konfokal mikroskopi ile doğrulanması (Ölçek çizgisi: 10 µm).

Sanger Sekans ile Doğrulama



Şekil 2: A549 akciğer adenokarsinom hücre hattında *KRAS* genine yönelik gerçekleştirilen transfeksiyon işleminin başarısını ve hedeflenen genetik modifikasyonu değerlendirmek amacıyla, transfekte edilen hücreler ile wild-type (yabanıl tip) kontrol grubu hücrelerinden elde edilen sekans

verileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sanger dizileme (Sanger sequencing) sonuçlarının analizi, transfeksiyon uygulanmış hücre hattındaki hedef dizide wild-type kontrol grubuna kıyasla hedeflenen mutasyon varlığını net bir şekilde ortaya koymuştur.

Kromatogram verilerinin ve sekans doğrulamalarının (sequence alignment) incelenmesi, transfeksiyon protokolünün hedef bölgede yüksek spesifiteyle arzu edilen genetik varyasyonu oluşturduğunu ve hücre hattının başarıyla modifiye edildiğini konfirme etmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, akciğer adenokarsinomu hücrelerinde *KRAS* G12S mutasyonuna yönelik spesifik bir CRISPR/Cas9 gen düzenleme stratejisi yürütülmüş ve fonksiyonel etkileri analiz edilmiştir. Mutasyona özgü tasarlanan sgRNA ekspresyon vektörlerinin A549 hücre hattına aktarımı, konfokal mikroskopi altında yüksek verimlilikte doğrulanmıştır. Genomik DNA üzerinden gerçekleştirilen Sanger sekanslama ile hedef bölgedeki spesifik genetik modifikasyonu kanıtlamıştır. Hücrelerden gerçekleştirilen makromoleküler izolasyonlar neticesinde; qPCR analiziyle *KRAS* mRNA düzeyinde transkripsiyonel downregülasyon saptanmıştır. Gen düzenlemesi tamamlanmış hücrelerde yürütülen MTT canlılık analizleri, hücrelerin Afatinib tedavisine karşı duyarlılığının doz bağımlı olarak arttığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen mutasyon-spesifik CRISPR modelinin etkinliğini ve ardından uygulanan inhibitör stratejisinin terapötik potansiyelini başarıyla ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Alturki MS, Tawfeeq N, Alissa A, Ahbail Z, Gomaa MS, Al Khzem AH, Rants'o TA, Akbar MJ, Alharbi WS, Alshehri BY, Alotaibi AN, Almughem FA, Alshehri AA. Targeting KRAS G12C and G12S mutations in lung cancer: In silico drug repurposing and antiproliferative assessment on A549 cells. Inf Med Unlocked, 2025; 52: 101612.

Aziz SG, Aziz SG, Akbarzadeh A. Advances in silver nanotechnology: an update on biomedical applications and future perspectives. Drug Res (Stuttg), 2017; 67(4): 198–203.

Barrios-Bernal P, Lucio-Lozada J, Ramos-Ramírez M, Hernández-Pedro N, Arrieta O. A novel combination of sotorasib and metformin enhances cytotoxicity and apoptosis in KRAS-mutated non-small cell lung cancer cell lines through MAPK and P70S6K inhibition. Int J Mol Sci, 2023; 24(5): 4331.

Cheng H, Zhang F, Ding Y. CRISPR/Cas9 delivery system engineering for genome editing in therapeutic applications. Pharmaceutics, 2021; 13(10): 1649.

Du Y, Liu Y, Hu J, Peng X, Liu Z. CRISPR/Cas9 systems: delivery technologies and biomedical applications. Asian J Pharm Sci, 2023; 100854.

Feng S, Callow MG, Fortin JP, Khan Z, Bray D, Costa M & Evangelista M. A saturation mutagenesis screen uncovers resistant and sensitizing secondary KRAS mutations to clinical KRASG12C inhibitors. Proceedings of the National Academy of Sciences.2022:119(18); e2120512119.

Giuliano CJ, Lin A, Girish V, Sheltzer JM. Generating single cell–derived knockout clones in mammalian cells with CRISPR/Cas9. Curr Protoc Mol Biol, 2019; 128(1): e100.

Hua WJ, Hwang WL, Yeh H, Lin ZH, Hsu WH, Lin TY. Ganoderma microsporum immunomodulatory protein combined with KRASG12C inhibitor impedes intracellular AKT/ERK network to suppress lung cancer cells with KRAS mutation. Int J Biol Macromol, 2024; 259: 129291.

Javadi M, Sazegar H & Doosti A. Genome editing approaches with CRISPR/Cas9: the association of NOX4 expression in breast cancer patients and effectiveness evaluation of different strategies of CRISPR/Cas9 to knockout Nox4 in cancer cells. BMC cancer.2023: 23(1); 1155.

Jiang F, Doudna JA. CRISPR-Cas9 structures and mechanisms. Annu Rev Biophys, 2017; 46: 505–29.

Johannsen M, Thiesen B, Jordan A, Taymoorian K, Gneveckow U, Waldöfner N, et al. Magnetic fluid hyperthermia (MFH) reduces prostate cancer growth in the orthotopic Dunning R3327 rat model. Prostate, 2005; 64(3): 283–292.

Kim H, Kim JS. A guide to genome engineering with programmable nucleases. Nat Rev Genet, 2014; 15(5): 321–34.

Kumar V, Sharma N, Maitra SS. In vitro and in vivo toxicity assessment of nanoparticles. Int Nano Lett, 2017; 7(4): 243–256.

Li T, Yang Y, Qi H, Cui W, Zhang L, Fu X, Yu T. CRISPR/Cas9 therapeutics: progress and prospects. Signal Transduct Target Ther, 2023; 8(1): 36.

Liu J, Kang R, Tang D. The KRAS-G12C inhibitor: activity and resistance. Cancer Gene Ther, 2022; 29(7): 875–78.

Ma Y, Zhang L, & Huang X. Genome modification by CRISPR/Cas9. The FEBS journal.2014:281(23);5186-5193.

McCarty NS, Graham AE, Studená L, Ledesma-Amaro R. Multiplexed CRISPR technologies for gene editing and transcriptional regulation. Nat Commun, 2020; 11(1): 1281.

Roy PS & Saikia B. Cancer and cure: A critical analysis. Indian journal of cancer.2016: 53(3);441-442.

Shen H, You J, Zhang G, Ziemys A, Li Q, Bai L, et al. Cooperative, nanoparticle-enabled thermal therapy of breast cancer. Adv Healthc Mater, 2011; 1(1): 10–1002.

Tyumentseva M, Tyumentsev A, & Akimkin V. CRISPR/Cas9 landscape: Current state and future perspectives. International Journal of Molecular Sciences.2023:24(22); 16077.

Vella N, Fenech AG, Petroni Magri V. 3D cell culture models in research: applications to lung cancer pharmacology. Front Pharmacol, 2024; 15: 1438067.

Wang Y, Bui TA, Yang X, Hutvagner G, Deng W. Advancements in gene therapies targeting mutant KRAS in cancers. Cancer Metastasis Rev. 2025;44(1):24.

Werner AN, Kumar AI, Charest PG. CRISPR-mediated reversion of oncogenic KRAS mutation results in increased proliferation and reveals independent roles of Ras and mTORC2 in the migration of A549 lung cancer cells. Mol Biol Cell. 2023;34(13):ar128.

Wistuba II, Gazdar AF. Lung cancer preneoplasia. Annu Rev Pathol Mech Dis, 2006; 1(1): 331–48.

Zare K, Shademan M, Ghahramani Seno MM, Dehghani H. CRISPR/Cas9 knockout strategies to ablate CCAT1 lncRNA gene in cancer cells. Biol Proced Online, 2018; 20: 1–12.

Zhan T, Rindtorff N, Betge J, Ebert MP, Boutros M. CRISPR/Cas9 for cancer research and therapy. Semin Cancer Biol, 2019; 55: 106–19.

Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. Int J Mol Sci, 2016; 17(9): 1534.

Zhang Z, Guiley KZ, Shokat KM. Chemical acylation of an acquired serine suppresses oncogenic signaling of K-Ras (G12S). Nat Chem Biol, 2022; 18(11): 1177–83.

INVESTIGATION OF PROBIOTIC POTENTIAL OF HUMAN-DERIVED *LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM* SK-6 STRAIN[1]

Sarah ANJAM

Bolu Abant İzzet Baysal University, Institute of Graduate Studies

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-9216-4268

Prof. Dr. Mehmet ÖZTÜRK

Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Arts and Sciences

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6906-5257

Abstract

Lactiplantibacillus plantarum is a widely studied Lactic acid bacterium (LAB) recognized for its significant role in food fermentation and human health. Several *L. plantarum* strains have been reported to enhance epithelial barrier integrity, maintain gut eubiosis, and exhibit immunomodulatory, antioxidant, and metabolic regulatory effects. However, their probiotic potential is highly strain-dependent. Most studies have focused on plant or food-derived *L. plantarum* strains. In contrast, this study investigates the indigenous human-derived *L. plantarum* SK-6 strain using in vitro assays for gastrointestinal adaptation and functional activity. The results for probiotic characterization of this strain indicated that it was tolerant to all simulated gastric conditions. High survival rates were observed under acidic conditions (pH 3.0), bile salt exposure (0.3%), phenol (0.4%), and lysozyme (0.1mg/mL), indicating compelling stress adaptability. The strain exhibited antimicrobial activity against four pathogens, including *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, and *Yersinia enterocolitica*, and this activity was associated with the presence of organic acids. The strain exhibited 71.52±2% autoaggregation ability, indicating strong cell–cell adhesion capacity. Coaggregation ability with pathogens was low to moderate, with the highest interaction of 47.05±1.93% observed with *L. monocytogenes*. Furthermore, the strain was γ-hemolytic (non-hemolytic) on blood agar, negative for gelatinase production, and sensitive to all tested antibiotics except kanamycin. The strain exhibited BSH activity, and PCR amplification of BSH genes revealed the presence of four genes (*bsh*1, *bsh*2, *bsh*3, and *bsh*4), indicating that the strain has potential for bile salt deconjugation and enhanced gastrointestinal survival. These results demonstrate that the isolate *L. plantarum* SK-6 exhibits promising probiotic potential, including good survival, antimicrobial activity, adhesion ability, and favorable safety properties, highlighting its potential for functional food applications.

Keywords: *Lactobacillus*, Stress tolerance, Antimicrobial activity, Autoaggregation, Probiotic

[1]This work was supported by funds from The Scientific Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under grant TBAG-125Z108 and 123Z890 (to Mehmet Öztürk).

KEÇİLERDE RE-SENKRONİZASYON

Doktora Öğrencisi Ayşe ÇİNPOLAT
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-8254-1682
Prof. Dr. Gökhan DOĞRUER
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8000-0646
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Uyanık
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4488-3055

Keçiler, farklı çevresel ve iklimsel koşullara yüksek adaptasyon yetenekleri sayesinde dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen küçük ruminantlardır. Bununla birlikte, keçilerde üreme aktivitesi fotoperiyoda bağlı olarak şekillenir ve türün mevsimsel poliöstrik özelliği nedeniyle ovaryum aktivitesi genellikle gün ışığı süresinin azalmaya başladığı yaz sonu ve sonbahar döneminde yeniden aktive olur. Fotoperiyot kaynaklı bu mevsimsel sınırlılık, özellikle sezon başlangıcında sürü fertilitesinin hızlı şekilde artırılmasını ve gebe kalmayan hayvanların kısa sürede yeniden aşım veya tohumlamaya alınmasını önemli hale getirmektedir. Bu amaçla uygulanan senkronizasyon protokolleri, östrüs ve ovulasyonun kontrollü şekilde uyarılmasını sağlarken, ilk uygulama sonrasında gebe kalmayan hayvanların erken dönemde tekrar üreme programına dahil edilmesi için re-senkronizasyon protokolleri kullanılmaktadır. Re-senkronizasyon protokollerinin temel amacı, gebelik tanısı beklenmeden, gebe kalmayan keçilerin yeniden senkronize edilerek aşım-gebe kalma aralığının kısaltılması ve sezon başında gebelik oranlarının optimize edilmesidir. Bu kapsamda progesteron içeren intravaginal cihazların ikinci kez uygulanması, hem luteal destek sağlayarak erken embriyonik kayıpların azaltılmasına katkı sunabilir hem de gebe olmayan hayvanların kısa sürede yeniden östrüse getirilmesine olanak tanır. Her ne kadar aşım sonrası dönemde ikinci progesteron uygulamasının luteolizis veya gebelik üzerine olası olumsuz etkileri konusunda bazı endişeler bulunsa da mevcut veriler, keçilerde gebelik durumuna bakılmaksızın progesteron kaynaklarının re-senkronizasyon amacıyla güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Bu sunumda, keçilerde mevsimsel üreme aktivitesinin fizyolojik temeli, progesteron temelli senkronizasyon ve re-senkronizasyon protokollerinin pratik önemi ile bu uygulamaların üreme yönetimine sağlayabileceği katkılar özetlenecektir.

Anahtar kelimeler: keçi, mevsimsel üreme, progesteron, re-senkronizasyon.

RE-SYNCHRONIZATION IN GOATS

Goats are small ruminants widely raised throughout the world due to their high adaptability to different environmental and climatic conditions. However, reproductive activity in goats is regulated by photoperiod, and because of their seasonal polyoestrous nature, ovarian activity is generally reactivated in late summer and autumn, when day length begins to decrease. This photoperiod-related seasonal limitation makes it important to rapidly improve flock fertility, particularly at the beginning of the breeding season, and to reintroduce non-pregnant animals to mating or insemination within a short period. Synchronization protocols applied for this purpose allow controlled induction of oestrus and ovulation, while re-synchronization protocols are used to include animals that fail to conceive after the initial application back into the reproductive program at an early stage. The main objective of re-synchronization protocols is to shorten the mating-to-conception interval and optimize pregnancy rates at the beginning of the season by re-synchronizing non-pregnant goats without waiting for pregnancy diagnosis. In this context, the second use of progesterone-containing intravaginal devices may contribute to the reduction of early embryonic losses by providing luteal support and may also allow non-pregnant

animals to return to oestrus within a short period. Although there are some concerns that a second progesterone application after mating may induce luteolysis or have adverse effects on pregnancy, current evidence indicates that progesterone sources can be safely used for re-synchronization purposes in goats, regardless of pregnancy status. This presentation will summarize the physiological basis of seasonal reproduction in goats, the practical importance of progesterone-based synchronization and re-synchronization protocols, and the potential contributions of these applications to reproductive management.

Keywords: Goat, Progesterone, Resynchronization, Seasonal reproduction

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

TREE-SOIL-PLANT INTERACTIONS AND NUTRIENT DYNAMICS IN SILVOPASTORAL SYSTEMS: CONTEMPORARY APPROACHES AND EVALUATION FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT

Prof. Dr. Ahmet ÇELİK

Tennessee State University Department of Environmental Sciences College of Agriculture, Nashville/USA, ORCID ID: 0000-0001-8958-4978

Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Adıyaman/Türkiye

ABSTRACT

Silvopastoral systems are agroforestry practices that integrate trees, forage vegetation, and livestock within the same land unit, offering significant potential for sustainable land management and enhanced ecosystem services. Rising pressures from global challenges such as climate change, soil degradation, and pasture yield declines have accelerated interest in these alternative and holistic production models. This study evaluates the tree-soil-plant interactions in silvopastoral systems and their subsequent effects on nutrient cycling and soil fertility in light of contemporary literature. Research indicates that the tree component introduces substantial organic matter into the soil via litterfall, root turnover, and rhizosphere activities, thereby enhancing organic carbon sequestration, aggregate stability, and microbial activity. Furthermore, deep root systems facilitate the translocation of nutrients from deeper soil layers back into the upper soil profile, successfully reintegrating them into the biological cycle. Although the presence of trees regulates the microclimate and shapes understory forage dynamics, competition for water and nutrients may also arise depending on species selection and canopy density. In conclusion, silvopastoral systems are evaluated to contribute significantly to improving soil quality by supporting nutrient cycling, increasing carbon storage capacity, and enhancing the sustainability of pasture ecosystems. Expanding long-term monitoring studies and conducting more detailed investigations into the ecological functioning of these systems, particularly in arid and semi-arid regions, will crucially contribute to the development of robust, sustainable land management strategies.

Keywords: Agroforestry, Carbon Sequestration, Microclimate, Nutrient Cycling, Silvopastoral System, Soil Quality.

1.INTRODUCTION

Today, global agricultural lands are facing unprecedented anthropogenic (human-induced) pressures, intensified by climate change, intensive monoculture farming practices, and the resulting soil degradation (Hossain et al., 2020). In arid and semiarid regions, decades of conventional monoculture management have depleted soil organic matter, disrupted soil micromorphological aggregate stability, and caused severe nutrient imbalances (Dollinger and Jose, 2019).

To address these ecological challenges, contemporary agronomic research is increasingly shifting from energy-intensive production paradigms toward holistic and biologically based agroecological approaches (Kumar, 2026). Among these sustainable land management strategies, silvopastoral systems which deliberately integrate woody perennials, forage crops, and livestock within the same spatial and temporal framework represent one of the most resilient and effective forms of agroforestry (Nair et al., 2021).

The structural and functional complexity of silvopastoral configurations initiates an interconnected network of tree-soil-plant interactions that generates multi-layered ecological feedbacks within the

agroecosystem (Jose et al., 2019; Tecimen, 2025). Within this co-evolutionary ecological matrix, the woody perennial component functions as a primary biophysical regulator. Unlike conventional open pastures or intensive monoculture systems, where the soil surface remains directly exposed to pronounced macroclimatic fluctuations, structured tree canopy architecture buffers the understory microclimate by moderating ambient temperature dynamics, altering photosynthetically active radiation (PAR), and influencing evapotranspiration processes (Jose and Dollinger, 2019). At the same time, subsurface dynamics contribute to the redistribution of nutrients within the soil profile. These organic inputs enhance soil microbial activity and contribute to nutrient cycling processes involving carbon, nitrogen, and phosphorus, while also supporting soil structural stability. However, the optimization of these ecological functions is strongly dependent on species-specific traits, planting density, and spatial management. In cases of unmanaged canopy closure, increased competition between trees and understory vegetation for light and water may occur, which can negatively affect pasture productivity and overall system performance (Jose and Dollinger, 2019; Ripamonti et al., 2025).

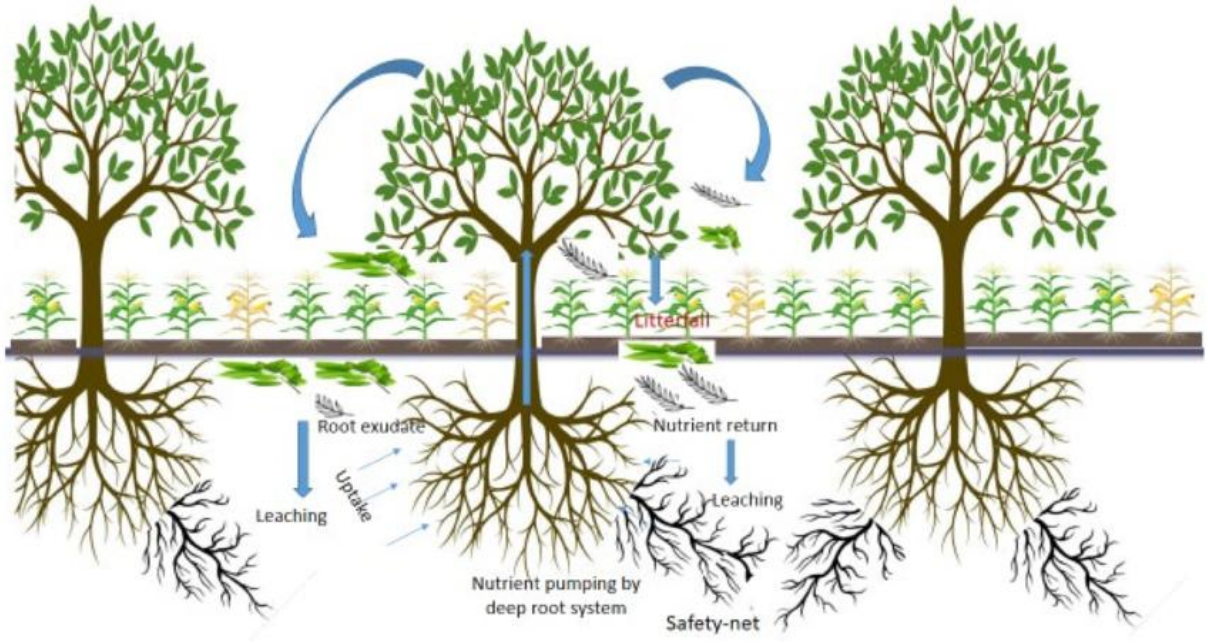
Therefore, a systemic assessment of nutrient dynamics and plant-soil feedback mechanisms is of critical importance for advancing sustainable pasture rehabilitation. This section synthesizes recent empirical advances in silvopastoral ecological modeling, examines the biogeochemical processes governing resource allocation, and explores how the strategic use of circular amendments-such as biochar and vermicompost-can synergistically enhance soil carbon storage and aggregate stability in fragile terrestrial ecosystems.

2. TREE-SOIL-PLANT INTERACTIONS AND MICROMORPHOLOGICAL DYNAMICS IN SILVOPASTORAL SYSTEMS

The ecological and agronomic success of silvopastoral systems depends on the multilayered and dynamic interactions among woody species, herbaceous vegetation, and the soil matrix. Unlike traditional monoculture systems, the biodiversity inherent in these systems fundamentally alters both soil micromorphology and its biogeochemical balance (Dollinger and Jose, 2019).

2.1. Root System and the “Nutrient Safety Net”

Deep-rooted tree species in silvopastoral systems function as a biological safety filter within deep soil horizons that annual forage crops or shallow-rooted herbaceous vegetation cannot Access (Jose and Holzmueller, 2021). Mobile anions such as nitrates and sulfates, which are leached into lower soil layers through heavy rainfall, improper irrigation, or overgrazing, are taken up by deep tree roots and subsequently returned to the upper soil layers via litter deposition, root turnover, and nutrient cycling processes (Zia-ur-Rehman et al., 2016; Fahad et al., 2022) (Figur 1).



Figur 1. Nutrient pumping and cycling in an agroforestry system via 'safety net' formation (Fahad et al., 2022).

These nutrients, drawn from deeper soil layers, are returned to the topsoil the most biologically active and productive soil layer-as organic matter through litterfall and root turnover. This biological pumping mechanism, described in the literature as the "nutrient safety net," establishes a sustainable linkage between the subsoil and topsoil while reducing the agroecosystem's dependence on external fertilizer inputs (Nair et al., 2021).

2.2. Rhizosphere Dynamics and Soil Micromorphology

The rhizosphere-the narrow soil region directly influenced by root activity-is the site of the most intense biochemical processes within the system (Pinton et al., 2000). Low-molecular-weight organic acids exuded by tree roots, particularly citric, malic, and oxalic acids, stimulate beneficial microbial communities and enhance arbuscular mycorrhizal fungal activity within the root zone.

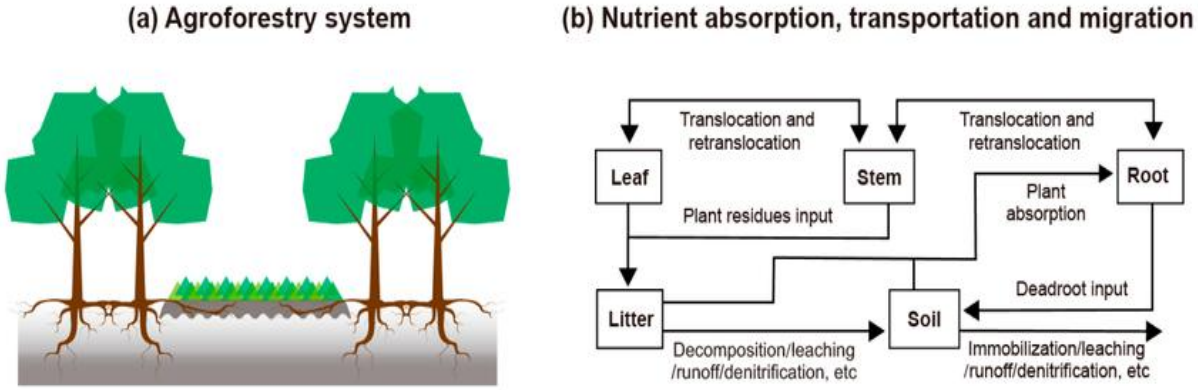
Advanced scanning electron microscopy (SEM) studies indicate that macro-aggregates in soils subjected to continuous tillage and chemical stress under monoculture agriculture rapidly disintegrate, whereas in silvopastoral systems aggregate stability is enhanced through root exudates, particularly glomalin and related adhesive glycoproteins (Bodner et al., 2021; Hamza et al., 2025). This micromorphological improvement increases soil porosity and hydraulic conductivity, thereby reducing surface runoff and mitigating erosion risk.

2.3. Canopy Effect and Microclimate Regulation

The tree canopy functions as a biophysical buffer for the underlying herbaceous vegetation and soil surface. It reduces soil temperature by attenuating excessive solar radiation, particularly during extreme summer periods in arid and semi-arid regions, and significantly decreases soil moisture loss through evaporation (Gomez et al., 2023). Conversely, during winter conditions, it mitigates the risk of soil freezing by reducing radiative heat loss. However, these microclimatic advantages may become a trade-off if the system is not properly managed. If inappropriate tree species are selected for the region, or if pruning and thinning practices are not implemented, leading to complete canopy closure, the level of photosynthetically active radiation (PAR) required for photosynthesis in the understory vegetation may fall below a critical threshold (Gomez et al., 2023).

3. NUTRIENT CYCLES AND MACRO- AND MICROELEMENT DYNAMICS

Nutrient management in silvopastoral systems exhibits a more closed and self-sustaining (biocircular) character compared to monoculture or open pasture systems (Chappa et al., 2024). The spatial distribution of tree and herbaceous root systems across different soil layers directly regulates the kinetics, mineralization rates, and bioavailability of macro- (N, P, K) and micronutrients in the soil (Nair et al., 2021).



Figur 2. Nutrient Pools and Cycling Mechanisms Among Components in Silvopastoral Systems (Nair et al., 2022)

3.1. Nitrogen Cycle and Dynamics of Biological Fixation

Nitrogen is one of the most dynamic and limiting elements governing productivity in silvopastoral systems. In these systems, nitrogen inputs are primarily regulated through two main mechanisms:

-Biological nitrogen fixation: When woody or herbaceous species belonging to the Fabaceae (legume) family (e.g., *Robinia pseudoacacia* or *Medicago sativa*) are incorporated into the system, atmospheric nitrogen is fixed and made available to the soil through symbiotic associations with *Rhizobium* bacteria in their root nodules (Jose and Dollinger, 2019).

-Litter dynamics: As leaves and fine roots shed from trees are decomposed by the soil microbiome, organic nitrogen is mineralized into ammonium (NH_4^+) and subsequently nitrified into nitrate (NO_3^-). While deep-root systems reduce nitrate leaching from lower soil layers, manure and urine inputs from grazing animals further accelerate nitrogen cycling by introducing readily available urea-derived nitrogen into the system (Haynes and Williams, 1993).

3.2. Phosphorus and Potassium Mobilization

Phosphorus, which is strongly immobilized in soils, and potassium, which is susceptible to leaching, are rendered more available to plants in silvopastoral systems due to the presence and functional activity of trees.

-Phosphorus solubilization**:** Phosphorus, present in insoluble forms due to its association with calcium compounds or iron/aluminum oxides within the soil mineral matrix, is mobilized through hydrolysis and solubilization by organic acids exuded from tree roots into the rhizosphere (Zhang et al., 2025). Hyphal networks of arbuscular mycorrhizal fungi extend into soil micropores that are inaccessible to roots and transport the solubilized phosphorus to the plant.

-Potassium dynamics: The potassium cycle is largely driven by tree leaf biomass. Trees uptake potassium from deeper soil layers and store it in their foliage. Through the rapid decomposition and

mineralization of leaf litter, particularly during autumn, potassium is released into the topsoil, forming readily available nutrient pools for herbaceous vegetation (Andrews et al., 2021).

3.3. Micronutrient Activity and Bioavailability

The continuous replenishment of soil organic matter (SOM) in silvopastoral systems promotes the chelation of micronutrients, particularly Fe, Mn, Zn, and Cu. The immobilization of trace elements through complexation with the organic matrix is reduced, thereby increasing their plant availability even under the high soil pH conditions typical of arid and semi-arid regions (Baradwal et al., 2023; Gomez et al., 2023). Furthermore, the humid microclimate created under tree canopies enhances the bioavailability of iron and manganese by stabilizing soil redox potential and supporting microbial activity.

4. INNOVATIVE APPROACHES TO SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT, CIRCULAR ECONOMY PRACTICES, AND FUTURE PERSPECTIVES

The long-term ecological stability and economic sustainability of silvopastoral systems are directly linked to the integration of modern agroecological practices and circular economy principles into system design. In this context, the recovery and reutilization of biogenic waste streams, along with the development of resilience mechanisms against land degradation, constitute the foundation of innovative land management approaches.

4.1. Circular Economy Perspective: Integration of Biochar, Vermicompost, and Gyttja

One of the most effective strategies for enhancing soil quality and agroecosystem resilience in silvopastoral systems is the recycling of agricultural and industrial biomass into soil amendments (Ashraf et al., 2025).

Effect of biochar: Biochar, produced via pyrolysis, contributes to the formation of a stable soil carbon pool due to its highly porous structure and large specific surface area (Nair et al., 2021). Its application in light-textured or degraded soils in arid and semi-arid regions increases cation exchange capacity (CEC), improves water-holding capacity, and reduces nutrient leaching.

Vermicompost synergy: Worm castings (vermicompost) provide high levels of humic substances, plant growth-regulating hormones (auxins and cytokinins), and a diverse microbial community to the system (Rehman et al., 2023). The combined application of biochar and vermicompost in silvopastoral systems synergistically enhances rhizosphere activity and promotes mycorrhizal colonization in tree species (Çelik et al., 2024; Ashraf et al., 2025; Sarvade et al., 2026).

Potential of gyttja applications: Recent agroecological studies indicate that gyttja-an organic amendment derived from lake sediments-exerts multifaceted restorative effects on plant morphological, physiological, and biochemical traits, as well as on soil quality (Çelik et al., 2025). Accordingly, the integration of organic sapropel-based materials rich in macro- and micronutrients, such as gyttja, into silvopastoral systems improves nutrient cycling between tree and herbaceous components and increases the availability of N, P, and K by reducing chemical immobilization processes.

4.2. The Interaction Between Soil Erosion Prevention and Animal Welfare

The holistic design of silvopastoral systems functions as both a mechanical and biological buffer for protecting topsoil while simultaneously supporting animal productivity.

-Erosion control: Tree root networks stabilize soil by binding soil particles and promoting the formation of macro-aggregates, thereby increasing soil structural resistance to both wind erosion during dry periods and water erosion during rainy periods (Zuazo and Pleguezuelo, 2009).

-Microclimatic well-being: Canopy shading reduces thermal stress in grazing animals, thereby improving forage intake efficiency and enhancing animal welfare. This shading effect also delays the

lignification of understory forage plants, increasing their crude protein content and digestibility and, consequently, maximizing pasture productivity (Gomez et al., 2023; Pérez-Hernández et al., 2024).

5. CONCLUSION OR RECOMMENDATIONS

5.1. Conclusion

As discussed in detail in this chapter, silvopastoral systems are not merely a production model combining livestock and forestry activities, but rather a dynamic and sustainable land management strategy that enhances the delivery of terrestrial ecosystem services. In the rehabilitation of soils degraded physically, chemically, and micromorphologically under the pressures of monoculture agriculture and intensive grazing, the tree-soil-plant interaction network plays a central role.

The “nutrient security network” hypothesis, driven by the deep-root architecture of woody species, enhances internal nutrient cycling by transporting nutrients from deeper soil layers to the topsoil and reducing nutrient losses (N, P, K) from the ecosystem through leaching. Organic acids and glomalin-like compounds exuded in the rhizosphere contribute to the restoration of macro-aggregate stability, thereby increasing soil hydraulic conductivity and mitigating erosion risk. Furthermore, the microclimatic buffering provided by canopy cover moderates extreme temperature fluctuations, thereby preserving the nutritional quality of forage plants and supporting animal welfare by reducing thermal stress.

In conclusion, the integration of bio-circular economy inputs-such as biochar, vermicompost, and gyttja-into silvopastoral systems permanently increases soil organic matter and cation exchange capacity, thereby maximizing edaphic resilience and long-term carbon sequestration capacity in arid and semi-arid regions.

5.2. Recommendations for the Future

To promote the widespread adoption of silvopastoral systems on a global and regional scale and to enhance their agroecological effectiveness, the following strategic steps are recommended for future academic research and field applications:

- Instead of short-term observations, long-term field trials covering a minimum period of 5 to 10 years should be established in arid and semi-arid basins with different microclimatic characteristics, and element cycles should be monitored over time.

-To fully understand the mechanisms of soil structure restoration, micromorphological changes at the root-soil interface should continue to be thoroughly investigated using precise methods such as SEM (Scanning Electron Microscopy), EDAX element mapping, and XRD mineralogical analyses.

-To minimize the trade-off between trees and herbaceous vegetation in terms of light, water, and nutrient competition, optimal planting standards and pruning/thinning schedules-tailored to the ecological limits of each region (particularly drought-tolerant oak, chestnut, or leguminous tree species)-should be determined using mathematical models.

-The application of agricultural by-products, industrial biomass sources, and organic sediment materials such as gyttja-either as individual amendments or in combined forms within silvopastoral pastures-should be encouraged. The synergistic effects of these organic inputs on soil microbiome dynamics and biodiversity warrant further investigation.

KAYNAKLAR

Andrews, E. M., Kassama, S., Smith, E. E., Brown, P. H., & Khalsa, S. D. S. (2021). A review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems. Agriculture, 11(7), 580.

Ashraf, S. K., Ripta, S. K., Rana, M. T., Islam, K. K. (2025). Biochar enhanced agroforestry systems for carbon sequestration, soil health and climate resilience. Discover Forests, 1(1), 53.

Baradwal, H., Ghosh, A., Singh, A. K., Jiménez-Ballesta, R., Yadav, R. K., Misra, S., ... & Mahala, D. M. (2023). Soil nutrient dynamics under silviculture, silvipasture and hortipasture as alternate land-use systems in semi-arid environment. Forests, 14(1), 125.

Bodner, G., Mentler, A., Keiblinger, K. (2021). Plant roots for sustainable soil structure management in cropping systems. *The root systems in sustainable agricultural intensification*, 45-90.

Chappa, L. R., Nungula, E. Z., Makwinja, Y. H., Ranjan, S., Sow, S., Alnemari, A. M., ... & Gitari, H. I. (2024). Outlooks on major agroforestry systems. agroforestry, 21-48.

Çelik, A., Bellitürk, K., Baran, M. F. (2024). Management of Soil and Water Contaminated with Heavy Metals with Sustainable Green Technologies: The Case of Vermicomposting. In Heavy Metal Remediation: Sustainable Nexus Approach (pp. 65-93). Cham: Springer Nature Switzerland.

Çelik, A., Sundari, R. S., Cun, S., Sarıoğlu, A., Beyyavaş, V., Sakin, E., ... & Dilekoğlu, M. F. (2025). Impacts of gyttja application on morphological, physiological, and biochemical parameters in soybean and soil. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 1306.

Dollinger, J., Jose, S. (2019). Silvopasture systems in temperate regions: A review of environmental benefits and economic viability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281, 42-54.

Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., ... & Poczai, P. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability*, *14*(22), 14877.

Gomez, M., Lales, P., Fernandez, C. (2023). Microclimatic buffering and forage quality in silvopastoral systems: Managing the canopy trade-offs. *Agronomy*, 13(4), 1012.

Hamza, A., Karčauskienė, D., Mockevičienė, I., Repšienė, R., Tahir, M. A., Manzoor, M. Z., ... & Ullah, I. (2025). Soil Aggregate Dynamics and Stability: Natural and Anthropogenic Drivers. Agriculture, 15(23), 2500.

Haynes, R. J., Williams, P. H. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Advances in Agronomy, 49, 119–199. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4

Hossain, A., Krupnik, T. J., Timsina, J., Mahboob, M. G., Chaki, A. K., Farooq, M., ... & Hasanuzzaman, M. (2020). Agricultural land degradation: processes and problems undermining future food security. In Environment, climate, plant and vegetation growth (pp. 17-61). Cham: Springer International Publishing.

Jose, S., Dollinger, J. (2019). Silvopasture systems in temperate regions: A review of environmental benefits and economic viability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 281, 42-54.

Jose, S., Dollinger, J. (2019). Silvopasture: A sustainable livestock production system. Agroforestry Systems, 93(1), 1–9. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8

Jose, S., Holzmueller, E. J. (2021). Tree-crop interactions in temperate agroforestry. North american agroforestry, 67-87.

Jose, S., Walter, D., Kumar, B. M. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. Agroforestry Systems, 93(1), 317–331.

Kumar, V. (2026). Emerging Paradigms in Modern Agricultural Sciences. International Journal of Emerging Research in Agricultural Sciences, 1(1), 24-31.

Nair, P. K. R., Kumar, B. M., Nair, V. D. (2021). Agroforestry for carbon sequestration and climate change mitigation: A review of existing knowledge and future challenges. *Agroforestry Systems*, 95(4), 611-631.

Nair, P. R., Kumar, B. M., Nair, V. D. (2022). Soil organic matter (SOM) and nutrient cycling. In *An introduction to agroforestry: Four decades of scientific developments* (pp. 383-411). Cham: Springer International Publishing.

Pérez-Hernández, V. M., López-Ortiz, S., Pérez-Elizalde, S., Pérez-Hernández, P., Castillo-Gallegos, E., & Jarillo-Rodríguez, J. (2024). Effect of tree shade on behavior and haircoat temperature of grazing dual-purpose cows in a hot and humid tropical environment. Agroforestry Systems, 98(1), 165-178.

Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (2000). The rhizosphere as a site of biochemical interactions among soil components, plants, and microorganisms. In The rhizosphere (pp. 17-34). CRC press.

Rehman, S. U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. Agronomy, 13(4), 1134.

Ripamonti, A., Finocchi, M., Pulina, A., Franca, A., Seddaiu, G., Turini, L., ... & Mantino, A. (2025). Effects of tree presence on forage yield and nutritive value in agroforestry livestock systems: a global systematic review: A. Ripamonti et al. *Agroforestry Systems*, *99*(5), 110.Zhang, J., Thomas, B. W., Chang, X., Huang, R., Wang, M., Shı, X., & Zhang, Y. (2025). Phosphorus cycling genes, enzyme activities and microbial communities shift based on green manure residues and soil environment. Pedosphere.

Sarvade, S., Agrawal, S. B., Bajpai, R., Thakur, R. K., & Shrivastava, A. (2026). Integrated nutrient management practices in agroforestry. International Journal of Bio-resource and Stress Management, 16(1), 01-17.

Tecimen, H. B. (2025). Assessing Land Suitability for Agroforestry. Assessing Land Suitability for Agroforestry, Tennessee State University, USA.

Zia-ur-Rehman, M., Murtaza, G., Qayyum, M. F., Saifullah, Rizwan, M., Ali, S., ... & Khalid, H. (2016). Degraded soils: origin, types and management. In Soil science: Agricultural and environmental prospectives (pp. 23-65). Cham: Springer International Publishing.

Zuazo, V. H. D., Pleguezuelo, C. R. R. (2009). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. Sustainable agriculture, 785-811).

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

İNŞAAT PROJELERINDE ŞANTİYE DÜZENİ PLANLAMASI (SLP) VE TASARIMLA GÜVENLİĞİN (SBD) İŞÇİ GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: KARMA YÖNTEMLİ PROTOKOL VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ PLANI

Abd Elghafour ATMANI

Doktora Öğrencisi, İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-1107-1052

Redvan GHASEMLOUNIA

Doç.Dr., İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı, İstanbul, Türkiye, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1796-4562

ÖZET

İnşaat sektörü, küresel ölçekte ekonomik büyümenin temel itici güçlerinden biri olmasına rağmen, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından en yüksek risk seviyesine sahip sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre, dünya genelinde meydana gelen iş kazalarının önemli bir bölümü inşaat sektöründe gerçekleşmektedir (ILO, 2022). İnşaat projelerinde iş kazalarının nedenleri incelendiğinde, bu kazaların yalnızca saha uygulamalarından değil, aynı zamanda tasarım ve planlama süreçlerinde alınan kararlarla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Behm (2005), inşaat kazalarının önemli bir kısmının tasarım aşamasındaki eksikliklerden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda geliştirilen Tasarımda Güvenlik (Safety by Design – SbD) yaklaşımı, risklerin proje yaşam döngüsünün erken aşamalarında ortadan kaldırılmasını hedeflemektedir. SbD yaklaşımı, güvenliği sonradan eklenen bir unsur olmaktan çıkararak tasarım sürecinin temel bir bileşeni haline getirmektedir (Gambatese & Rajendran, 2009). Öte yandan, Şantiye Düzeni Planlaması (Site Layout Planning – SLP), saha organizasyonunun güvenlik açısından optimize edilmesini sağlayan kritik bir planlama aracıdır. SLP uygulamaları, ekipman yerleşimi, malzeme akışı ve işçi hareketlerinin düzenlenmesi yoluyla iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Elbeltagi & Dawood, 2011). Ancak literatür incelendiğinde, SbD ve SLP yaklaşımlarının çoğunlukla ayrı ayrı ele alındığı, bu iki sistem arasındaki etkileşimin ise sınırlı düzeyde incelendiği görülmektedir (Zhou et al., 2012). Bu durum, tasarım ve saha planlama süreçleri arasında bir kopukluk oluşturmakta ve iş güvenliği performansını olumsuz etkilemektedir. Geleneksel güvenlik yönetimi yaklaşımları genellikle reaktif olup, kazalar meydana geldikten sonra müdahale etmeye odaklanmaktadır. Oysa modern güvenlik yaklaşımları, risklerin önceden belirlenmesini ve ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir (Reason, 2016).Bu doğrultuda, bu çalışmanın temel amacı, Tasarımda Güvenlik (SbD) ve Şantiye Düzeni Planlaması (SLP) uygulamalarının işçi güvenliği üzerindeki etkisini karma yöntemli bir araştırma yaklaşımı ile analiz etmek ve bu ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya koymaktır.

Bu amaç kapsamında çalışma:

-SbD ve SLP uygulamalarının iş güvenliği performansı üzerindeki etkisini nicel verilerle test etmekte,

-Dijital teknolojilerin (BIM, VR) bu ilişki üzerindeki rolünü incelemekte,

-Nitel veri analizi ile saha uygulamalarını derinlemesine değerlendirmektedir.

Araştırma, açıklayıcı sıralı karma yöntem (explanatory sequential design) yaklaşımı ile tasarlanmıştır (Creswell & Plano Clark, 2018). İlk aşamada anket verileri istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş, ikinci aşamada ise bu bulgular saha gözlemleri ve yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla yorumlanmıştır.

Genel olarak bu makale, inşaat projelerinde SbD ve SLP uygulamalarının işçi güvenliği performansına etkisini test etmek için tasarlanmış karma yöntemli çalışmanın protokolünü ve istatistiksel analiz planını sunar. Araştırma, mühendisler, proje yöneticileri, İSG uzmanları ve işçilerden toplanan anket verileri ile

derinlemesine görüşmelerin birleşimiyle yürütülecektir. Nicel bölümde Likert ölçekleri ile SbD uygulama düzeyi, SLP kalitesi ve BIM/VR entegrasyonu ölçülecek; Cronbach's alpha, korelasyon ve çoklu regresyon **($\Delta R = \beta 0 + \beta 1(SbD)+\beta 2(SLP)+\beta 3(BIM)+\epsilon$)** gibi tekniklerle hipotezler test edilecektir, Nitel bölümde tematik analiz yoluyla entegrasyon engelleri ve uygulama örnekleri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Tasarımda Güvenlik (SbD), Şantiye Düzeni Planlaması (SLP), İş Güvenliği Performansı, Karma Yöntem, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), Sanal Gerçeklik (VR).

THE IMPACT OF SITE LAYOUT PLANNING (SLP) AND SAFETY BY DESIGN (SBD) ON WORKER SAFETY IN CONSTRUCTION PROJECTS: A MIXED-METHODS PROTOCOL AND STATISTICAL ANALYSIS PLAN

ABSTRACT

The construction industry, while serving as a major driver of global economic growth, is widely recognized as one of the most hazardous sectors in terms of occupational health and safety (OHS). According to the International Labour Organization (ILO, 2022), a significant proportion of workplace accidents worldwide occur within the construction sector. An examination of construction-related accidents reveals that these incidents are not solely attributable to on-site practices but are also closely linked to decisions made during the design and planning phases. Behm (2005) demonstrated that a substantial portion of construction accidents originates from deficiencies in the design stage. In this context, the Safety by Design (SbD) approach has emerged as a proactive strategy aimed at eliminating risks during the early stages of the project lifecycle. SbD transforms safety from a reactive add-on into an integral component of the design process (Gambatese & Rajendran, 2009). On the other hand, Site Layout Planning (SLP) represents a critical planning tool that optimizes site organization from a safety perspective. SLP contributes to accident prevention through the systematic arrangement of equipment, material flows, and worker movements (Elbeltagi & Dawood, 2011). However, existing literature indicates that SbD and SLP are predominantly examined in isolation, with limited attention given to their interaction (Zhou et al., 2012). This disconnection between design and site planning processes negatively affects overall safety performance. Furthermore, traditional safety management approaches tend to be reactive, focusing on post-incident responses, whereas contemporary approaches emphasize proactive risk identification and elimination (Reason, 2016). Accordingly, the primary aim of this study is to analyze the impact of SbD and SLP practices on worker safety performance using a mixed-methods research approach and to statistically examine the relationships among these variables. Within this framework, the study: empirically tests the effects of SbD and SLP practices on safety performance using quantitative data, investigates the role of digital technologies (BIM and VR) in this relationship, and provides an in-depth evaluation of site practices through qualitative analysis. The research is designed using an explanatory sequential mixed-methods approach (Creswell & Plano Clark, 2018). In the first phase, survey data are analyzed using statistical techniques, while in the second phase, the findings are interpreted through site observations and semi-structured interviews.

This paper presents the research protocol and statistical analysis plan of the mixed-methods study designed to evaluate the impact of SbD and SLP on worker safety performance in construction projects. The study integrates survey data collected from engineers, project managers, OHS professionals, and workers with in-depth interviews. In the quantitative phase, SbD implementation level, SLP quality, and BIM/VR integration are measured using Likert scales, and hypotheses are tested using techniques such as Cronbach's alpha, correlation analysis, and multiple regression **($\Delta R = \beta_0 + \beta_1(SbD) + \beta_2(SLP) + \beta_3(BIM) + \varepsilon$).** In the qualitative phase, thematic analysis is employed to examine integration barriers and practical implementation cases. The paper provides a comprehensive description of data collection instruments, sampling strategy, and ethical procedures.

Keywords: Safety by Design (SbD), Site Layout Planning (SLP), Occupational Safety Performence, Mixed Methods, Building Information Modeling (BIM), Virtual Reality (VR).

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ENHANCING THE DYEING PERFORMANCE AND COLOR PROPERTIES OF WOOL FABRICS USING METALLIC AND BIO-MORDANTS WITH ACID DYES

Murat Ayberk BARAN

Bursa Uludağ University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Textile Engineering, Bursa, Turkey, ORCID NO: 0009-0007-8448-7942

Prof. Dr. Behçet BECERİR

Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Bursa, Turkey

ORCID NO: 0000-0002-2655-2773

ABSTRACT

In the textile industry, wool fabrics are conventionally dyed with acid and metal-complex dyes at temperatures up to 105°C within a pH range of 2–7. While synthetic tannins (syntans) are commonly used post-dyeing to improve wet fastness, they often fail to provide the desired stability. This study investigates an alternative approach, the use of metallic mordants such as Zinc Sulfate and Ferrous Sulfate and a bio-mordant (Tannic Acid) to create insoluble complexes within the fiber. Unlike traditional metal-complex dyes, this method focuses on forming ionic and coordinate bonds between the acid dye molecules and mordant salts via three distinct techniques: pre-mordanting, meta mordanting, and post-mordanting. The results were evaluated based on L*, a*,b*,C*, and h° color coordinates. The experimental results suggest that metallic mordants significantly improve dye exhaustion and wet fastness by neutralizing the dye's hydrophilicity within the fiber structure.

Keywords: wool, acid dyes, CIELAB, color fastness, mordants,

INSTRODUCTION

Wool is a natural protein fiber characterized by its complex amphoteric nature, possessing both amino ($-NH_2$) and carboxyl (-COOH) functional groups within its keratin structure (Lewis & Rippon, 2013). Under acidic conditions, typically within a pH range of 2–7, the fiber undergoes protonation, resulting in a net positive charge (NH_3^+) that facilitates the adsorption of anionic acid dye molecules via strong electrostatic or ionic bonds (Choudhury, 2014; Burkinshaw, 2016). Acid dyes are traditionally classified based on their molecular size and affinity into leveling, milling, and super-milling categories (Gohl & Vilensky, 1983). While leveling dyes offer excellent migration and uniformity, their relatively small molecular size leads to poor wet fastness; conversely, larger milling and super-milling dyes provide better fastness but present challenges in achieving level shades (Woolwise, 2017).

To address fastness limitations, the industry has historically relied on pre-metallized dyeswhere chromium or other transition metals are complexed with the dye molecule during manufacturing or the post-dyeing application of synthetic tannins, known as "syntans" (Lewis & Rippon, 2013). However, conventional syntan treatments primarily fix dye molecules on the fiber surface or just beneath the cuticle, often failing to penetrate the fiber core or form stable ionic cross-links (Saxena & Raja, 2014). This surface-level fixation results in inconsistent improvements in wash fastness, particularly for dyes that rely on weaker Van der Waals or hydrogen bonding (Burkinshaw, 2016). Furthermore, while metal-complex dyes (1:1 and 1:2 ratios) offer high durability, their application parameters are critical, and they may lack the specific fiber-mordant-dye coordination necessary for maximum exhaustion in modern textile processes (Perkins, 1996).

This study explores a novel application of metallic and bio-mordants specifically Zinc Sulphate, Ferrous Sulfate Heptahydrate, and Tannic Acid directly within the acid dyeing cycle of wool. The proposed mechanism involves the formation of an "insoluble lake" inside the fiber structure (Ellis Textiles, 2016).

By introducing metallic ions (Zn^{2+} or Fe^{2+}), the negative charge of the acid dye molecule is neutralized through coordination with the metal cation, which simultaneously anchors itself to the carboxyl groups of the wool keratin (Jabar et al., 2023). This dual-bonding approach (ionic and coordinate) aims to transform soluble dye molecules into water-insoluble complexes, thereby significantly enhancing wet fastness beyond what is achievable with surface-acting syntans (Pisitsak et al., 2018).

The efficiency of these mordanting techniques pre-mordanting, meta mordanting, and post-mordanting is evaluated through comprehensive colorimetric analysis. By utilizing the CIE L*,a*,b*,C* and h° color space, the research quantifies changes in lightness (L*), chromaticity (C*), and hue (h°), providing a precise understanding of how different metallic salts alter the visual and structural properties of the dyed wool (ResearchGate, 2019; SAPUB, 2014).

MATERIAL AND METHODS

A 100% wool gabardine woven fabric with a yarn count of 60/2 and a weight of 280 g/m² was utilized as the substrate for all dyeing experiments. A black acid dye unkown C.I was selected for the coloration process. Three different chemicals were employed as mordanting agents. Zinc Sulphate [$ZnSO_4$] and Ferrous Sulfate Heptahydrate [$FeSO_4 \cdot 7H_2O$] and a bio mordant Tannic Acid [$C_{76}H_{52}O_{46}$].To maintain chemical stability and ensure consistent dyeing conditions, the pH of the dye baths was adjusted and maintained at 5 using acetic acid.

The dyeing processes were carried out at a dye concentration of 1% owf (on weight of fabric), while the concentration for all metallic and bio-mordant salts was kept constant at 0.1% owf. The dyeing cycle reached a maximum temperature of 105°C and was sustained for a total duration of 60 minutes. Three distinct mordanting methodologies were applied to investigate the interaction between the fiber, dye, and mordant:

Pre-mordanting: The metallic or bio-mordant was first introduced into the dyeing solution. After a specific interval, the acid dye was added to the bath to complete the process.

Meta Mordanting: The acid dye was introduced into the bath first, followed immediately by the addition of the mordant salt, allowing the dye and mordant to interact concurrently during the heating cycle.

Post-mordanting: The fabric was initially treated with the acid dye. The metallic or bio-mordant was added to the solution at a later stage of the dyeing process to fix the dye molecules within the fiber structure.

RESULTS AND DISCUSSION

Following the dyeing and mordanting procedures, the colorimetric properties of the samples were evaluated. The color coordinates, including lightness (L*), redness/greenness (a*), yellowness/blueness (b*), chroma (C*), and hue angle (h°), were calculated to analyze the influence of each mordanting method and salt type on the final color yield.

Table 1. CIELAB values for dyeing with different mordant and different mordant method

Mordanting Method	Mordant Type	Fastness Type	L*	a*	b*	C*	h°
Blind Dyeing	No	No	14.50	1.24	-1.28	1.78	313.86
Blind Dyeing	No	Wash	18.23	0.90	-0.82	1.22	318.04
Blind Dyeing	No	Light	19.49	0.75	-0.61	0.97	321.1

Pre-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	No	11.21	0.40	-0.31	0.51	323.07
Pre-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Wash	11.53	0.30	-2.58	2.60	324.52
Pre-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Light	11.79	3.01	-0.21	3.02	326
Pre-Mordanting	$ZnSO_4$	No	14.18	0.84	-1.15	1.42	306.12
Pre-Mordanting	$ZnSO_4$	Wash	14.78	0.71	-1.03	1.25	305.2
Pre-Mordanting	$ZnSO_4$	Light	15.22	0.65	-0.92	1.13	305.41
Pre-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	No	13.91	1.10	-0.74	1.33	325.8
Pre-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Wash	14.42	1.48	-0.65	1.62	325.13
Pre-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Light	14.68	0.85	-0.54	1.01	327.4
Meta-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	No	12.48	1.12	-0.59	1.27	315.84
Meta-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Wash	13.09	0.52	-0.51	0.73	315.5
Meta-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Light	13.52	0.57	-0.44	0.72	315.89
Meta-Mordanting	$ZnSO_4$	No	14.39	1.98	-1.24	2.34	308.21
Meta-Mordanting	$ZnSO_4$	Wash	15.12	1.14	-1.12	1.60	306.07
Meta-Mordanting	$ZnSO_4$	Light	15.58	0.74	-1.01	1.25	306.2
Meta-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	No	14.07	1.14	-0.91	1.46	322.45
Meta-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Wash	14.88	1.01	-0.76	1.26	323.01
Meta-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Light	15.39	1.02	-0.64	1.20	324.6
Post-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	No	12.82	0.94	-0.78	1.22	311.6
Post-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Wash	13.61	0.61	-0.69	0.92	310.42
Post-Mordanting	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Light	13.94	0.52	-0.64	0.82	310.8
Post-Mordanting	$ZnSO_4$	No	14.41	0.78	-1.26	1.48	298.53
Post-Mordanting	$ZnSO_4$	Wash	15.28	0.54	-1.12	1.24	295.9
Post-Mordanting	$ZnSO_4$	Light	15.79	0.50	-1.01	1.13	296.44
Post-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	No	14.22	1.14	-1.10	1.58	316.2
Post-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Wash	14.99	1.02	-0.91	1.37	318.15
Post-Mordanting	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Light	15.424	0.91	-0.82	1.22	318

This study evaluates the influence of different mordanting methods (Pre, Meta, and Post) and various mordant types ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $ZnSO_4$, and Tannic Acid) on the colorimetric properties and fastness resistance of 100% wool gabardine fabric dyed with a black acid dye. The L* value is a critical indicator of color depth in textile coloration; lower values represent deeper shades. The blind dyed sample, yielded an L* value of 14.50 without the use of mordants. Ferrous Sulfate ($FeSO_4$), gives the most significant color deepening was observed with Pre-mordanting + Ferrous Sulfate, reaching a minimum L* value of 11.21. This "saddening" effect occurs because iron ions (Fe^{+2}) form stable coordinate bonds with the wool fiber and the acid dye molecules, creating metal-complex "lakes" that maximize light absorption. For a high-quality black shade, the Chroma (C*) should remain close to the neutral axis (zero). Most mordanted samples exhibited C* values between 0.51 and 2.34, confirming the achievement of a deep, matte black without unwanted vividness. The sequence of mordant application played a vital role in the penetration and fixation of the dye within the 60/2 wool yarn structure.

Pre mordanting method proved most effective for Ferrous Sulfate both and Tannic Acid. Saturating the wool's protonated amino groups with metal ions prior to dyeing allowed for immediate and uniform fixation of the anionic dye.

Meta mordanting method is efficient, this method showed slightly higher C* values, likely due to some dye-mordant complexation occurring in the dyebath rather than inside the fiber matrix.

Post mordanting method is primarily acted as a surface fixation treatment, with L* values remaining closer to the blind dyed sample. For wash fastness results the blind dyed sample showed poor stability, with the L* value rising from 14.50 to 18.23 after washing, indicating significant dye leaching. In contrast, the Pre-mordanted Iron sample exhibited exceptional resistance, with an L* shift of only 0.32 units (from 11.21 to 11.53), proving that the metallic complex prevents dye dissociation in aqueous solutions. For light fastness samples treated with Tannic Acid and Ferrous Sulfate showed the highest resistance to UV-induced fading. While the control sample's b* value shifted toward the yellow axis, the mordanted samples maintained more stable chromatic coordinates.

The experimental data indicates that for 60/2 wool gabardine fabric, the Pre-mordanting method with Ferrous Sulfate provides the most superior technical results, achieving both the deepest black shade and the highest washing/light stability. Tannic Acid serves as a competitive green alternative, significantly outperforming non-mordanted dyeing in terms of durability and color depth. Ultimately, the use of mordants is essential for industrial-grade wool coloration at pH 5 and 105 C° to ensure the longevity and quality of the black acid dye.

REFERANCES

Burkinshaw, S. M. (2016). Physico-chemical Aspects of Textile Coloration. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118736449

Choudhury, A. K. R. (2014). Principles of Textile Dyeing. Woodhead Publishing.

Ellis Textiles. (2016, February). Natural Dye: Experiments and Results. https://blog.ellistextiles.com/2016/02/

Gohl, E. P. G., & Vilensky, L. D. (1983). Textile Science: An Explanation of Fibre Properties. CBS Publishers & Distributors.

Jabar, J. M., et al. (2023). Moringa and neem bark as bio-mordants in dyeing wool with cocoa fibers. Chemistry & Biodiversity. https://doi.org/10.1002/cbdv.202300123

Lewis, D. M., & Rippon, J. A. (2013). The Coloration of Wool and Other Keratin Fibres. John Wiley & Sons.

Pisitsak, P., et al. (2018). Tannins as natural mordants for color fixation in textile fibers. Journal of Cleaner Production, 174, 1500-1510.

Saxena, S., & Raja, A. S. M. (2014). Natural dyes: Sources, chemistry, and applications. In Textile Science and Clothing Technology. Springer.

Woolwise. (2017). Dyeing Methods for Wool. Australian Wool Education Trust. https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/05/02.2-Dyeing-Methods-for-Wool-Notes.pdf

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MEKÂN TASARIM ÖLÇÜTLERİNİN YENİDEN TANIMLANMASI: TARİHSEL BİRİKİM VE GÜNCEL EĞİLİMLER

REDEFINITION OF SPATIAL DESIGN CRITERIA: HISTORICAL BACKGROUND AND CONTEMPORARY TRENDS

Nuriye AK

Yüksek Lisans Öğrencisi, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Ensitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-7704-6322

Prof. Dr. Deniz DEMİRARSLAN

Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7817-5893

ÖZET

Mekân kavramı, mimarlık disiplininin temel unsuru olarak hizmet eder ve tarih boyunca çeşitli teorik yaklaşımlar aracılığıyla yeniden tanımlanmıştır. Mekân; fiziksel özellikler, kullanıcı deneyimi, algı, kültürel bağlam ve toplumsal ilişkiler ile anlam kazanan bir yapı olarak ele alınmaktadır. Mimarlık tarihi boyunca değişen düşünsel yaklaşımlar, toplumsal koşullar, teknolojik gelişmeler ve estetik anlayışlar mekânın tanımlanış biçimini etkilemiştir. Bu doğrultuda mekân kavramı, her dönemde farklı tasarım ölçütleri ve mimari yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmada mekân kavramının tarihsel süreç içerisindeki değişimi; Antik Dönem, Rönesans ve Klasik Dönem, Modernizm ve Çağdaş Dönem başlıkları altında incelenmiş, dönemlere göre mekânsal yaklaşımlar ve tasarım ölçütleri değerlendirilmiştir.

Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş olup veri toplama sürecinde literatür taraması yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında birincil ve ikincil kaynaklar doğrultusunda Vitruvius, Alberti, Palladio, Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, Norberg-Schulz ve Francis D.K. Ching gibi kuramcıların mekân ve mimarlık üzerine geliştirdikleri görüşler incelenmiştir. Kuramcıların mekâna ilişkin yaklaşımları dönemsel bağlam içerisinde değerlendirilmiş, mekân anlayışının tarihsel süreçte nasıl değiştiği analiz edilmiştir. Araştırmada farklı dönemlerde ortaya çıkan mekân anlayışlarının ortak ve ayrışan yönleri incelenmiş, tasarım ölçütlerinin düşünsel altyapı ile ilişkisi ortaya konulmuştur.

Araştırma bulgularına göre Antik Dönem'de mekân; oran, simetri, düzen, işlev, sağlık ve çevresel uyum ilkeleri doğrultusunda tanımlanmıştır. Bu dönemde mimarlıkta geometrik düzen, yapısal denge ve işlevsel bütünlük önemli bir yer tutmuştur. Vitruvius'un ortaya koyduğu sağlamlık, kullanışlılık ve güzellik ilkeleri mekân anlayışının temelini oluşturmuştur. Rönesans ve Klasik Dönem'de estetik bütünlük, insan ölçeği, ritim, perspektif, doku ve algısal düzen ön plandadır. İnsan merkezli tasarım anlayışı, matematiksel oranlar ve görsel uyum bu dönemin temel yaklaşımları arasında yer almıştır.

Modernizm döneminde mekân anlayışı; işlevsellik, yalınlık, standartlaşma, sanayileşme ve teknolojik üretim doğrultusunda yeniden ele alınmıştır. Açık plan kurgusu, mekânsal süreklilik, fonksiyonel çözümler ve rasyonel tasarım anlayışı modern mimarlığın temel ölçütleri arasında değerlendirilmiştir.

Çağdaş mimarlık yaklaşımlarında mekân; fiziksel, işlevsel, deneyimsel, algısal ve anlamsal boyutlar üzerinden değerlendirilmektedir. Kullanıcı deneyimi, kimlik, aidiyet, atmosfer ve yer duygusu kavramları çağdaş mekân anlayışında önemli bir yer tutmaktadır. Sonuç olarak çalışma, mekân kavramının mimarlık tarihinde farklı dönemlerde değişen düşünsel yaklaşımlar doğrultusunda yeniden yorumlandığını ve tasarım ölçütlerinin dönemsel koşullara bağlı olarak biçimlendiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İç mimarlık, mekân, tasarım ölçütleri, tarihsel birikim, insan ölçeği.

ABSTRACT

The concept of space serves as a fundamental element of the discipline of architecture and has been redefined throughout history through various theoretical approaches. Space is considered as a structure that gains meaning through physical characteristics, user experience, perception, cultural context, and social relations. Throughout the history of architecture, changing intellectual approaches, social conditions, technological developments, and aesthetic understandings have influenced the way space has been defined. Accordingly, the concept of space has been evaluated within the framework of different design criteria and architectural approaches in each historical period. In this study, the transformation of the concept of space throughout history was examined under the titles of the Ancient Period, the Renaissance and Classical Period, Modernism, and the Contemporary Period, and spatial approaches and design criteria specific to each period were evaluated.

The study adopted a qualitative research method, and the literature review method was used during the data collection process. Within the scope of the research, the views on space and architecture developed by theorists such as Vitruvius, Alberti, Palladio, Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, Norberg-Schulz, and Francis D.K. Ching were examined through primary and secondary sources. The theorists' approaches to space were evaluated within their historical contexts, and the transformation of the understanding of space throughout history was analyzed. The study also examined the common and differing aspects of spatial understandings that emerged in different periods and revealed the relationship between design criteria and their intellectual background.

According to the research findings, space in the Ancient Period was defined through the principles of proportion, symmetry, order, function, health, and environmental harmony. During this period, geometric order, structural balance, and functional integrity held an important place in architecture. The principles of firmness, utility, and beauty proposed by Vitruvius formed the basis of the understanding of space. In the Renaissance and Classical Period, aesthetic unity, human scale, rhythm, perspective, texture, and perceptual order came to the forefront. Human-centered design understanding, mathematical proportions, and visual harmony were among the main approaches of this period.

In the Modernist period, the understanding of space was reconsidered through functionality, simplicity, standardization, industrialization, and technological production. Open-plan organization, spatial continuity, functional solutions, and rational design approaches were evaluated among the main criteria of modern architecture.

In contemporary architectural approaches, space is evaluated through physical, functional, experiential, perceptual, and semantic dimensions. Concepts such as user experience, identity, belonging, atmosphere, and sense of place hold an important position in the contemporary understanding of space. As a result, the study reveals that the concept of space has been reinterpreted throughout the history of architecture in line with changing intellectual approaches and that design criteria have been shaped according to the conditions of each historical period.

Keywords: Interior architecture, space, design criteria, historical accumulation, human scale.

1.GİRİŞ

Mekân kavramı, mimarlık disiplininin temelini oluşturan ve tarihsel süreç boyunca farklı dönemlerde değişen kuramsal yaklaşımlarla yeniden tanımlanan çok katmanlı bir olgudur. Mekân insanın algısı, deneyimi, kültürel bağlamı ve toplumsal ilişkileriyle anlam kazanan dinamik bir yapı olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda mimarlık tarihi incelendiğinde Antik Dönem'den günümüze kadar mekânın; oran, düzen, işlev, estetik, insan ölçeği, çevresel uyum ve deneyim gibi farklı tasarım ölçütleri üzerinden

şekillendiği görülmektedir. Dolayısıyla mekân, mimari düşüncenin hem kuramsal hem de pratik düzlemde merkezinde yer alan temel bir kavramdır.

Bu çalışmanın amacı, Antik Dönem, Rönesans ve Klasik Dönem, Modernizm ve Çağdaş Dönem başlıkları altında mekân kavramının nasıl tanımlandığını ve bu dönemlerde hangi tasarım ölçütleri üzerinden biçimlendirildiğini incelemek; ayrıca bu ölçütlerin tarihsel süreklilik ve değişim ilişkisi içerisinde nasıl dönüştüğünü ortaya koymaktır. Bununla birlikte çalışma, çağdaş mimarlık yaklaşımlarına zemin hazırlayan kuramsal gelişmeleri analiz ederek mekân kavramının günümüz tasarım düşüncesine etkisini değerlendirmeyi de hedeflemektedir.

Çalışmanın kapsamı, mimarlık kuramı içerisinde mekânı doğrudan etkileyen temel dönemlerle sınırlandırılmıştır. Bu doğrultuda Antik Dönem'de Vitruvius'un kuramsal yaklaşımı, Rönesans ve Klasik Dönem'de Alberti, Palladio ve Roth gibi düşünürlerin katkıları ve Modernizm döneminde Le Corbusier, Wright ve Norberg-Schulz gibi isimlerin mekân anlayışları ele alınmaktadır. Ayrıca çağdaş yaklaşımlara geçiş sürecinde mekânın algısal, deneyimsel ve kullanıcı odaklı boyutları da değerlendirme kapsamına dâhil edilmektedir.

Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş olup, literatür taraması esas alınmıştır. Birincil ve ikincil kaynaklar üzerinden yapılan incelemelerle mekân kavramına ilişkin kuramsal metinler analiz edilmiş, dönemsel mimarlık yaklaşımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, mekân kavramının mimarlık tarihindeki gelişimini tasarım ölçütleri üzerinden ele alarak, farklı dönemlerin mekân anlayışları arasındaki süreklilik ve dönüşüm ilişkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. MEKÂN KAVRAMI

Mekân, Türk Dil Kurumu'na göre bulunulan yer;

"İş yeri, buluşma yeri gibi belli bir amaca ayrılmış alan; eskimiş anlamıyla ev ve uzay olarak tanımlanmaktadır." (TDK, t.y.).

Mekân olgusu, farklı sanat disiplinlerinde çeşitli biçimlerde temsil edilmekle birlikte, bu disiplinlerin her birinde aynı düzeyde belirleyici bir role sahip değildir. Resim sanatında çizgi, edebiyatta sözcük ve müzikte nota temel ifade araçları olarak kabul edilirken, mimarlık disiplininin temel bileşenini mekân oluşturmaktadır. Mimarlık, mekân oluşturma pratiği üzerinden tanımlanmaktadır. Mimarlık kuramına önemli katkılar sunan Le Corbusier, mimarlık ve şehircilik disiplinlerini insan odaklı bir hizmet alanı olarak değerlendirmiş; bu disiplinlerin bireylerin düşünsel ve maddesel ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte olması gerektiğini vurgulamıştır (Corbusier, 1993; akt. Usta, 2020).

Mimari mekân olan bina, toplumun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, dönemin yapım teknikleri ve kullanılan malzemeler ile fiziksel çevrenin belirli sınırlar içerisine alınmasıyla meydana gelir. İnsanların mekânı tanımlaması, belirli bir alanı ayırması ve ona sınırlar kazandırması, mimari mekânın ortaya çıkmasında temel rol oynar. Bu süreç sonucunda mekân, kullanıcı tarafından algılanabilen, deneyimlenebilen ve anlam kazanabilen bir nitelik kazanır (Altan, 2012).

İnsanların yaşamsal gereksinimleri için oluşturan bu sınırlı oluşumlar tüm duygular yardımıyla algılanır, deneyimlenir. Bu süreçte dokunsal, kokusal, işitsel ve ışıksal özellikler mekânın algısını şekillendirir.

> *Mekânı gerçekleştiren elemanlar, içindeki nesne ve insandır. Mekânın içine birçok referans noktası yerleştiren Lefebvre, bize mekânın edilgen bir geometri olmadığına işaret eder. Bu bağlamda mekân, bir yanda mekânla temas halinde olan beden ve (beden üzerinden) mekânla ilişki kuran, onu sahiplenen, ona anlamlar ve duygular yükleyen 'ben', diğer yanda mekânla birebir ilişki kuran nesne aracılığıyla anlam kazanır. Gerek yerleşim alanı olarak gerekse bir etkilenme alanı olarak varlığını sürdüren mekân, aynı zamanda içindekileri de biçimlendiren bir etkiyle konumunu netleştirir (Mulla,2021 s.314).*

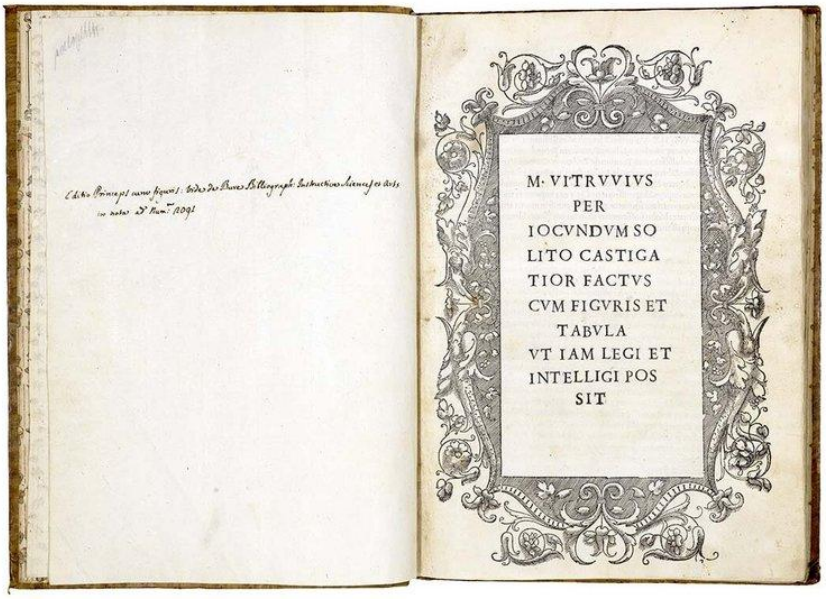
Modern mimaride mekânın algısı, geleneksel mimari yaklaşımlardan farklı özellikler göstermektedir. Modern anlayışta işlevsellik ve barınma gereksinimi ön plana çıkarken, geleneksel mekân kavramı bireyin yaşam deneyimiyle bütünleşen, aidiyet duygusunu destekleyen ve huzur sağlayan bir çevre olarak tanımlanmaktadır (Altınsoy, 2022).

Günümüzde mekân, fiziksel sınırlarla çevrelenmiş bir boşluk olarak tanımlanmamaktadır. Mekân üzerine geliştirilen kuramsal yaklaşımlar, bu kavramın algılanış biçimini değiştirmiş ve mimarlık disiplininin mekâna bakışını etkilemiştir. İnsan eylemlerinin gerçekleştiği bir çevre olarak değerlendirilen mekân, mimarlıkta insan ve çevre arasındaki ilişkinin bir ürünü olarak ele alınmaktadır (Özçakı, 2017).

3. MEKÂN KURAMLARI

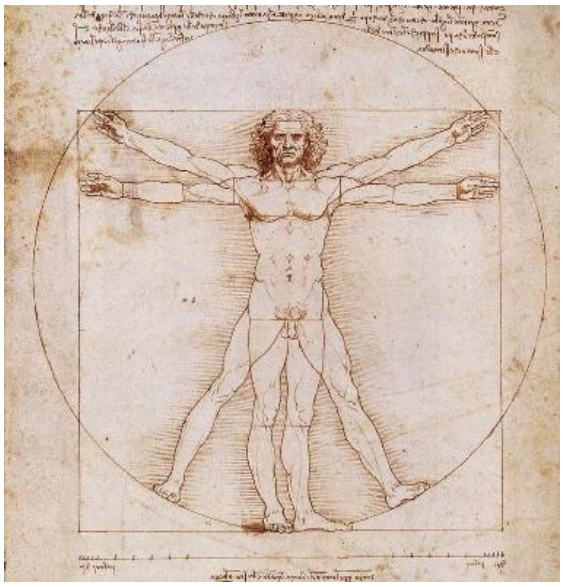
3.1. Antik Dönem

Antik Dönem mimarlık kuramının temel kaynaklarından biri olan Vitruvius'un *De Architectura* adlı eseri incelendiğinde (Şekil 1), mimarlığın yalnızca yapı üretme pratiği olarak değil; düzen, oran, işlev, sağlık, çevre ve estetik gibi çok yönlü ilkeler çerçevesinde ele alındığı görülmektedir. Özellikle Vitruvius tarafından ortaya konulan bu yaklaşım, mekânın biçimlenmesinde belirli tasarım ölçütlerinin esas alındığını göstermektedir.



Şekil 1. Vitruvius'un *De Architectura* eserinin başlık sayfası (Benjamin Spademan, t.y.).

Vitruvius, mimarlığı "düzenleme, tasarım, ahenk, simetri, uygunluk ve dağıtım" kavramları üzerinden açıklamaktadır. "Düzenleme, bir yapının ayrı ayrı her elemanını doğru orantılama ve yapının toplam ebadıyla simetrik olarak kıyaslamadır." (Vitruvius,2017 s.32) ifadesiyle, Antik Dönem mimarisinde ilk temel tasarım ölçütünün oran ve düzen olduğu anlaşılmaktadır. Yapıyı oluşturan parçaların belirli bir sistem içerisinde değerlendirilmesi, mekânın rastlantısal değil, matematiksel ve bütüncül bir anlayışla tasarlandığını göstermektedir.



Şekil 2. Vitruvius Adamı, 1490 dolayları, Gallerie dell'Accademia, Venice, İtalya (pivada, t.y.).

Vitruvius'un ortaya koyduğu insan vücudu oranları, Rönesans döneminden itibaren birçok sanatçı tarafından görselleştirilmiştir (Şekil 2). Bu çalışmalar arasında en tanınanı Leonardo da Vinci'nin çizimi olarak kabul edilmektedir (pivada, t.y.). Da Vinci'nin eserinde insan bedeninin merkezi göbek deliği olarak gösterilmiş, iki yana açılan kolların oluşturduğu uzunluğun kişinin boyuna eşit olduğu vurgulanmıştır. Antik Yunan sanatında da insan bedenindeki oranlar önemli bir ölçüt olarak değerlendirilmiş ve heykel yapımında baş bölümü temel birim olarak kullanılmıştır. Michelangelo'nun *Davud* heykeli de söz konusu oranlara uygun biçimde tasarlanmış eserlerden biri olarak gösterilmektedir (Bülbül ve Seçkin, 2019).

Vitruvius'un "Dağıtım (distributio), kaynakların ve inşaat alanlarının doğru yönetimi..." (Vitruvius, 2017 s.35) şeklindeki açıklaması, ekonomik ve işlevsel planlamanın önemini vurgulamaktadır. Buradan hareketle, kaynakların verimli kullanılması, malzemenin bulunduğu bölgeye göre seçilmesi ve gereksiz maliyetten kaçınılması anlayışının da tasarım ölçütü olarak değerlendirildiği görülmektedir. Özellikle "Ocak kumunun bulunmadığı yerde nehirlerin ya da denizlerin getirdiği yıkanmış kumları kullanmak gerekir..." (Vitruvius,2017 s.35) ifadesi, yerel malzeme kullanımının önemsendiğini göstermektedir. Bu yaklaşım günümüzde sürdürülebilir mimarlık anlayışıyla da ilişkilendirilebilir.

Vitruvius'un en bilinen yaklaşımı olan "Yapılar sağlamlık, işlevsellik ve güzellik ilkesine uygun olmak zorundadır." (Vitruvius, 2017 s.36) ifadesi ise Antik Dönem mimarlığının temel kuramsal çerçevesini oluşturmaktadır. Sağlamlık; uygun temel sistemi ve doğru malzeme kullanımıyla, işlevsellik; mekân düzeninin kullanıma uygun olmasıyla, güzellik ise simetri ve oranla ilişkilendirilmektedir. Sağlamlık, işlevsellik ve estetik Antik Dönem'in temel tasarım ölçütleri olarak değerlendirilmektedir.

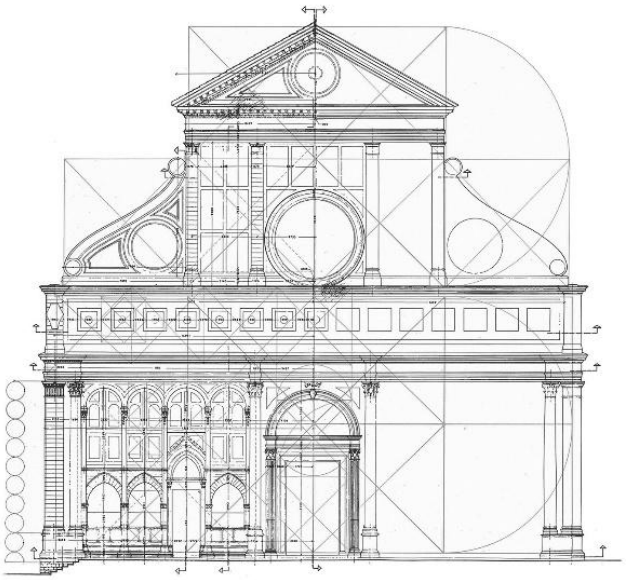
"Doğa insan bedenini, azaları ile tüm biçimi arasında orantılı bir ilişki olacak şekilde tasarlamışsa..." (Vitruvius, 2017 s.105) ifadesi, mimaride insan bedeninin temel referans kabul edildiğini göstermektedir. Aynı şekilde "Bütün yapılar için zorunlu olduğu açıkça anlaşılan ölçü düzenini de yine insan vücudunun azalarından hareketle geliştirdiler..." (Vitruvius, 2017 s.105) açıklaması, insan ölçeğinin mimari tasarımın temel belirleyicilerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak Antik Dönem mimarlığında; simetri, oran, düzen, işlevsellik, sağlamlık, estetik, çevresel uyum, iklimsel yönlenme, sağlık, yerel malzeme kullanımı, ekonomik verimlilik, sosyal statüye göre tasarım, mahremiyet, akustik düzen ve insan ölçeği tasarımın temel belirleyicileri olarak ele alınmıştır ve bu ilkeler Antik Dönem mimarlık anlayışını biçimlendirerek günümüz mimarlık kuramlarına yön veren kurucu tasarım ölçütlerini oluşturmuştur.

3.2. Rönesans ve Klasik Dönem

Vitruvius'un kendi deneyimiyle teorik ve uygulamaya dair, yaşadığı döneme ait kurallar bütünü oluşturmaya çalıştığı, "De Architectura" (Mimarlık Üzerine) adlı el kitabının ardından, ilk kez mimarlık düşüncesinde, Klasik dönemde Floransalı mimar Leon Battista Alberti, "De Re Aedificatoria" (Mimarlık Üzerine) adlı çalışmasıyla geleceğin binalarının nasıl olması gerektiği konusunda kriterler sunmuş, o dönemde yapılagelen mimarlığa yönelik bir başka yaklaşımın mümkün olup olmayacağını sorgulamıştır. Alberti Antik Çağ'ın formları, oranları ve süslemeleri hakkındaki düşünceleri örnek alarak, hareket noktası olarak kullanmıştır (Görgül, 2000; Tanyeli, 2021; Stern, 1988; akt. Demir, 2023).

Rönesans döneminin önemli düşünür ve mimarlarından Leon Battista Alberti, Antik Çağ'dan devralınan mimari biçim ve ilkeleri dönemin yeni anlayışı doğrultusunda yorumlayarak sistemli bir yapıya kavuşturmuştur. Kaleme aldığı eserler ve gerçekleştirdiği yapılar aracılığıyla sonraki kuşak mimarları etkilemiş, Rönesans mimarlığının ortak bir dil kazanmasında önemli rol oynamıştır. Alberti'nin tasarımlarında Antik mimariye ait ögeler yeniden ele alınmış, bu ögeler yeni formlar içinde farklı anlamlar ve işlevler kazanmıştır. Saray ve kilise cephelerinde geliştirdiği yaklaşımlar, Rönesans mimarlığının biçimsel gelişimine yön vermiş ve sonraki tasarımlar için örnek oluşturmuştur. Antik mimari unsurları belirli bir anlayış çerçevesinde yeniden yorumlayan Alberti, mevcut elemanları yeni düzenlemelere uyarlayarak farklı kullanım biçimleri ortaya koymuş, bu yönüyle mimarlık tarihinde etkili ve yenilikçi isimlerden biri olarak öne çıkmıştır (Şekil 3) (Demir Yiğit ve Urfalıoğlu, 2022).

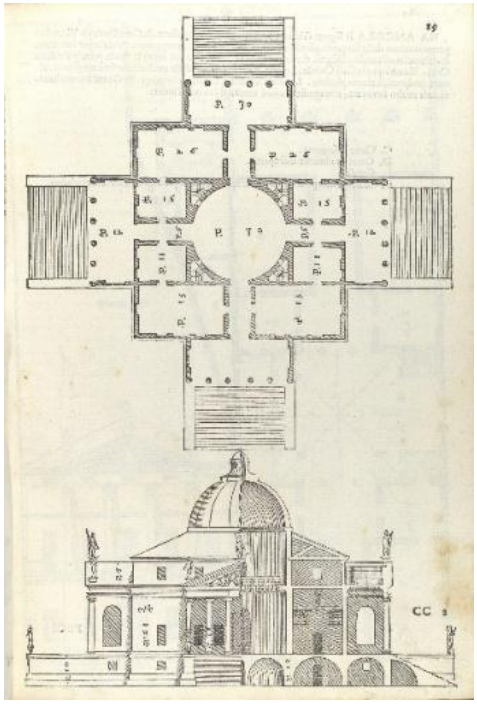


Şekil 3. Leon Battista Alberti, Santa Maria Novella cephesi oran analizi (harmonik oranlar ve müzikal ritim ilişkisi) (Espazium, 2015).

Palladio, Vitruvius'un düşüncelerinden ve Antik Roma ile Yunan mimarisinden etkilenmiştir. Tasarımlarında bu mimari geleneğin izleri görülmektedir. Çeşitli kilise, saray ve kamu yapıları tasarlamış, ancak kırsal alanda inşa ettiği villalar ve konutlar onun en çok tanınan ve örnek alınan eserleri olmuştur.

Andrea Palladio, Rönesans döneminde mimarlık alanında önemli bir yere sahip olmuş, tasarladığı yapılar kadar kuramsal çalışmalarıyla da etkili olmuştur. *Mimarlığın Dört Kitabı* (*I Quattro Libri dell'Architettura*) adlı eseri, yapı malzemeleri, sütun sistemleri, konut yapıları ve kamusal yapılar gibi mimarlığın farklı konularını kapsamlı biçimde incelemektedir. Eserin ilk kitabında yapı malzemeleri ve temel mimarlık bilgilerine yer verilmiş, bu bölüm uzun yıllar mimarlık eğitimi açısından başvuru kaynağı olarak değerlendirilmiştir. İkinci kitapta konut mimarisi ele alınmış ve birkaç Roma yapısına

ilişkin çizim dışında Palladio'nun kendi tasarımlarına yer verilmiştir (Şekil 4). Üçüncü kitap, yollar, köprüler, meydanlar ve bazilikalar gibi kentsel ölçekli yapılara odaklanmaktadır. Dördüncü kitapta ise Roma tapınakları incelenmiş, Pantheon'a ait çizimler dikkat çeken örnekler arasında yer almıştır (Demircan, 2022). Palladio mimarlığın yapı üretmek ve kent yaşamını düzenleyen estetik ve işlevsel mekânlar oluşturmak olduğuna değinmiştir. Bu nedenle özellikle kamusal alanların düzenlenmesinde geniş yollar, sağlam köprüler ve insanların bir araya geldiği meydanlar önemli bir yer tutmaktadır. Palladio'nun mimarlık anlayışında simetri, oran, işlevsellik, dayanıklılık ve estetik temel tasarım ölçütleri olarak öne çıkmaktadır.

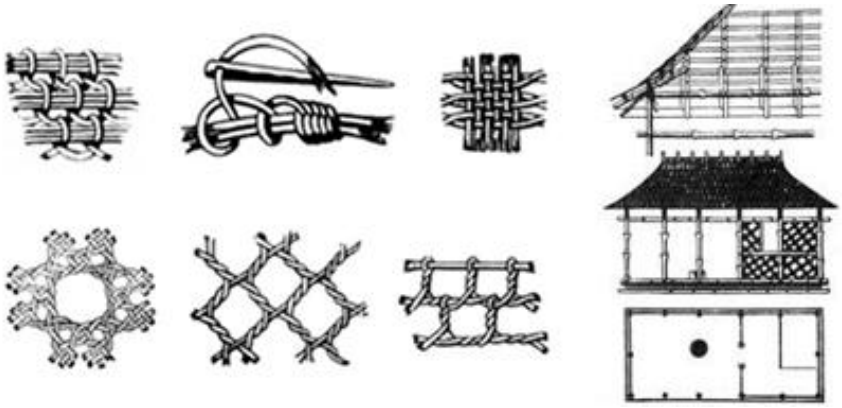


Şekil 4. Andrea Palladio, Mimarlığın Dört Kitabı'nda Villa Almerico Capra'nın (La Rotonda) planı, cephe görünüşü ve kesiti, 1570 (Artesvelata, t.y.).

Mimarlık bilgisine ait üretiminin yapılacağı başlıca üç ortam Rönesans döneminde ortaya çıkmıştır: yazı, mimari çizim ve yapım. Bu ortamlar, paralellik içinde akılcı ve bütüncül bir üretim anlayışının parçaları olarak birbirini tamamlamaktadır; ancak ortamlar üzerinden üretim yapan diğer alanlar, paylaşılan bilginin çeşitlenmesine ve asimetrik bir etkiye sahip olmasına yol açar. Kullanılan araçların yaratacağı farklılaştırıcı etki mimarlık bilgisinin genişlemesinde ve disiplinler arası karakter kazanmasında başlıca etkenler olarak karşımıza çıkar (Nurdoğan, 2024).

Gottfried Semper, *Yapı Sanatının Dört Ögesi* (*Die vier Elemente der Baukunst*) adlı eserinde, Londra'daki Crystal Palace Sergisi'nde incelediği Karayip kulübesini temel alarak mimari yapıyı oluşturan başlıca unsurları tanımlamıştır. Semper'e göre zemin, ocak, taşıyıcı çatı sistemi ve hafif dolgu duvarlar, mekânın sınırlarının belirlenmesinde ve hacimsel niteliğinin oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Almanca'da *die Wand* terimi perdeleme işlevi gören dolgu duvarları ifade ederken, *die Mauer* taş veya tuğla örgüden oluşan masif taşıyıcı duvarları tanımlamaktadır. Semper'in bu yaklaşımı, Karayip kulübeleri ile Japon evlerinin yapım tekniklerine ilişkin gözlemlerine dayanmaktadır. Bu çerçevede tektonik cephe, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan kütlesel ve çerçeve karakterli elemanlarla, bunları örten geçirgen dolgu yüzeylerinin bir araya gelmesi sonucu ortaya çıkan mimari ifade olarak değerlendirilmektedir (Frampton, 2001; akt. Sayın, 2022). Semper, Karayip kulübesinin inşasında kullanılan düğüm tekniğini tektoniğin temel bileşenleri arasında değerlendirmektedir (Şekil 5).

Semper, yapı teorisi ve yapı teknolojisinin tarihi konusunda geniş bir bilgi birikimine sahiptir. Bu konulardaki açıklamaları, onun rasyonalist ve Darwinist bir düşünür olduğu yönünde yanlış bir algıya yol açmıştır; oysa Mallgrave'in belirttiği gibi Semper mimarlığı ruhsal ve estetik bir çaba olarak görmüştür (Atalay Franck, 2006) (Şekil 5).



Şekil 5. Semper'in *Der Stil in den Technischen und Tektonischen Künsten* (1860–1863) adlı eserinde yer alan ve Karayip kulübesine ilişkin düğüm çeşitlerini gösteren illüstrasyon (Sayın, 2022).

Leland M. Roth'un Mimarlık Öyküsü adlı kitabına göre mimarlıkta strüktür yapıyı ayakta tutan teknik bir sistem, algısal ve estetik etkiler oluşturan önemli bir tasarım bileşeni olduğu vurgulanmaktadır. Roth, modern mühendislik anlayışıyla geliştirilen hafif ve ince taşıyıcı sistemlerin kullanıcı üzerinde çeşitli duygular yarattığını, bunun da "fiziksel strüktür ile algısal strüktür arasındaki farklılığı" ortaya koyduğunu belirtmektedir. Klasik mimarlıkta ise güzellik, yapının kullanıcıda estetik haz uyandırmasıyla ilişkilendirilen, modernizm döneminde "kullanışlılık artı sağlamlığın güzelliğe eşit olduğu" anlayışını benimsenmiştir. Ancak 1965 sonrası süreçte mimarlıkta estetik yeniden bağımsız bir tasarım ölçütü olarak önem kazanmıştır. Rönesans mimarlığında insan ölçeğinin kullanıcı tarafından kendi bedeni üzerinden değerlendirildiğini belirlemektedir. Bunun yanında ritim; kolonlar, boşluk-doluluk ilişkileri ve eğrisel yüzeylerle mekânsal hareket oluşturan bir unsur olarak tanımlanmıştır. Doku kavramı ise yüzeyin görsel ve dokunsal özellikleriyle ilişkilendirilmiş; düzgün yüzeyler özenli işçilik göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca ışığı "mimarlık algımızda belki de en güçlü öğe" olarak tanımlamıştır. Akustik de mimari deneyimin bir parçası kabul edilmiş ve özellikle kamusal yapılarda önem kazanmıştır. Mimarlığın çevreyle birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmış; yapının hem kentsel hem doğal çevre üzerindeki etkisinin tasarım sürecinin önemli bir bileşeni olduğu belirtilmiştir (Roth, 2007).

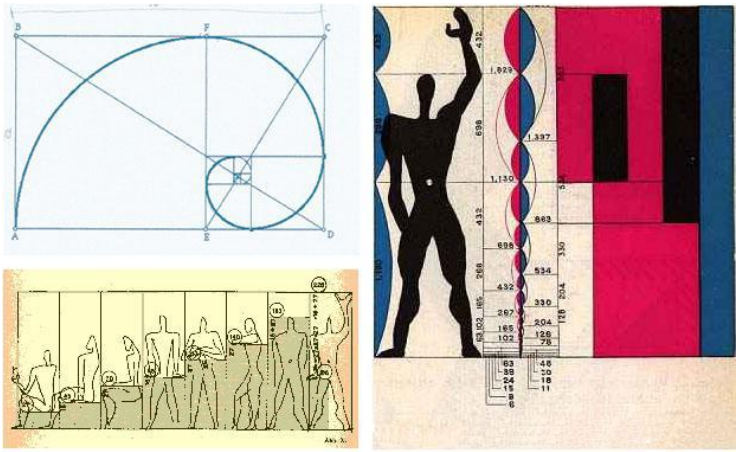
Sonuç olarak Rönesans ve klasik dönem mimarlığı; sağlamlık, işlevsellik, güzellik, oran, düzen, insan ölçeği, strüktürün hem teknik hem algısal bir öğe olarak ele alınması, estetik haz, simetri, uyum, bütünlük, ritim, doluluk-boşluk dengesi, doku, yüzey kalitesi, ışık, renk, akustik etki ve yapının çevresiyle kurduğu ilişkiler üzerinden şekillenen kapsamlı bir tasarım anlayışına dayanmaktadır.

3.3. Modernizm ve Geç Modern Dönem

Ludwig Mies van der Rohe, Frank Lloyd Wright ve Le Corbusier, modern mimarlığın gelişiminde etkili olan mimarlar arasında yer almaktadır. 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkan modern sanat akımları, mimarlığın yanı sıra resim ve heykel gibi sanat dallarını da etkilemiştir. 1909 yılında gelişmeye başlayan Fütürizm, yenilikçi yaklaşımı ve geleneksel anlayışlara karşı geliştirdiği tutumla mimarlık ve sanat alanında önemli bir hareket olarak kabul edilmektedir (Savaşer, 2025).

Le Corbusier modern mimarlık anlayışında mekânı estetik deneyimi yönlendiren temel unsur olarak değerlendirmiştir. Mimarlık, heykel ve resim sanatlarının mekâna bağımlı olduğunu vurgulayan yaklaşımı doğrultusunda, modern mimarlıkta mekânsal düzen; işlevsellik, estetik ve insan algısı arasındaki ilişki üzerinden yeniden tanımlanmıştır. Bu anlayışın önemli yansımalarından biri olan

"Modulor" sistemi ise insan bedenini temel alan matematiksel bir oran düzeni olarak geliştirilmiş; altın oran, insan ölçeği ve geometrik oranlar aracılığıyla mekânda uyum, düzen ve birlik sağlanması amaçlanmıştır. Le Corbusier'ye göre Modulor, mekânsal estetiği yöneten bir araçtır ve "çeşitlilik içinde birlik" ilkesini mümkün kılmaktadır (Şekil 6) (Le Corbusier, 2015).



Şekil 6. Le Corbusier, 'Modulor' adını verdiği orantı sistemini Altın Oran'a dayanarak geliştirmiştir (thearchitectstake.com, t.y.).

Modernist mimarlık, sanayi toplumunun üretim anlayışıyla da doğrudan ilişkilendirilmiş; standartlaşma, prefabrikasyon, seri üretim yapı elemanları, cam paneller, güneşkırıcılar ve pilotiler gibi teknikler modern mekân üretiminin temel bileşenleri hâline gelmiştir (Le Corbusier, 2015). Mimarlık estetik, ekonomik, teknik ve işlevsel bir organizasyon biçimi olarak ele alınmış; teknoloji, verimlilik ve rasyonellik modern tasarım anlayışının belirleyici ölçütleri arasında yer almıştır. Modernizm, geleneksel mimarlığın statik oran ve simetri anlayışını yeniden yorumlayarak, insanın değişen yaşam biçimine uyum sağlayan dinamik ve çağdaş bir mekânsal dil oluşturmuştur. Bu doğrultuda cam, beton ve çelik gibi yeni malzemelerin kullanımıyla birlikte, ağırlıklı olarak düşey ve yalın formlara dayalı bir mimari dil gelişmiştir. Modernist yaklaşımın bu teknik ve estetik dönüşümü, Bauhaus mimarisi ve 'Uluslararası Üslup' olarak adlandırılan mimarlık anlayışlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Şekil 7) (Savaşer, 2025).



Şekil 7. Bauhaus Mimarisi (oggusto, t.y.).

Wright, modern mimarlığın dönemin toplumsal ve ekonomik koşullarıyla ilişkili olması gerektiğini ifade ederek "Yeni bir mimarlık, her şeyden önce, zamanın toplumsal ve ekonomik yapısına kök salmış bir deneyimin özenle seçilip kesin biçimde kabul edilmesine bağlıdır" şeklinde belirtmiştir (Wright,

2007). Bu yaklaşım, modern mimarlığın biçimsel ve toplumsal yaşamın dönüşümüne yanıt veren bir tasarım anlayışı olduğunu göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Açık Kat Planı (Fotoğraf: *Andrew Pielage*; Aktaran: Frank Lloyd Wright Foundation, t.y.).

Wright, modern mekân anlayışını açıklarken yapıların "artık kutuya benzer kompartımanlara" ayrılmaması gerektiğini ve gereksinim kadar "az sayıda odası olması" gerektiğini savunmuştur (Wright, 2007). Bu yaklaşım, modern mimarlıkta açık plan kurgusu, mekânsal süreklilik ve işlev odaklı tasarım anlayışının temel ölçütlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Açık plan anlayışıyla birlikte kullanıcı hareketi ve mekân deneyimi daha akışkan bir yapıya kavuşmuştur.



Şekil 9. Şelale Evi (Fallingwater, t.y.).

Frank Lloyd Wright tarafından tasarlanan Fallingwater (Şelale Evi), doğa ile yapı arasındaki sürekliliği vurgulayan organik mimarlık yaklaşımının önemli bir örneğidir (Şekil 9). Wright'ın organik mekân anlayışının şekillenmesinde Japon mimarlığının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Organik mimari yaklaşımı, değişen koşullarla birlikte sürekli gelişen bir düşünce yapısı olarak ele alınmıştır. Teknolojik ilerlemeler, ekonomik koşullar, çevresel özellikler ve toplumsal değerler bu yaklaşımın oluşumunda belirleyici olmuştur. Wright, söz konusu unsurları tasarımlarına yansıtarak organik mimari anlayışını yaşamı boyunca geliştirmeyi sürdürmüştür (Kaya, 2021).

19.yüzyılın sonlarında ortaya çıkan modern mimarlık anlayışı, sanayi devriminin etkisiyle mimarlık alanında bir dönüşüm yaratmıştır. Avrupa'da gelişen bu yaklaşımın önemli temsilcilerinden biri olan Ludwig Mies van der Rohe, yalınlık ve işlevselliği temel alan tasarım anlayışıyla öne çıkmaktadır. Mies van der Rohe'nin "Az çoktur" ifadesi, mimarlıkta gereksiz süslemelerden uzak durulmasını ve tasarımın en temel öğelerle güçlü bir şekilde kurulmasını ifade etmektedir. Modern mimarlıkta açık plan düzenleri,

modüler sistemler, sade geometrik biçimler ve düz çatı kullanımı yaygınlaşmıştır (Şekil 10). Yapıların iç ve dış mekânla kurduğu ilişkinin güçlenmesi, mekânsal sürekliliğin sağlanması ve taşıyıcı sistemlerin görünür şekilde ele alınması bu dönemin belirgin özellikleri arasında yer almaktadır. Malzemenin doğal yapısının gizlenmeden kullanılması ve yapısal öğelerin mimari anlatımın bir parçası hâline gelmesi modern mimarlığın temel yaklaşımlarındandır (Çırak Yılmaz, 2022).



Şekil 10. Ludwig Mies van der Rohe tarafından tasarlanan Farnsworth House (Grupo EM Inmobiliaria, t.y.).

Christian Norberg-Schulz mekânı, insanın varoluşunu anlamlandırdığı deneyimsel bir olgu olarak ele almıştır. Norberg-Schulz'a göre insan, gökyüzü ile yeryüzü arasındaki ilişkiyi anlamlandırabildiği ölçüde çevresiyle bağ kurabilmekte ve kendisini "evinde" hissedebilmektedir. Bir nesnenin anlamı, diğer nesnelerle kurduğu ilişkilerden oluşmakta; yapı ise bu ilişkiler sisteminin biçimsel düzenini ifade etmektedir. Dolayısıyla yapı ve anlam, aynı bütünün birbirini tamamlayan iki yönü olarak değerlendirilmektedir. Mimarlık, kullanıcıda aidiyet, kimlik ve yer duygusu oluşturan bir deneyim alanı olarak tanımlanmaktadır. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında modernleşme süreçleriyle birlikte birçok yerleşimin geleneksel kimliğini kaybetmesi, mimarlıkta "yerin yeniden kazanılması" düşüncesini gündeme getirmiş; böylece yer, bağlam, kimlik ve kullanıcı deneyimi kavramları çağdaş mimarlık tartışmalarının temel tasarım ölçütleri arasında yeniden önem kazanmıştır. Sigfried Giedion'ın savunduğu gibi, insan yaşamı tek bir bireysel ömürle sınırlı değildir. Günümüzde insan çoğunlukla sahte-analitik düşünceyle eğitilmekte ve bilgisi "olgular"dan ibaret sayılmaktadır. Ancak yaşamı giderek anlamdan yoksun hâle gelmektedir. Bu nedenle "sanat yoluyla eğitim" her zamankinden daha gereklidir. Bize kimlik kazandıran temel sanat eseri ise "yer"dir. Ancak yaşadığımız yerleri anlayabildiğimiz zaman yaratıcı biçimde katılabilir ve onların tarihine katkıda bulunabiliriz (Norberg-Schulz, 2024). Bu düşünceler, mimarlığın insan yaşamındaki kültürel ve varoluşsal rolünü ortaya koymaktadır (Şekil 11).



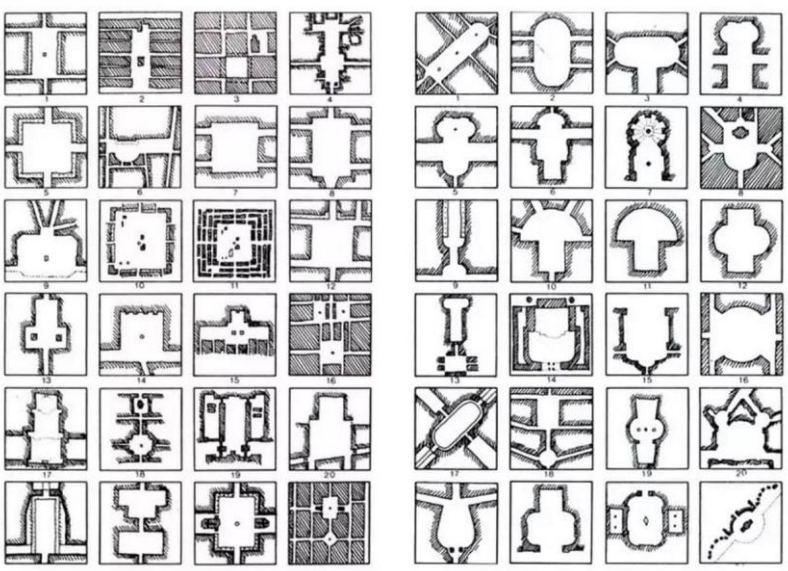
Şekil 11. Planetveien 14, Norberg-Schulz'un mekânı yalnızca fiziksel değil; deneyimsel ve varoluşsal bir olgu olarak ele alan mimarlık yaklaşımını temsil etmektedir (The Modern House, t.y.).

Kentlerin algılanabilirliği, kimliğinin hem bireysel hem de toplumsal düzlemde inşasında önemli bir yer tutar. Bu bağlamda, Kevin Lynch (1960), bireylerin şehirleri nasıl gördükleri, algıladıkları ve hatırladıkları üzerine yaptığı "Şehrin Görüntüsü" adlı çalışmasında, kent imgesinin beş temel öğe etrafında şekillendiğini ileri sürmüştür: yollar (paths), kenarlar (edges), bölgeler (districts), odak noktaları (nodes) ve işaret öğeleri (landmarks) (Şekil 12). Bu öğeler, bireylerin kenti anlamlandırmasını ve zihinsel haritalar oluşturmasını sağlamaktadır Lynch'e göre, bu öğelerin belirgin, bütünleşik ve anlamlı bir yapıya sahip olduğu kentler, daha güçlü bir kimlik duygusu yaratır ve bireylerde aidiyet hissini pekiştirmektedir. Kent imgeleri kuramı, kent planlaması, peyzaj mimarlığı ve mimarlık gibi disiplinlerde mekânsal bellek, kimlik ve estetik algıların birleştirilmesi için temel bir analiz aracı olarak kullanılmaktadır (Bayazıt, 2025). Böylece kent ölçeğinde de mekânsal algı, aidiyet ve kullanıcı deneyimi tasarımın temel bileşenleri arasında yer almaktadır.



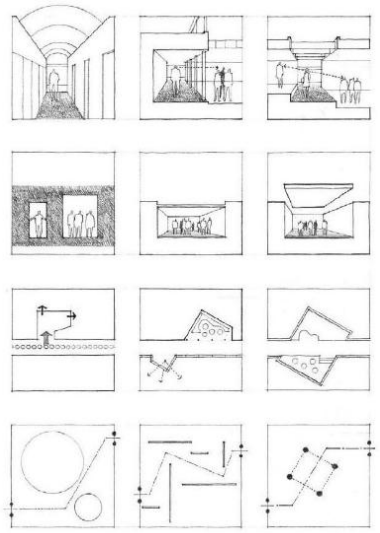
Şekil 12. Lynch'in kentsel imge öğeleri (Bayazıt, 2025).

Modern dönemde mimarlık alanında geliştirilen bir tasarım ölçütü de Christoper Alexander'a aittir (Şekil 13). Tasarım kalıpları olarak isimlendirilen bu ölçüte mekânın tasarımında benzer problemleri çözmek için oluşturulan ve beğenilen mimari yapılarda ortak özellikler (benzerlikler) olduğunu ve bu özelliklerin başka tasarımlarda da kullanabileceğini açıklamaktadır. Frank Ching'in mimari tasarım ve çizim alanındaki çalışmaları, biçim, mekân ve düzenin görsel özelliklerini açıklamaya odaklanmaktadır. Ching (2007), mekânsal ilişkileri ve düzenleme ilkelerini anlamaya yardımcı olmak amacıyla çeşitli geometrik şemalar geliştirmiştir. Bu yaklaşımda düzen, aks, simetri, hiyerarşi, ritim, datum ve biçim dönüşümü olmak üzere altı temel başlık altında ele alınmaktadır (Doma ve Eyüce, 2014).



Şekil 13. Christopher Alexander'ın tasarım kalıpları yaklaşımında görülen mekânsal örüntü ve kamusal alan organizasyonlarına ilişkin şematik plan örnekleri (re-thinkingthefuture, t.y.).

Francis Ching'in Biçim, Mekân ve Düzen adlı eserinde mekânsal tasarım; fiziksel, algısal ve kavramsal boyutlarıyla ele alınmaktadır. Ching'e göre mekân, kullanıcı deneyimi, hareket, ışık, ölçek, biçim ve çevresel ilişkiler aracılığıyla algılanan çok katmanlı bir organizasyondur. Mekânsal tasarım ölçütleri; biçim ve mekân ilişkisi, dolaşım, ışık ve gölge kullanımı, açıklıklar, ölçek-oran, hiyerarşi, ritim ve mekânsal organizasyon gibi temel tasarım bileşenleri üzerinden değerlendirilmektedir (Ching, 2015). Bu yaklaşım, modern mimarlığın işlevsel ve rasyonel yönünü kullanıcı deneyimi ve algısal boyut ile birlikte ele almaktadır. Ching'in mekânsal kurgu yaklaşımında mekân; fiziksel çevre ile kullanıcı arasındaki ilişkiyi düzenleyen, algısal deneyimi yönlendiren ve işlevsel gereksinimleri karşılayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Mekânsal organizasyon; merkezi, çizgisel, gridal ve kümesel düzenlemeler aracılığıyla biçimlenirken, dolaşım elemanları kullanıcı hareketini ve mekân deneyimini yönlendirmektedir. Ayrıca ışık, manzara, açıklık ve düşey-yatay elemanlar gibi bileşenler mekânın atmosferini ve kullanıcı üzerindeki etkisini belirleyen önemli ölçütler arasında yer almaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Dolaşım, kullanıcı hareketi ve mekân deneyimi (Pinterest, t.y.).

Sonuç olarak modern mimarlık; işlevsellik, yalınlık, sadelik, belirginlik, düzgünlük, saf biçimler, bütünlük, arınmışlık, insan ölçeği, oran-orantı, altın oran, matematiksel düzen, estetik düzen, standartlaşma, sanayileşme, prefabrikasyon, seri üretim, teknoloji kullanımı, verimlilik, açık plan kurgusu, mekânsal süreklilik, dolaşım organizasyonu, ışık ve gölge kullanımı, ritim, hiyerarşi, biçim-mekân ilişkisi, çevre-yapı bütünlüğü, kullanıcı deneyimi, mekânsal algı, kimlik, aidiyet, yer duygusu, atmosfer, çevresel karakter, mekânsal organizasyon, esneklik, işlev odaklılık ve insan-mekân ilişkisi gibi tasarım ölçütleri üzerinden şekillenmiştir. Bu ölçütler modern mimarlığın insanın mekânı algılama, deneyimleme ve anlamlandırma biçimini de belirleyen bütüncül bir tasarım yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

3.4. Çağdaş Dönem

Modern dönemle birlikte ortaya çıkan hız, hareketlilik ve buna bağlı tüketim kültürü, yaşamın birçok alanında olduğu gibi sanatın üretim ve algılanma biçimlerini de etkilemiştir. Gündelik yaşam pratiklerindeki değişim, toplumsal ilişkiler ve nesnelerin dönüşümü sanatın hem üretim süreçlerine hem de sunum biçimlerine yansımıştır. Sanat eserini anlamlandırmada yalnızca üretildiği zaman değil, bulunduğu mekân da belirleyici bir unsur olarak ele alınmaktadır. Sergileme mekânı, eserin izleyiciyle karşılaştığı bir alan olmanın yanında, zaman zaman eserin anlamını yönlendiren ve içeriğini etkileyen bir unsur haline gelmektedir (Mulla, 2016). Sanat ve mekân arasındaki ilişkinin dönüşümü, çağdaş üretim pratiklerinin mekânsal boyutunu daha görünür hale getirmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Çağdaş galeri iç mekân örneği (medium, t.y.).

Mekândan soyutlanmış ve kendi iç kurallarıyla sınırları belirlenen sanat nesneleri, çağdaş sanat süreciyle birlikte yerini mekânla karşılıklı etkileşim kuran ve görsel bir bütünlük oluşturan ifade biçimlerine bırakmıştır. Çağdaş sanat kapsamında sanatçılar farklı anlatım dillerini denemiş, çeşitli ifade biçimlerini bir arada kullanmış ve bunların kesişiminden ortaya çıkan hibrit nitelikte yeni üretim yöntemleri geliştirmiştir (Güler, 2014). Çok katmanlı üretim biçimleri, teknolojik ve toplumsal dönüşümlerle paralel olarak mekânın da yeniden ele alınmasını gerekli kılmıştır.

Teknolojideki gelişmeler ve dönüşümler, çağdaş yaşamı "değişim" olgusu etrafında yeniden şekillendirmekte ve yaşam pratiklerini etkileyen temel bir unsur haline gelmektedir. Çağdaş mekân kavramı; iletişim, ulaşım ve dolaşım olanaklarının artmasıyla birlikte zaman, mekân ve yaşam biçimleri arasındaki ilişkilerin yeniden tanımlanması üzerinden değerlendirilmektedir. Bireylerin giderek daha kişisel hale gelen ihtiyaçları ve değişen tüketim alışkanlıkları, kentlerin işleyişinde dönüşümlere yol açarken mekânsal organizasyonu da doğrudan etkilemektedir. Teknolojik ilerlemeler, mekânların boyutsal, işlevsel ve biçimsel açıdan sürekli olarak yenilenmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle iç mekânların, kullanıcıların temel yaşam işlevlerini karşılayabilecek nitelikte olması beklenmektedir.

Mekânsal düzenlemelerin kullanıcı özelliklerine göre esnek ve değiştirilebilir şekilde tasarlanması önem kazanmaktadır. Hareketli ve sabit iç mekân donatıları ergonomik ölçütler doğrultusunda ele alınmalı, güncel koşullara uyum sağlayabilecek esneklikte ve yenilenebilir özellikte olmalıdır. Yapı kabuğundan donatı elemanlarına kadar tüm tasarım bileşenlerinin modüler sistemlerle uyumlu ve seri üretime elverişli olması gerekmekte, yapı sistemleri bu doğrultuda yeniden ele alınmalıdır. Değişim ve yenilenebilirlik hedefiyle üretilen tüm tasarım ürünlerinin erişilebilir ve ekonomik olması da önemli bir kriter olarak öne çıkmaktadır (Özturan, 2010). Bu dönüşüm, fiziksel mekân ile mekânın toplumsal anlamını da yeniden şekillendirmektedir.

Mekân toplumsaldır, toplumsal ilişkiler mekânsal ilişkilerden soyutlanamaz. Sosyolojik olarak mekânın sosyal inşası, toplumsalın mekân üzerinden anlaşılması bugüne değin kentle ilgili kullandığımız yaklaşımlarımızı gözden geçirmemize, kente farklı gözle bakmamıza yol açarken aynı zamanda mekânı coğrafya, mimari, tarih, psikoloji gibi disiplinlerin de katkısıyla yeni açılımlar sağlayacak bir alan olarak bizlere sunmaktadır. Mekân anlayışının ön plana çıkması kent sosyolojisindeki dönüşümlerle yakından ilgilidir. Çeşitli disiplinlerin kesişim noktasında yer alan mekân teorisi, kentin dışında pek çok sosyal alana uyarlanmaktadır (Güçlü, 2012). Teorik çerçeve, güncel mimari yaklaşımlarda mekânın deneyimsel ve ilişkisel bir alan olarak ele alınmasına zemin hazırlamaktadır.

Güncel mimari pratiklerde, bireyin mekânsal aidiyet hissini pekiştiren, sosyal etkileşimi (komşuluk ilişkilerini) odağına alan ve biyofilik tasarım ilkeleri ile doğal verileri iç mekâna entegre eden bütüncül bir yaklaşımdır. Günümüz mimarlık paradigması, mekânsal tasarımı yalnızca ekonomik açmazların çözümü için mekanik bir enstrüman olarak görmekten uzaklaşmaktadır. Tasarımın sosyo-kültürel bağlamla kurduğu bu kuvvetli ilişki, dönemsel ve konjonktürel değişimler karşısında yapıların işlevsizleşerek fiziksel yıkıma uğramasını engelleyen, sürdürülebilir ve dayanıklı (resilient) bir sistemin varlığına işaret etmektedir (Aras, 2015). Bu yaklaşımın önemli bir uzantısı olarak sürdürülebilirlik kavramı, çağdaş tasarım anlayışının temel belirleyicilerinden biri haline gelmiştir.

Sürdürülebilirlik, mimarlık, ekonomi ve tarım gibi birçok alanda giderek daha fazla önem kazanan bir kavram haline gelmiştir. Son yıllarda yaygın biçimde tartışılan sürdürülebilirlik yaklaşımının, günümüz tasarım süreçlerine nasıl entegre edildiğinin doğru biçimde anlaşılması gerekmektedir. Endüstri Devrimi sonrasında ortaya çıkan bu yaklaşım, bilinçsiz kaynak tüketimi ve hızlı nüfus artışı gibi sorunlara karşı bir çözüm arayışı olarak gelişmiş; enerji verimliliği ve doğal çevreye duyarlı tasarım anlayışı çerçevesinde ele alınmıştır. Sürdürülebilirliğin tasarım sürecine uyarlanması, mimari problemlere uzun vadeli çözümler üretmeyi hedeflemektedir. Mekânsal organizasyonun doğru şekilde kurgulanması için gerekli kriterlerin belirlenmesinde sürdürülebilirlik, süreklilik ve uzun ömürlü kullanım açısından temel bir rol üstlenmektedir (Şekil 16). Tasarım sürecinde malzeme seçimi, iklim koşullarının mekân organizasyonuna etkisi ve enerji, su ile kaynak kullanımının verimli şekilde planlanması, sürdürülebilir yaklaşımın temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Güney Yüksel ve Seçer Kariptaş 2019). Ekolojik duyarlılık, malzeme seçiminden üretim süreçlerine kadar mimari tasarımın tüm aşamalarında belirleyici bir rol üstlenmektedir.



Şekil 16. Sürdürülebilir mimari mekân örneği (Two Green Leaves, t.y.).

Yenilenebilir kaynaklardan yararlanan, geri dönüştürülebilir olan, insan sağlığına zarar vermeyen ve çevreye olumsuz atık üretmeyen ekolojik malzeme ve teknolojiler, sürdürülebilir mimari tasarımlarda giderek daha belirleyici bir rol üstlenmektedir. Bu tür malzeme ve üretim yaklaşımları, kimi projelerde temel tasarım bileşeni olarak kullanılırken kimi durumlarda da alternatif çözüm olarak değerlendirilmektedir. Farklı disiplinlerin bir araya geldiği çalışmalar sonucunda geliştirilen yöntem ve ürünler, geleceğin mimarlık anlayışında başarının sürdürülebilirlik ve ekolojik uyum kriterleri üzerinden ölçüleceğini göstermektedir (Ateş Can ve Kurtoğlu, 2017). İç mimarlık pratiği estetik, ekonomik ve kullanıcı odaklı bir sorumluluk alanı olarak yeniden tanımlanmaktadır.

İçmimarlık, ekonomiyle doğrudan ilişkili bir meslek alanı olarak değerlendirilmektedir. Kullanıcıyla birebir temas kuran bu disiplin, mekânın kullanım biçimi üzerinden ekonomik dengeleri de etkileyebilmektedir. Çok katlı konutlarda yapısal olarak yüksek düzeyde ısı yalıtımı sağlanmış olsa bile, her dairenin enerji tüketim değerleri farklılık gösterebilir. Bu farklılıkların nedenleri arasında kullanıcı sayısı, bireysel yaşam alışkanlıkları, fizyolojik gereksinimler, mekânın tasarım özellikleri ve kullanılan malzemelerin fiziksel ile psikolojik etkileri yer almaktadır. İçmimar, kullanıcıyla doğrudan ilişki kurarak mekânı bu gereksinimler doğrultusunda kurgulayan kişidir ve tasarım sürecinde ısıl konfor ihtiyaçlarını da dikkate almaktadır. Enerji verimliliği odaklı bir yaklaşımla yapılan tasarımlarda, başlangıçta yüksek olan enerji tüketimi zaman içinde daha düşük seviyelere indirilebilmektedir. Bu noktada amaç yalnızca enerji tasarrufu sağlayan cihazların kullanımı değil; aynı zamanda malzeme seçimi, detay çözümleri ve mekânın fiziksel ile psikolojik etkilerinin bütüncül biçimde ele alınmasıdır (Geçimli ve Kaptan, 2019). Ekonomik ve çevresel boyutların kesişimi, küreselleşme süreciyle birlikte mekânsal ölçeklerde daha da belirgin hale gelmiştir.

Küresel hareketliliğin artmasıyla birlikte metropolleşen kentlerde yapılaşma faaliyetleri hız kazanmış ve bu durum çevresel değerler üzerinde baskı oluşturmuştur (Noraslı ve Köse Doğan, 2020). Küreselleşme sürecinin etkileri en belirgin biçimde kentlerde gözlemlenmektedir. Bu süreç, kentlerin hem küresel ölçekteki işlevini ve anlamını hem de iç dinamiklerini değiştirmiş; mekânsal, sosyal ve kültürel yapıda önemli dönüşümlere yol açmıştır. Söz konusu dönüşümün önemli sonuçlarından biri, farklı sosyo-kültürel grupların kent mekânı içerisinde giderek daha belirgin biçimde ayrışmasıdır. Sanayileşme, göç ve tüketim kültürünün etkisiyle kent mekânları dönüşüme uğramış; teknolojik gelişmeler ve kapitalist sistemin etkisiyle kültürlerin benzeşmesi "benzeşen mekânları" ortaya çıkarmıştır (Karakurt Tosun, 2007). Yapılanma süreci, mimarlık ve tasarım düşüncesinde süreklilik ve değişim arasındaki gerilimi görünür hale getirmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Kentleşme / küreselleşme (re-thinkingthefuture, t.y.).

Çağdaş mimarlık, mimarlık düşüncesine yeni devinimler kazandıran ve her dönemin kendi "şimdi"sini üreten tasarım anlayışlarıyla dönüşen bir yapı sergilemektedir. Bu yaklaşım, yalnızca güncel mimari görünümlerle sınırlı bir tanımlamaya indirgenemez; çünkü çağdaş mimarlık, içinde bulunduğu zamanın koşullarını dönemi eleştirel bir mesafeden değerlendiren bir bakış açısını ifade eder. Bu nedenle çağdaş mimarlık, zaman zaman mevcut paradigmalarla uyum sağlamak yerine onlarla gerilim yaşayan bir

düşünsel zemin de oluşturabilmektedir. Çağdaş mimarlık anlayışı; zamanı bütüncül biçimde ele alan, yeniliği süreç olarak gören, yaratıcılığı sınırlamadan geliştiren, değişimi olumlayan ve merkezsiz bir üretim mantığını benimseyen bir yaklaşımı öne çıkarmaktadır. Bu çerçevede tasarım, belirli bir başlangıç ve bitiş noktasına sahip kapalı bir süreç olmaktan çıkarak sürekli üretim ve dönüşüm potansiyeli taşıyan açık bir yapıya dönüşmektedir. Deleuze'ün tekrar kavramını yeniden yorumlaması da bu düşünsel zemine katkı sunmuş; tekrarı aynı olanın yinelenmesi yerine farklılık üreten bir süreç olarak ele almıştır. Bu yaklaşım, mimarlıkta tekrarın yeniden düşünülmesine imkân tanımış ve çağdaş mimarlık tartışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır (Eroğlu ve Aksu, 2019). Teknolojik gelişmelerin yapı üretim süreçlerine etkisi de çağdaş tasarım anlayışını yeniden biçimlendirmektedir.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin etkisiyle yapı malzemeleri alanında dönüşümler gerçekleşmektedir. Dijital üretim teknikleri ve yeni malzeme teknolojilerinin yapı sektörüne entegre edilmesi sonucunda "akıllı yapı malzemeleri" olarak adlandırılan yeni bir malzeme grubu ortaya çıkmıştır. Isı, ışık, nem ve enerji gibi çevresel koşullara tepki verebilen bu malzemeler, performans özellikleri ile çağdaş mimari uygulamalarda daha yaygın şekilde kullanılmaktadır (Çüçen ve Solak, 2023).

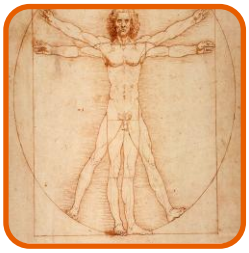


Şekil 18. San Raffaele Hastanesi (yapidergisi, t.y.).

Sonuç olarak çağdaş dönem tasarım ölçütleri; esneklik, değişebilirlik, kullanıcı odaklılık, ergonomi, modülerlik, teknolojiyle bütünleşme, akıllı malzeme kullanımı, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, çevresel duyarlılık, çok işlevlilik, dönüşebilirlik ve bilgi-iletişim teknolojileriyle bütünleşme gibi kavramlar etrafında şekillenmektedir. Bu ölçütler, çağdaş mekânların yalnızca fiziksel ihtiyaçları karşılayan alanlar değil; değişen toplumsal, ekonomik, teknolojik ve çevresel koşullara uyum sağlayabilen dinamik yaşam çevreleri haline geldiğini göstermektedir.

4. BULGULAR

Tablo 1. Tarihsel Süreç Tasarım Ölçütleri Değerlendirme Tablosu.



ANTİK DÖNEM

Mekân Anlayışı: Mekân; düzenli, matematiksel oranlara dayalı ve ideal biçimde kurgulanan bir sistem olarak ele alınmıştır.

Temel Tasarım Ölçütleri: Oran, simetri, düzen, sağlamlık, işlevsellik, estetik, insan ölçeği, çevresel uyum, iklimsel yönlenme, akustik, yerel malzeme kullanımı

Şekil 19. Leonardo da Vinci'nin Vitruvius Adamı Çizimi (pivada, t.y.).



RÖNESANS VE KLASİK DÖNEM

Mekan Anlayışı: Mekân; estetik düzen, perspektif ve insan merkezli anlayış üzerinden tanımlanmıştır.

Temel Tasarım Ölçütleri: Uyum, ritim, oran, simetri, perspektif, bütünlük, ışık, doku, akustik, estetik haz, strüktürel düzen

Şekil 20. Rönesans Mimarisinde Villa Rotonda (Valcheva, t.y.).



MODERNİZM VE GEÇ MODERN DÖNEM

Mekan Anlayışı: Mekân; işlevsel, yalın, rasyonel ve teknolojik bir organizasyon olarak ele alınmıştır.

Temel Tasarım Ölçütleri: İşlevsellik, sadelik, açık plan, standartlaşma, modülerlik, geometrik düzen, dolaşım, mekânsal süreklilik, teknoloji, verimlilik, kullanıcı deneyimi, mekânsal organizasyon

Şekil 21. Modern Mimarlığın Önemli Örneklerinden Villa Savoye (JustinH, t.y.).



ÇAĞDAŞ DÖNEM

Mekan Anlayışı: Mekân; esnek, değişebilir, kullanıcı odaklı ve sürdürülebilir bir yaşam çevresi olarak tanımlanmaktadır.

Temel Tasarım Ölçütleri: Esneklik, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, biyofilik tasarım, ergonomi, modülerlik, akıllı malzemeler, çevresel duyarlılık, dönüşebilirlik

Şekil 22. Çağdaş Mekân Tasarımı (Bookker Corporate,t.y.).

Mekân tasarım ölçütlerinin tarihsel süreç boyunca toplumsal, teknolojik ve kültürel değişimlere bağlı olarak dönüşüm geçirdiği görülmektedir. Antik Dönem'de oran, düzen ve simetri gibi matematiksel ilkelere dayanan mekân anlayışı, Rönesans döneminde insan merkezli estetik yaklaşımlarla gelişmiş; Modernizm ile işlevsellik, teknoloji ve standartlaşma ön plana çıkmıştır. Çağdaş dönemde ise sürdürülebilirlik, esneklik, kullanıcı deneyimi ve çevresel duyarlılık gibi ölçütler mekân tasarımının temel belirleyicileri hâline gelmiştir. Buna rağmen insan ölçeği, işlevsellik ve estetik gibi bazı temel kavramların tüm dönemlerde sürekliliğini koruduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ

Mekân kavramı, mimarlık tarihi boyunca farklı dönemlerin düşünsel, toplumsal ve teknolojik koşullarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Antik Dönem'de mekân; oran, simetri, düzen ve insan ölçeği gibi matematiksel ilkelere dayalı olarak ele alınırken, Rönesans ve Klasik Dönem'de estetik

uyum, perspektif, ritim ve görsel bütünlük ön plana çıkmıştır. Modernizm ile sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle işlevsellik, standartlaşma, açık plan anlayışı, yalınlık ve rasyonellik mimarlığın temel tasarım ölçütleri hâline gelmiştir. Çağdaş dönemde ise değişen yaşam biçimleri, küreselleşme, dijitalleşme ve çevresel sorunlar doğrultusunda mekân anlayışı yeniden dönüşmüş; sürdürülebilirlik, esneklik, kullanıcı deneyimi, çevresel duyarlılık ve teknolojiyle bütünleşme önemli ölçütler olarak öne çıkmıştır.

Çalışmada Antik Dönem'den çağdaş döneme kadar mekânın farklı kuramsal yaklaşımlar doğrultusunda nasıl tanımlandığı incelenmiş, dönemlere ait temel tasarım ölçütleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Vitruvius'un ortaya koyduğu sağlamlık, işlevsellik ve güzellik ilkelerinin sonraki dönemlerde farklı biçimlerde yeniden yorumlandığı; insan ölçeği, estetik ve işlev kavramlarının mimarlık düşüncesindeki sürekliliğini koruduğu görülmüştür. Her dönemin, kendi toplumsal ve teknolojik koşullarına bağlı olarak yeni mekânsal yaklaşımlar geliştirdiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak günümüzde kullanılan birçok tasarım ölçütünün temeli Antik Dönem'e dayanmaktadır. Oran, ölçek, simetri, denge ve insan odaklı tasarım anlayışı gibi ilkeler tarih boyunca farklı biçimlerde geliştirilerek günümüze ulaşmıştır. Bu durum, mekân tasarımının geçmişten aktarılan temel tasarım prensiplerinden de beslendiğini göstermektedir. Günümüz mekân tasarım ölçütleri, tarihsel birikimin çağdaş gereksinimler doğrultusunda yeniden yorumlanmış bir devamı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Altan, İ. (2012). *Mimarlıkta mekân kavramı.*

Altınsoy, A. (2022). Human-space relations and housing policies: A conceptual investigation. *Journal of Management and Economics Research, 20*(3), 90–109. https://doi.org/10.11611/yead.1174167

Aras, L. (2015). Günümüz mimarlık ortamına geçmişten katkılar: Pessac, CIAM ve Pruitt-Igoe. *Tasarım + Kuram, 11*(19).

Atalay Franck, O. (2006). Book review of Harry Francis Mallgrave, Gottfried Semper: An architect of the nineteenth century. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 2006(2), 167–169.

Ateş Can, S., & Kurtoğlu, D. (2017). Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Geliştirilen Teknoloji ve Ürünler. *Yalvaç Akademi Dergisi*, *2*(2), 22-31. https://izlik.org/JA96DY85ZHBayazıt, E. (2025). Kent kimliği kavramının Kevin Lynch yaklaşımıyla incelenmesi: Siirt kenti örneği. *Artvin Çoruh University Journal of Forestry Faculty, 26*(2), 355–369.

Bülbül, M., & Seçkin, F. (2019). Altın oranın uygulandığı kadın suretlerinin insanlık tarihi açısından incelenmesi. *Temel Eğitim Dergisi / Journal of Primary Education, 1*(4), 45–59.

Ching, F. D. K. (2015). *Mimarlık: Biçim, mekân ve düzen.*

Çırak Yılmaz, M. (2022). Mimarlıkta modern harekette Japon geleneksel mimarisi etkilerinin sorgulanması: "Mies van der Rohe" örneği. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Architecture.*

Çüçen, A., & Solak, A. (2023). Çağdaş mimarlık bağlamında akıllı yapı malzemelerinin kullanımının araştırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Dergisi, 5*(1). https://doi.org/10.51764/smutgd.1203403

Demir, G. (2023). Mimarlıkta "tasarım mekânı, yaratım/tasarım düzlemi ve tasarımcı kimliği"ndeki değişimler üzerine bir okuma (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi.

Demir Yiğit, D., & Urfalıoğlu, N. (2022). Leon Battista Alberti'nin cepheleri üzerinden antikitenin okunması: Palazzo Rucellai ve Tempio Malatestiano örnekleri. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 7*(1), 269–290. https://doi.org/10.26835/my.1056241

Demircan, E. (2022). *Mimarlığın dört kitabı ve Andrea Palladio'nun mimarlığa kamusal bakış açısı.* Trakya Üniversitesi.

Doma, O. O., & Eyüce, Ö. (2014). Video oyunu mekânlarında mimari deneyim: Mekânsal, zamansal, anlatısal. *III. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, İzmir.

Eroğlu, E., & Aksu, A. (2019). Çağdaş mimarlıkta "tekrar" üzerine bir değerlendirme. *YEDİ: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi*, 22, 91–101.

Geçimli, M., & Kaptan, B. B. (2019). İçmimarlık ve Sürdürülebilirlik İlişkisi: Ekolojik, Ekonomik ve Sosyal/Kültürel Açıdan İnceleme. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *21*(1), 191-201. https://doi.org/10.32709/akusosbil.427062

Güçlü, S. (2012). Mekân sosyolojisi ve kentsel mekân. Academia.edu. https://www.academia.edu/50717465/Kent_Sosyolojisi_ve_Kentsel_Mekan

Güler, Ö. K. (2014). Çağdaş Sanata Mekan Bağlamında Bir Bakış. *Tasarım + Kuram.*

Güney Yüksel, F. C., & Seçer Kariptaş, F. (2019). Konut iç mekânına sürdürülebilir yaklaşımlar. *Yakın Mimarlık Dergisi (Journal of Near Architecture)*, *2*(2).

Karakurt Tosun, E. (2007). *Küreselleşme sürecinde kentlerde mekânsal, sosyal ve kültürel değişim: Bursa örneği* (Doktora tezi). Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Bursa.

Kaya, P. (2021). Frank Lloyd Wright'in mekân anlayışı: Frederick Robie Evi üzerinden bir okuma. *Sanat ve Tasarım Dergisi, 11*(1), 43–62. https://doi.org/10.20488/sanattasarim.970754

Le Corbusier. (1954). *Le Modulor.* Éditions de l'Architecture d'Aujourd'hui.

Le Corbusier. (1958). *Le Modulor 2.* Éditions de l'Architecture d'Aujourd'hui.

Mulla, G. (2021). Mekânı yutan boşluk. *Sanat ve Tasarım Dergisi, 27*, 313–327.

Noraslı, M., & Köse Doğan, R. (2020). Çağdaş ofis tasarımları üzerine bir inceleme. *Artium, 8*(1).

Norberg-Schulz, C. (1979). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture.* Rizzoli.

Nurdoğan, N. (2024). Mimarlık bilgisinin temsil tasarım araçları üzerinden dönüştürülmesi.

Özçakı, M. (2017). Yaşayan kentsel mekânların yaratımı. *Humanitas - Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 5*(10), 205–228. https://doi.org/10.20304/humanitas.327883

Özturan, Ö. (2010). Teknolojik gelişmelerin iç mekân biçimlenişine etkisi. *İç Mimarlık Dergisi*, 18.

Roth, L. M. (2007). *Mimarlığın öyküsü*. Literatür Yayıncılık.

Sayın, T. (2022). Mimari tasarımda cephe kurulumunda geçirgenlik üzerine bir araştırma: Tektonik ve yüzey. Journal of Architectural Sciences and Applications, 7(1), 119-131.

Savaşer, I. (2025). Modernizm ve mimarlık. *International Academic Social Resources Journal, 10*(5), 331–351. https://doi.org/10.5281/zenodo.17448776

Usta, G. (2020). Mekân ve yer kavramlarının anlamsal açıdan irdelenmesi. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication, 10*(1), 25–30. https://doi.org/10.7456/11001100/003

Vitruvius. (2017). *Mimarlık üzerine on kitap.*

Wright, F. L. (1977). *An autobiography*. Horizon Press.

İNTERNET KAYNAKLARI

Arch Inspires. (2022, October 15). The Vitruvian triad: How it established the foundation of good architecture. https://archinspires.com/2022/10/15/thevitruviantriad-howitestablishedthefoundationsofgoodarchitectur (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Artesvelata. (t.y.). Ville venete di Palladio. https://www.artesvelata.it/ville-venete-palladio/(Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Benjamin Spademan. (t.y.). Vitruvius Marcus. https://www.benjaminspademan.com/vitruvius-marcus, (Erişim tarihi: 11 Haziran 2026).

Bookker Corporate. (t.y.). Oficinas 2025 innovadoras y dinámicas: cómo elegir entre convencional, edificio inteligente o coworking. https://www.bookkercorp.com/oficinas-2025-innovadoras-y-dinamicas-como-elegir-entre-convencional-edificio-inteligente-o-coworking/, (Erişim tarihi: 20 Haziran 2026).

Espazium. (t.y.). L'equilibrio. https://www.espazium.ch/it/attualita/lequilibrio, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Fallingwater. (t.y.). What is Fallingwater? https://fallingwater.org/what-is-fallingwater, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Frank Lloyd Wright Foundation. (t.y.). 5 modern design trends embraced at Taliesin West. https://franklloydwright.org/5-modern-design-trends-embraced-at-taliesin-west, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Grupo Emin Inmobiliaria. (t.y.). Casas a estudiar: Farnsworth House. https://grupoeminmobiliaria.com/casas-a-estudiar-farnsworth-house, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

JustinH. (t.y.). Modeling an icon: Le Corbusier's Villa Savoye – Live!. SketchUp Community Forums. https://forums.sketchup.com/t/modeling-an-icon-le-corbusier-s-villa-savoye-live/345587, (Erişim tarihi: 20 Haziran 2026).

Medium. (t.y.). Fashion in the experience economy. https://medium.com/@bradleyquinn_1186/fashion-in-the-experience-economy-490e3e63dfde, (Erişim tarihi: 11 Haziran 2026).

Oggusto. (t.y.). Sanatla tasarımın buluştuğu sanat akımı: Bauhaus. https://www.oggusto.com/sanat/sanatla-tasarimin-bulustugu-sanat-akimi-bauhaus, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Pinterest. (t.y.). Pin. https://tr.pinterest.com/pin/288019338649167699, Pinterest. (n.d.). Pin. https://tr.pinterest.com/pin/288019338649167699

Pivada. (t.y.). Leonardo da Vinci ve Vitruvius Adamı. https://www.pivada.com/tr/leonardo-da-vinci-vitruvius-adami, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

Re-thinking The Future. (t.y.). Book in focus: A pattern language – Towns, buildings, construction by Christopher Alexander. https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-architectural-reviews/a9335-book-in-focus-a-pattern-language-towns-buildings-construction-by-christopher-alexander

Re-thinking The Future. (t.y.). The impact of urbanization on communities. https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-community/a13844-the-impact-of-urbanization-on-communities, (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026).

The Modern House. (t.y.). House of the week: Christian Norberg-Schulz's Planetveien 14, Oslo. https://themodernhouse.com/journal/house-week-christian-norberg-schulzs-planetveien-14-oslo, (Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2026).

Türk Dil Kurumu. (t.y.). Güncel Türkçe Sözlük. https://sozluk.gov.tr/(Erişim tarihi: 7 Nisan 2026).

Two Green Leaves. (t.y.). Biophilic design. https://twogreenleaves.org/sustainability-green-design/biophilic-design, (Erişim tarihi: 11 Haziran 2026).

Valcheva, S. (t.y.). Renaissance Classicism: History, key artists & influence on art and architecture. Ilustromania. https://www.ilustromania.com/es/artistic-movements/renaissance-classicism, (Erişim tarihi: 20 Haziran 2026).

Yapı Dergisi. (t.y.). San Raffaele Hastanesi. https://yapidergisi.com/san-raffaele-hastanesi/, (Erişim tarihi: 11 Haziran 2026).

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ARCHITECTURAL DETAIL DESIGN IN SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS: AN EVALUATION OF SEISMIC GAP CLOSURE SYSTEMS

Güzin KUTLUHAN

Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture, Ankara, Turkey, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-7692-9179

Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture, Ankara, Turkey, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1903-9119

ABSTRACT

Seismic isolation technologies have been widely used in engineering structures such as bridges and viaducts for decades; however, due to their high cost and the complexity of their technical requirements, these systems were not used on a building scale for a long time. Nevertheless, following earthquakes that caused major destruction in cities, they began to be used in buildings. Hospital buildings, which must remain functional during an earthquake, became the most critical focus of this transition. As part of a comprehensive renovation process led by the Ministry of Health, seismic isolation has become a mandatory technical requirement in many healthcare facilities. The system works by using flexible isolation elements to separate the superstructure from the ground, thereby ensuring the building's safety. Earthquake energy is dissipated within the isolators, keeping the superstructure safe. A system known as a "seismic gap" is activated to allow the building to move independently of the ground. This system, which must be left around the perimeter of the structure, creates a discontinuity between the building and its surroundings at ground level. Surface integrity is compromised. Accessibility issues arise. For this reason, seismic gap designs have become an important part of the architectural process. The purpose of this study is to analyze seismic gap-filling systems from the perspectives of architectural design and detail engineering, and to identify the criteria that influence design decisions. The central question of the study is: What are the parameters that shape design decisions regarding these systems, and how should these parameters guide design practice? The research method is a qualitative research approach based on a literature review. Architectural detail solutions from selected hospital projects were examined; technical documents, application catalogs, and construction brochures from firms operating in the sector were evaluated. Data obtained from various sources were analyzed by cross-referencing them using a traceability method. As a result of this process, the study aims to define the fundamental design objectives for these systems and provide architects and engineers with a guiding framework for implementation processes.

Keywords: *seismic isolation, seismic gap design, seismic expansion joints, architectural detailing*

1. INTRODUCTION

Earthquakes are an unavoidable and unpredictable natural disaster that humanity has learned to live with worldwide. Turkey, located in the Alpine-Himalayan seismic belt, has also been affected by numerous destructive earthquakes throughout history (Bakkaloğlu, E., & Torunbalcı, N. 2024). The necessity of living with earthquakes has led to the need for serious measures to protect against them, particularly in terms of building strategies. Seismic isolation systems-developed in the 19th century to protect structures from earthquakes and still being refined today-are actively used worldwide (Ismail, M. 2018).

In the 1999 earthquake, more than 70,000 buildings were destroyed or rendered unusable (Şenol, C. 2020). The collapse and damage to hospitals, along with all other buildings rendered unusable in the

aftermath of the earthquake, caused problems with initial post-disaster response and prevented the prevention of post-earthquake casualties. The 1999 Gölcük earthquake clearly highlighted the importance of buildings that must provide uninterrupted service during and after a disaster. The Kocaeli University Hospital building, which was under construction at the time, was among the structures damaged in the earthquake. Up until that time, the seismic isolator system, which had been used in roads, bridges, and viaducts in our country began to be adopted in buildings following the redesign of the Kocaeli University Hospital building to incorporate isolators. The hospital was completed in 2001, becoming Turkey's first hospital equipped with seismic isolators (Güney, D., & Kök, S. 2017). In the wake of this destruction, the need for seismic isolation particularly in buildings that must provide uninterrupted service, such as healthcare facilities has become abundantly clear. The 2023 Kahramanmaraş earthquakes offered a devastating, yet instructive test. Hospitals equipped with base isolator systems-mandated for all facilities exceeding 100 beds under a 2012 Ministry of Health regulation-remained structurally intact when surrounding buildings did not. The evidence is unambiguous: these isolation systems performed precisely as designed under extreme seismic loading. Yet the lesson extends well beyond structural engineering. Seismic isolation cannot be treated as a purely technical addendum, resolved within the domain of structural calculation and then handed off. It demands genuine cross-disciplinary authorship-one in which architectural, mechanical, electrical requirements actively shape isolation strategy from the earliest stages of design. To subordinate these considerations to structural logic alone is to misunderstand what isolation systems actually do: they reconfigure the spatial, operational, and infrastructural relationships that define how a building performs as a whole. Design criteria, accordingly, must be constructed to reflect that complexity rather than obscure it.

The primary objective of seismic isolation systems is to isolate the structure from earthquakes by placing elements between the structure and the ground that do not resist seismic forces (Alhan, C., & Hacıemiroğlu, M. 2023). In this context, a void is created around the building, which must be completely detached from the ground. These systems, known as seismic voids, can be created using a variety of methods. Beyond their role as engineering applications, these systems allow for originality in architectural design (Özdemir, N. B., Akçaer, G., Soyluk, A., 2015). The architect must be able to capture this distinctiveness, ensure the integration of seismic forms with the building facade and their compliance with building design criteria, and prioritize user comfort (Güney, D. et al., 2017). Steps must be taken to prevent flawed or incomplete solutions from compromising the building's seismic performance. Leaving this entire process solely to engineering calculations and on-site execution results in implementations that are poorly insulated, fail to adhere to universal design principles, and are incompatible with the structure and its context.

The primary objective of this study is to examine and comparatively analyze the technical systems used to bridge seismic gaps and to identify key considerations during the architectural design phase. At the beginning of this study, seismic isolators, one of the earthquake protection systems, were examined. And their history and the process of their introduction in Turkey were analyzed.

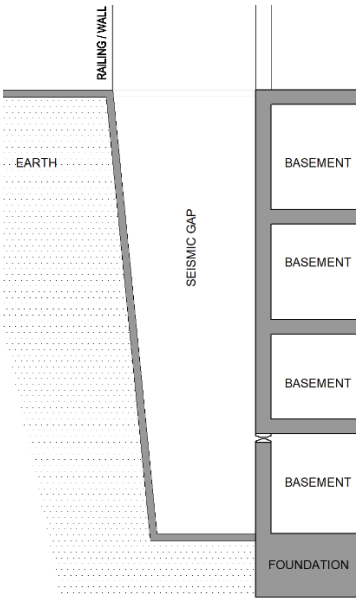
As a first step, seismic gap closure systems (seismic bridges and cantilever closures) identified through a comprehensive literature review are examined using a comparative analysis method. The construction systems of seismic gaps designed to separate the building from the ground are analyzed. *In the second step,* the various manufacturing details and displacement gaps within the investigated seismic bridges and cantilever closures are evaluated. *As the final step,* the manufacturer details of "expansion joints" used to insulate the gaps encountered in seismic joint details are examined, and the parameters to be considered in joint selection during the architectural design phase, along with the responsibilities of the architect, are determined.

2. SEISMIC GAP DESIGN

One of the most critical architectural design inputs for seismic isolation systems implemented in buildings is seismic gaps. To control the dynamic behavior of buildings during an earthquake, the structure must be completely detached from the ground and surrounding structures at the foundation level or at a specific elevation (Bakkaloğlu, E., 2018). In accordance with the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018, Section 14.14.5.2), seismic gaps must define an unobstructed clearance of movement equal to the calculated maximum displacement capacity of the isolation system (Alhan, C., & Hacıemiroğlu, M., 2024). The dimensioning of these gaps in the design process must be executed by considering the combination of the total displacement of the isolation system and the story drifts, thereby completely eliminating the risk of pounding (Alhan, C. et al., 2024). Within the architectural design process, seismic gap approaches are evaluated under two main categories based on the functional requirements of the structure.

2.1. Seismic Bridges

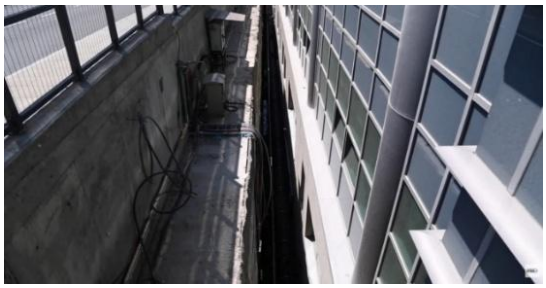
In structures with a high number of basement floors, the soil must be excavated away from the building on all four sides starting from the foundation level in order to detach the structure from the ground. In this design model, as a architectural design preference, the top of the gap can be left uncovered by merely ensuring perimeter security. In this case, seismic bridges are constructed at specific access points to provide uninterrupted pedestrian and vehicular access to the building (Bakkaloğlu, E., 2018). In buildings with large displacement values, utilizing structural bridges at designated locations optimizes total construction costs instead of spanning the entire building perimeter with high-capacity mechanical joint covers (Bakkaloğlu, E. 2018). Leaving seismic gaps open allows natural light and ventilation into basement spaces. In this system, discontinuities arising on the basement facade are sealed with specialized seismic joint profiles and waterproofing details, thereby maintaining the insulation integrity of the building (Güney, D. et al., 2017).



(a)



(b)



(c)

Figure 1: (a) Schematic illustration of the seismic gap systems (generated by the author), (b,c) Seismic Gaps in Okmeydanı Training and Research Hospital (URL-1)

2.2. Cantilever Closure Systems

Reinforced concrete cantilever closures are the most common solution used to resolve the discontinuity between the isolation interface and the surrounding ground in buildings. In this design model, the ground floor slab of the structure (or the first slab above the isolation level) extends as a cantilever over the seismic gap, thereby closing the clearance between the building and the ground (Bakkaloğlu, E., 2018). The gap rising from the isolation level of the structure to the ground level is bounded by reinforced concrete shear walls that encircle the building and operate in integration with the isolation system (Alhan, C. et al., 2024). This system is generally preferred in buildings where the displacement distance is relatively low. In structures where the seismic gap clearance to be spanned is narrow, the opening is reduced by projecting a cantilever from the building slab, and the remaining dynamic movement clearance is bridged with seismic joint covers.



(a) (b)

Figure 2: (a) Schematic illustration of the cantilever closure systems (generated by the author), (b) Example of cantilever closure at Eskişehir City Hospital (Alhan, C. et al, 2024)

3. SEISMIC EXPANSION JOINTS

In line with the decision enacted by the Ministry of Health in 2012, the utilization of seismic isolator systems was mandated for all hospital projects with a capacity of 100 beds or more to be constructed in first- and second-degree earthquake zones (Republic of Turkey Ministry of Health, 2012). With this regulation, seismic isolation systems have become an established design criteria in the architecture discipline. The expansion joints and seismic gap closures introduced by the system have made it necessary for architects to address design criteria at the level of detailed solutions (Özdemir, N. B. et al., 2015).

The structural design of seismic gaps is an engineering solution. However, closing these gaps in the building envelope and interior spaces in an aesthetic, insulated, and functional manner is an advanced architectural design problem. The design of expansion joints, which provides a solution to this problem, is also the responsibility of the architect. In the connection detailing between the console/bridges, isolator walls, and facades, it is essential to consider the building's insulation solutions, material selection based on load-bearing capacity, and architectural aesthetic concerns.

The design of seismic expansion joints must be engineered under the coordination of the architect in a manner that does not restrict the structure's three-dimensional movement capacity along the X, Y, and Z axes (Eniş, A., 2024). The detailing of these systems can be implemented between different floor slabs, as well as between a floor slab and a wall, or between two different walls.

Floor-to-floor connections; ensure the continuity of horizontal circulation zones between two moving structural blocks or between the seismic gap and the building. Spanning large displacement distances may be required at these junctions. During seismic activity, when the floor slabs approach or move away from each other, the joint profile moves independently of the slabs, thereby preventing damage to the surface finishes and avoiding movement restrictions. It is of vital importance to accurately detail these connections based on their load-bearing capacities and displacement distances, in accordance with the specific characteristics of the area for which they are designed.

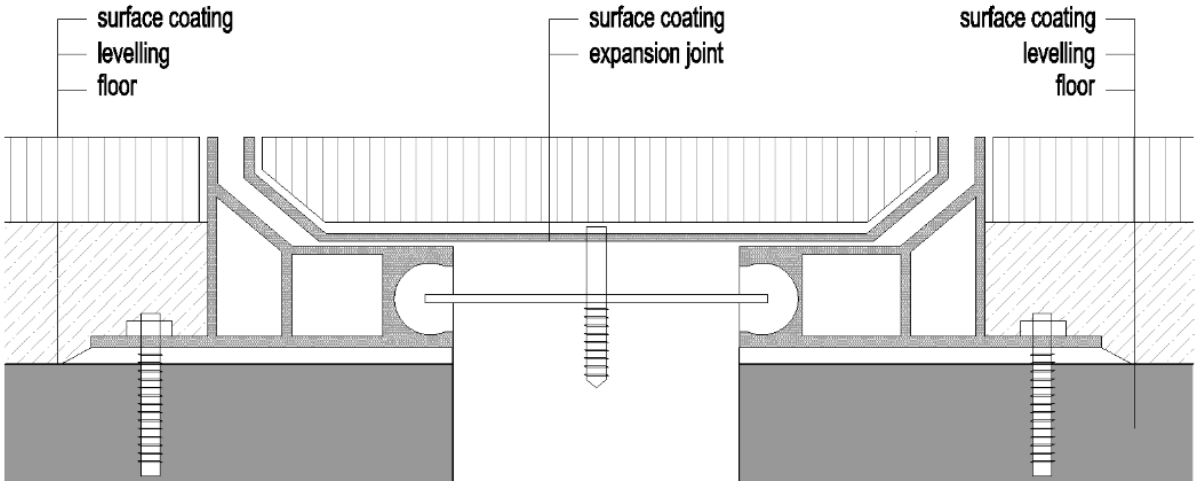


Figure 3: Schematic representation of a floor-to-floor expansion joint (Created by the author.)

Floor-to-wall and wall-to-wall joints; provide seismic damping at the points where the building facade meets the ground or vertical structures, while also maintaining the insulation barrier. These points where the building facade meets the ground are critical areas in terms of waterproofing and thermal insulation. The joint systems used in these areas must be selected to protect structural elements from corrosion. The insulation strips integrated into the joint systems must be able to function without damage during the large movements that occur during an earthquake. Similarly, it is of great importance that they possess the qualities necessary to prevent thermal bridging and ensure thermal comfort.

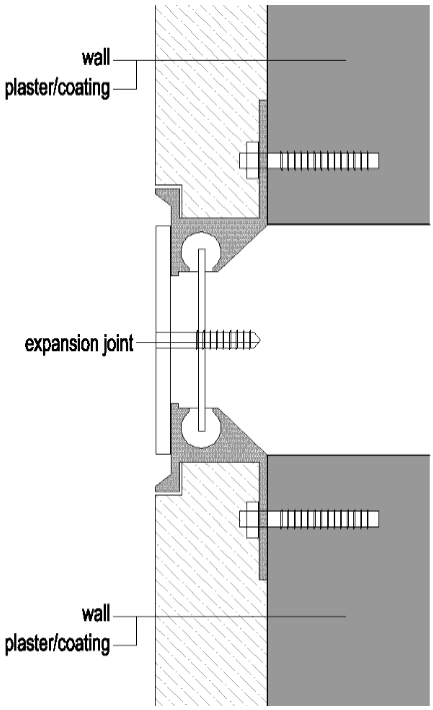


Figure 4: Schematic representation of a wall-to-wall expansion joint (Created by the author.)

In these joints, when the wall covering material is relatively thinner than the floor covering material, care must be taken to ensure surface alignment and a flush transition. Since floor-wall joints involve the connection of two elements on different axes, and because fixation will be required in both the X-Y and Z directions, the displacement directions must be taken into account in the design criteria for expansion joints.

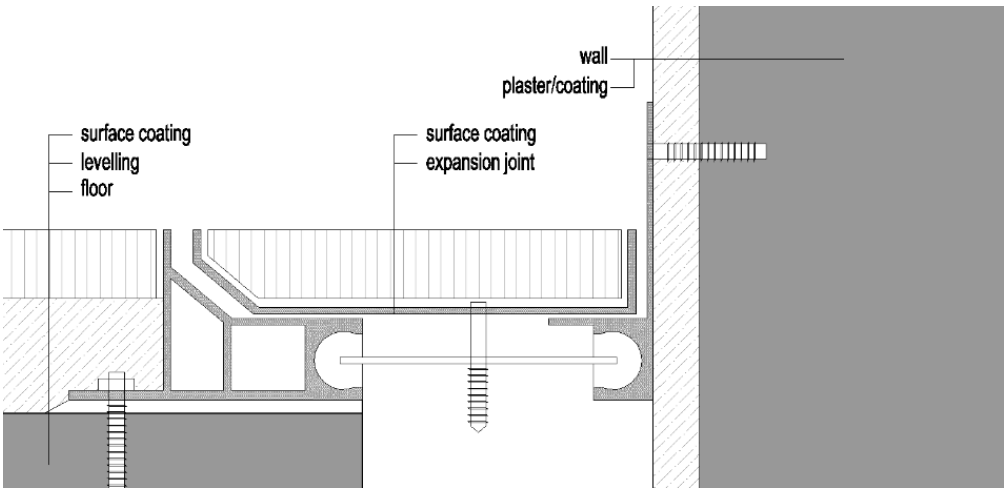


Figure 5: Schematic representation of a floor-to-wall expansion joints (Created by the author.)

4. PERFORMANCE CRITERIA OF EXPANSION JOINTS

The analysis of seismic expansion joints in terms of structural performance, spatial comfort, and architectural integration plays a decisive role in the service life and seismic resistance of structures. In

the literature and international building codes (ASCE 7, Eurocode 8, TBDY 2018), the design of these systems is based on a multi-criteria evaluation matrix aimed at optimizing structural dynamics and user requirements. In this context, key considerations in expansion joint solutions, the details examined, and information from manufacturer catalogs have been analyzed under three main headings. These are, respectively: (*i) Technical and structural criteria, (ii) Functional and performance-oriented criteria and (iii) Architectural and aesthetic criteria.*

4.1. Technical and Structural Criteria

This group of criteria examines the mechanical behavior and structural integrity retention capacity of seismic joint systems under dynamic loads, structural displacements, and kinematic stresses.

During a seismic event, independent structural blocks separated by expansion lines exhibit asynchronous oscillations due to variations in their centers of mass and stiffness. The distance a structure travels during this oscillation is defined as the displacement distance. The seismicity of the region where the structure is designed, the construction system, and the soil class directly influence this displacement distance. In this context, the joint system to be selected must be determined through accurate calculations and must be capable of dissipating the three-axis (X, Y, Z) relative displacements (translational motion, settlement, and shear) occurring during the building's oscillation in an earthquake.

The cover and profile components of the selected joint system must safely transfer the vertical loads (dead and live loads) to which the structure will be exposed throughout its service life to the substructure. These loads cover a wide spectrum, ranging from light static loads caused by pedestrian traffic to dynamic and instantaneous impact loads generated by forklifts, ambulances, wheelchairs, and heavy service vehicles. For example, it should be noted that the expansion joint selected for a hospital emergency room entrance must have a different load-bearing capacity than the joint at the outpatient clinic entrance.

The material’s ability to dissipate energy and undergo plastic deformation under seismic shock waves must be appropriate for the region’s seismicity. Under sudden and cyclic loads, joint components should remain within the elastic range without exceeding the yield point, or they should absorb energy by undergoing controlled plastic deformation. In terms of material selection, gaskets and insulation elements must have sufficient resistance to aging, UV radiation, and ozone, and their tensile strength must be at a level capable of withstanding the expected seismic loads; meanwhile, the shear resistance of the system’s metallic structural members must be sufficient to withstand seismic loads.

4.2. Functional and Performance-oriented Criteria

These are the physical environmental control parameters that directly affect the sustainability, user comfort, and safety of the building during its operational phase.

Expansion joints are among the weakest points of discontinuity that compromise the vertical and horizontal fire compartment integrity of a building. Fire barriers integrated into the underside of the joints must prevent the seismic gap from creating a chimney effect during a fire, thereby blocking the transmission of flames, smoke, and toxic gases to upper floors or adjacent blocks. The selection of a joint system should prioritize the inclusion of fire safety measures and the suitability of the materials’ flammability classes (TS EN 13501-1). Compliance with international standards and the requirement to meet the necessary fire resistance criteria within the designed building system must not be overlooked.

Waterproofing performance is of great importance in joints used in outdoor areas or on terrace flooring. Insufficient waterproofing can lead to corrosion and deterioration of structural elements. Expansion joints are the weakest points in waterproofing. Therefore, waterproofing membranes with high elasticity integrated into the joint system and drainage channels to discharge water are key components in making the system a preferred choice. Joint gaps are weak points in terms of acoustic and thermal insulation because they cause discontinuities in the mass, and they are prone to forming thermal bridges. For example, in a space facing a seismic gap, if the thermal insulation criteria for the expansion joint are not

selected correctly, the formation of a thermal bridge will be inevitable, resulting in an uncomfortable space.

4.3. Architectural and Aesthetic Criteria.

The morphological and functional relationship between seismic engineering requirements and the building's interior and exterior design, material language, and universal design principles is another criterion that must be considered when selecting expansion joints. The fundamental principle of an expansion joint system is that the surface levels of the joint cover profile and the surrounding floor/wall covering materials must be compatible with one another. In public spaces, the joint mechanism is not expected to create a visual division. To this end, the correct profile selection should allow the existing floor covering material to be applied to the joint cover. This minimizes the visible expansion joint.

The visible surfaces of the cover profiles should harmonize with the architectural project's color palette, material texture, and overall aesthetic language. For example, the thickness of the anodized coating on aluminum components, the color matching of electrostatic powder coatings, or the finish types of stainless steel surfaces (satin, mirror-finish, brushed, etc.) should be selected to complement the building's overall architectural character. Ensuring circulation safety for different user groups (wheelchair users, people with visual impairments, people with strollers, and people wearing high heels) is one of the principles of universal design; however, it takes on even greater importance in emergency facilities such as hospitals. Level differences at joint surfaces, as well as gaps and protrusions created by mounting elements such as gaskets and screws, must be designed to prevent the risk of tripping and falling. To increase slip resistance, metal covers should feature serrated or anti-slip surface textures.

5. CONCLUSION

In seismically isolated structures, seismic gaps and the expansion joints that bridge them should not be considered merely as part of structural engineering and on-site construction practices. These systems are primary architectural design elements that directly affect a building's service life, spatial quality, and continuity of service performance. For this reason, in the design of seismic gaps and the selection of joint systems, the architect is not only the contractor but also the coordinator of this multidisciplinary process. Based on the parameters examined in this study, the architect's key areas of responsibility in this process have been summarized under the topics listed in Table 1.

Table 1: Criteria to consider when choosing expansion joints (Created by the author.)

Main Criteria Group	Evaluation Parameter	Design Objectives
1. Technical and Structural Criteria	Displacement capacity Load-bearing capacity Deformation capacity	Preventing fracture/rupture Preventing structural pounding Safe load transfer
2. Functional and Performance-Oriented Criteria	Fire resistance Water and moisture insulation Acoustic and thermal insulation	Life safety Preventing structural corrosion Energy efficiency and thermal comfort
3. Architectural and Aesthetic Criteria	Visual continuity Surface and material harmony Accessibility	Flush (level) design Visual integrity Universal accessibility

According to the table, seismic gaps are a complex design problem that must be addressed from the early stages of design, beyond the structural application. Solving this problem involves a multi-layered decision-making process that ranges from user safety to adaptation to the physical environment.

The primary determining factor in this process is the morphological and schematic decisions made during the early stages of design. Establishing a balanced relationship between the configuration of the structure's load-bearing system, basement layout, natural lighting and ventilation requirements, and the seismic clearance area to be allocated around the building perimeter is one of the core responsibilities of architectural design. Therefore, decisions regarding the seismic gap solution should not be treated merely as an output of engineering calculations, but rather as a design input that directly dictates the spatial organization of the structure.

The resolution of seismic gaps also necessitates the simultaneous and coordinated collaboration of architectural and engineering disciplines. Integrating three-axis displacement values generated by seismic effects with utility installations, water and thermal insulation requirements, fire safety criteria, and material continuity within a single detail requires multi-disciplinary coordination. A failure to adequately integrate this coordination into the architectural design process can result in details that are aesthetically incompatible with the building's architectural language, deficient in terms of user experience, and problematic regarding execution.

Seismic joint design is of critical importance in terms of functional performance and accessibility, particularly in buildings such as hospitals that must provide uninterrupted service during and after an earthquake. In areas with stretchers, wheelchairs, and heavy pedestrian traffic, joint transitions must be designed to be flush with the floor, safe, and unobstructive to ensure continuity of movement. Details that obstruct user movement or pose a risk of tripping or falling can negatively impact the building’s operation, regardless of its seismic performance. Therefore, material selection, joint details, and level continuity in seismic gap closure systems must be evaluated in accordance with universal design principles.

Seismic gaps are one of the most critical areas of a building’s envelope. These gaps must perform well in terms of waterproofing, airtightness, fire resistance, and thermal insulation. The details developed during the design process must ensure maximum performance. Even if buildings designed with seismic isolators perform as expected during an earthquake, poor architectural solutions in seismic gaps can disrupt the use of the building due to potential problems such as water leakage, smoke transition, acoustic weakness, and damage to surface materials. For this reason, seismic gap design should not be approached as a purely technical solution but rather as an architectural element that influences the building envelope, interior space organization, user safety, and functional continuity.

This study presents a comprehensive framework for the key criteria that must be considered during the design and implementation processes of the seismic gap-filling systems examined. Based on the findings, the study emphasizes the need to strengthen the relationship between architectural design and detailed engineering in seismic-isolated structures, to address decision-making processes early in the design phase, and to systematically carry out interdisciplinary coordination. In conclusion, this study aims to provide practicing architects and engineers with a guiding evaluation framework aligned with the key design objectives that must be considered in seismic gap design.

REFERENCES

- Alhan, C., & Hacıemiroğlu, M. (2023). Seismic isolation in earthquake-resistant structural design for resilient cities. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi, Deprem ve Kentsel Dönüşüm*, *4*, 96-127.

-Alhan, C. & Hacıemiroğlu, M. (2024). *Sismik izolasyonun temel ilkeleri ve uygulama örnekleri* [Sunum/Seminer]. İMO Bursa, Türkiye.

- Bakkaloğlu, E. (2018). Hastane binalarında sismik izolasyon sistemlerinin kullanım kararının bina üretim sürecine etkileri [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi / Kurumsal Arşiv.

-Bakkaloğlu, E., & Torunbalcı, N. (2024). Çok Katlı Hastane Binalarında Uygulanabilecek Taban İzolasyon Sistemleri. *bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, *5*(2), 150-165.

- Eniş, A. (2024). Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolatör kullanımı ve kullanıcı tercihine etkisi (Yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

-Güney, D., & Kök, S. (2017). Architectural design and applications of seismic isolators in Turkey. *International journal of forensic engineering*, *3*(4), 342-359.

-Ismail, M. (2018). Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review, and a recent development. *Hormigón y Acero*, *69*(285), 147-161.

-Özdemir, N. B., AKÇAER, G., & SOYLUK, A. (2015). Günümüz mimarisinde sismik izolasyon teknolojisi. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir*, 14-16.

-Şenol, C. (2020). TÜRKİYE'DE MEYDANA GELEN BÜYÜK DEPREMLERİN YERLEŞME VE DEMOGRAFİK YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ (1927-2020). *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, *4*, 620-644. https://doi.org/10.47994/usbad.808881

-T.C. Sağlık Bakanlığı İnşaat ve Onarım Dairesi Başkanlığı. (2012). *Mevcut ve yeni yapılacak sağlık tesislerinde uyulması gereken asgari teknik standartlar genelgesi* (Genelge Sayı No: B.10.0.İOD.0.07.00.00-10-6/).

- URL-1 Taşyapı. (t.y.). *Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu City Hospital (*Okmeydanı Training and Research Hospital*)* [Image]. Access address: https://www.tasyapi.com/tr/prof-dr-cemil-tascioglu-sehir-hastanesi-okmeydani-egitim-ve-arastirma-hastanesi-0917 (access-May 2026)

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

EARTHQUAKE RISKS ASSOCIATED WITH NON-STRUCTURAL ELEMENTS IN SCHOOL BUILDINGS AND INTERIOR DESIGN SOLUTIONS

Ömercan DOĞANAY

Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture, Ankara, Turkey, ORCID ID: 0009-0008-4311-7352

Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture, Ankara, Turkey, ORCID ID: 0000-0003-1903-9119

ABSTRACT

A significant portion of earthquake-related deaths and injuries occur not due to structural damage, but to risks posed by non-load-bearing building elements. Adequate seismic performance of load-bearing structures themselves does not guarantee a safe environment; damage to non-load-bearing elements can lead to injuries, disruption of evacuation procedures, and building failure. This situation becomes even more critical in school buildings, which house children and can serve as temporary shelters, meeting places, or support centers after a disaster. Minimizing the impact of earthquakes on school buildings is essential for the uninterrupted continuity of educational activities and the reorganization of community life after a disaster. This study aims to identify non-structural risks arising from earthquakes in school buildings, assess and classify these risks within the context of interior design, and propose design measures for their reduction. A qualitative research approach was adopted, and content analysis was used in the data collection and evaluation process. In this context, national and international academic studies, post-earthquake damage reports, technical guides, and implementation documents were analysed. Based on the data obtained, damage to non-structural elements observed in school buildings during previous earthquakes was tabulated, and risks with similar characteristics were grouped under common themes. Thus, the risks present in school buildings have been classified into five main categories: (i) furniture and storage elements, (ii) spatial partition elements, (iii) ceiling systems, (iv) mechanical and electrical systems, and (v) evacuation and circulation areas. For each category, a comprehensive decision-making framework has been created by assessing potential seismic behaviour, its effects on user safety, and design strategies for risk reduction. The classification and evaluation tables developed in accordance with the findings serve as a guide for designers, educational administrators, and users, increasing awareness of earthquakes, supporting decision-making processes, and outlining fundamental criteria for safe interior design in school buildings.

Keywords: Earthquake Safety, School Buildings, Non-Structural Elements, Interior Design

INTRODUCTION

The evaluation of non-structural elements in terms of seismic safety is not limited solely to reducing physical damage and the risk of injury. Recent studies have shown that these elements also influence users' psychological resilience and their perception of disasters. In one study, the design of earthquake-resistant furniture was evaluated not only in terms of its structural performance but also in relation to the psychological needs of users (Sweet & Tucker, 2018). The study underlines that, while seismic design strategies applied at the architectural scale focus primarily on reducing physical risks, furniture, by interacting directly with the user at a human scale, has the potential to contribute to elements such as the feeling of safety, belonging, and psychological resilience. This approach reveals that non-structural elements should be evaluated not only as risk-creating elements within the scope of seismic safety, but

also as design components that support the physical and psychological well-being of users before and after a disaster.

Today, non-structural elements are necessary for buildings to function. However, simply being structurally earthquake-resistant is not sufficient to prevent risks. Even with high earthquake resistance, buildings still face risks due to non-structural elements during an earthquake (Büyükkaragöz & Cantürk, 2018). Non-structural elements are defined as elements that do not have the capacity to support any load other than the loads resulting from their own mass (Charleson, 2008). A comparative analysis of structural and non-structural elements in a building is shown in Figure 1.

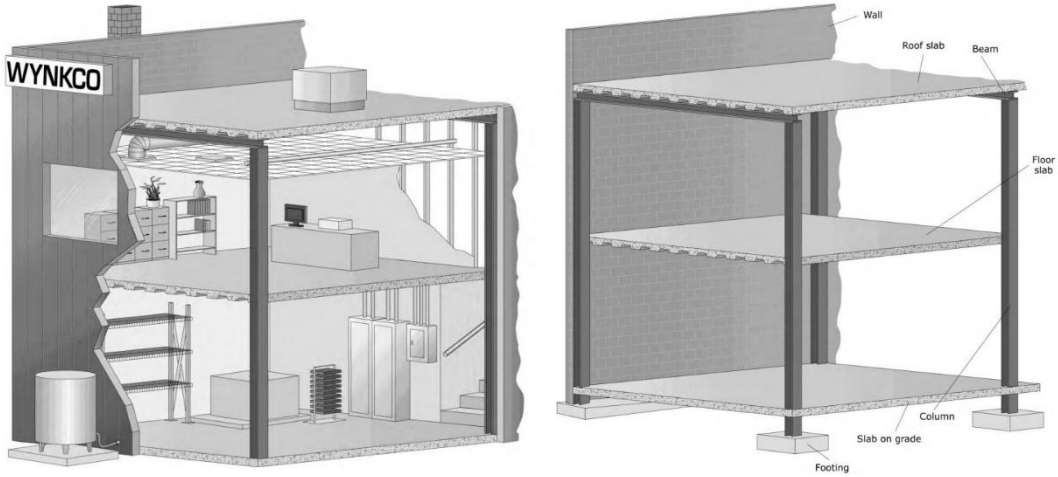


Figure 1. Schematic representation of non-structural and structural elements. (FEMA, 2012)

Universal design principles must be integrated into the design process to ensure that escape routes remain open and accessible during an earthquake. In school buildings, ensuring that circulation areas are free of obstacles is crucial for the safe evacuation of users of varying ages and physical characteristics (Sarı & Aktar, 2017).

LITERATURE REVIEW

As part of the literature review, national and international studies on earthquake risks posed by non-structural elements were examined. In this study, data obtained from the sources were systematically compiled to create a guide.

The preliminary assessment report prepared by Istanbul Technical University comprehensively examines the geological, seismological, and structural effects of the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. The study analyzes structural and non-structural damage in public buildings and schools and presents engineering implications and solution proposals for post-disaster recovery, urban planning, and rapid housing construction (İTÜ, 2023). The study by Polat and Gül (2023), which addresses the risks posed by non-structural elements in educational buildings, emphasizes that objects falling or tipping over during an earthquake can lead to serious consequences such as death, injury, and the blockage of escape routes (Polat & Gül, 2023).

The guidance published by the California Office of Emergency Services (Cal OES) focuses on identifying and improving earthquake hazards posed by non-structural components such as furniture, architectural elements, lighting, and plumbing systems in school buildings (Cal OES, 2025).The research conducted by Kaya and Şahan (2023) examines innovative approaches as alternatives to

traditional fastening methods and furniture in taking precautions against non-structural hazards in school buildings (Kaya & Şahan, 2023).

The Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2004) school safety design guide examines in detail the risks that educational buildings pose in terms of both structural and non-structural components against earthquakes (FEMA, 2004). In the field study conducted by Bayraktar et al. (2019), using schools in specific regions as examples, earthquake risks arising from non-structural elements in schools are transformed into mathematical data and action plans using the L-Type Risk Assessment Matrix Method (Bayraktar et al., 2019).

MATERIAL AND METHOD

This study examines literature on damage caused by non-structural elements. Non-structural elements are classified, and the risks associated with them are systematically identified. Based on the data obtained, these risks are presented in tabular form, along with visuals of the damage. Solutions to these identified risks, such as preventative measures in interior design, are also classified and presented in tabular form. In this study, the concept of "risk" refers to situations that may cause damage, injury, or interruption of use in interior spaces during an earthquake. The concept of "strategy" encompasses design, implementation, and usage decisions aimed at reducing or eliminating these risks. Accordingly, the risks identified in this study and the strategies developed to address them are evaluated together.

Table 1. Damages Caused by Non-Structural Elements (NSEs)

NSEs	Ref.	Images	Damage/Risk Definition	Area/Unit
Partition walls	(İlki et al., 2019)		Horizontal holes in the brickwork, diagonal cracks, widespread plaster peeling.	School classrooms
Suspended Ceilings	(İTÜ, 2023) (FEMA, 2012)		The falling of suspended ceiling coverings can damage the system and cause injuries by collapsing.	School classrooms and student dormitories; interior with damaged suspended ceilings.
Stairs	(İTÜ, 2023) (FEMA, 2012)		Damage at the junction of the stair railing and landing, cracking and detachment of the cladding.	School stairs

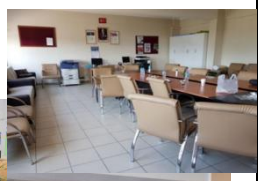
Glass Panels	(Bayraktar et al., 2019)	 	The windows shattered during the earthquake, injuring students and hindering safe evacuation.	Classrooms / Training Units
Bookcase Shelves	(Cal OES, 2025)		Bookcases and library shelves toppling over, causing books to fall, blocking exits, and falling on users, leading to injuries.	School Library
Storage Units and Movable Furniture	(Bayraktar et al., 2019) (Cal OES, 2025)	  	File cabinets, desks, and chairs tipping over; drawers opening uncontrollably and blocking escape routes, leading to injuries; chairs being scattered and too numerous.	School Administrative Office, Classroom and Teachers' Room

Table 1. (Cont.) Damages Caused by Non-Structural Elements (NSEs)

NSEs	Ref.	Images	Damage/Risk Definition	Area/Unit
Facade Exterior Element	(İTÜ, 2023) (Cal OES, 2025)	 	Peeling of exterior cladding down to the basement level.	Middle school exterior; exterior cladding in the school area.
Architectural Element	(İTÜ, 2023)		Damage to the gable wall on the roof and risk of collapse.	High School Building Exterior

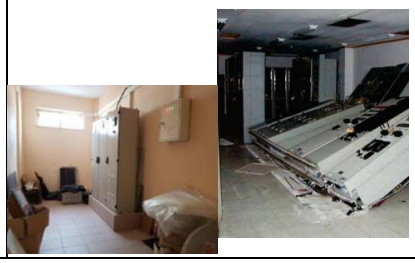
Interior Fixtures	(Bayraktar et al., 2019)		Preventing post-disaster evacuation by blocking the emergency exit door.	Corridor; Library
Plumbing and Electrical Systems	(Bayraktar et al., 2019)		Risk of electric shock due to electrical panels not being secured and objects being stacked around them.	Electrical Room / Panels

Table 1. which classifies damage to non-structural elements of school buildings into architectural, electrical, and interior equipment categories, clearly shows that even if the load-bearing system remains intact, buildings can be rendered unusable and lives can be lost, in addition to highlighting hazardous situations. This classification reveals the frequency and severity of problems such as the collapse of suspended ceilings, the toppling of heavy cabinets, and the bursting of pipes during earthquakes. The table's main conclusion is that seismic behaviour analyses must consider not only load-bearing elements but also all building components through a comprehensive approach, and that the safety of the building's systems is at least as vital as the safety of the building itself.

When examining user profiles in school buildings, it's not just students who are considered. Adult employees such as teachers and administrative staff are also actively involved in school buildings and are therefore within the risk group. Table 2 indicates which groups use which areas within the school buildings. The table, which links user profiles to spatial risks, reveals that hazards in school buildings are not evenly distributed and vary according to each person's physical characteristics. Students, who are usually in classrooms and libraries, are directly exposed to physical risks due to falling furniture and collapsing ceilings; while administrative and technical staff who use technical areas such as laboratories or boiler rooms face secondary risks such as poisoning, explosions, or fires. This analysis calls for disaster management and evacuation plan to be specifically designed for users, especially younger students, considering their risk perception, physical capabilities, and the function of the space.

Table 2. Areas Where Different User Categories Are Used

User Profile	**Frequently Used Areas**	**Basic Equipment Used**	**Risks**
Students	Classrooms, Library, Laboratories, School Garden, Cafeteria, Gymnasium	School desks, chairs, bookshelves, computer desks, blackboards	Unsecured cabinets and bookshelves falling over, glass shattering and causing injuries, rows of desks being too close to windows, suspended ceilings collapsing.
Teachers	Teachers' Room, Classrooms	Teacher desks, chairs, cabinets, coat racks	The cabinets and chairs in the teachers' room were knocked over, and the coat racks blocked the exits.

Administrative Staff	Administrative Offices, Archives	File cabinets, desktop equipment, work desks	File cabinets tipping over or drawers opening, desktop equipment falling.
Technical Staff	Machine Rooms, Storage Rooms, Boiler Room, Electrical Room	Mechanical and electrical equipment, gas cylinders, electrical panels, water tanks	Flooding caused by overturned water tanks, and fires caused by toppled electrical panels.

In school buildings, non-structural elements are basically classified under 5 main headings. These are; Furniture and Storage Elements, Spatial Partition Elements, Ceiling Systems, Mechanical and Electrical Systems, Evacuation and Circulation Areas. Non-structural elements in school buildings are listed in Table 3. When examining the non-structural elements of school buildings, it is observed that different spaces have varying interior conditioning needs. Using a damage assessment table, the damage observed in the non-structural elements of school buildings was tabulated, and risks with similar characteristics were grouped under common themes. In this way, the non-structural elements of school buildings are classified into five main categories according to the type of risk.

Table 3. Classification of Non-Structural Elements in School Buildings.

Furniture and Storage Elements	Spatial Partition Elements	Ceiling Systems	Mechanical and Electrical Systems	Evacuation and Circulation Areas
-Bookcase -Cabinet -Shelf	-Partition Walls -Glass Surfaces -Doors	-Suspended Ceiling -Lighting -Projection	-Panels -Installations	-Corridor -Staircase -Exit Doors

Current Situation Analysis and Risk Assessment

Many non-structural elements in various locations within schools can pose risks during an earthquake. Each location requires a different type of non-structural element depending on its functional needs, and consequently, the risks that may arise also vary. Table 4 lists the types of risks that non-structural elements in school buildings may pose. The risks posed by non-structural elements are classified into the following categories: (i)Tipping Over, (ii) Breaking, (iii) Collapse/Fall, (iv) Fire/Explosion, (v)Sliding/Displacement, (vi)Preventing Evacuation.

A systematic table classifying the types of risks presented by non-structural elements (overturning, breaking, collapse, fire, etc.) reveals which element could cause which type of destructive scenario. This table shows that heavy furniture primarily poses a risk of overturning and blocking evacuation routes, while architectural elements such as glass and suspended ceilings can cause impact damage if they break or collapse.

Table 4. Risks Posed by Non-Structural Elements in School Buildings

Non-Structural Element Type	Tipping Over	Breaking	Collapse/Fall	Fire/Explosion	Sliding/Displacement	Preventing Evacuation

Bookcases and Filing Cabinets	✓		✓		✓	✓
Student Desks and Tables	✓				✓	✓
Suspended Ceilings		✓	✓			✓
Lighting Fixtures		✓	✓	✓		✓
Glass Panels / Windows		✓	✓			✓
Electronic Devices (Computers, TVs, Monitors)	✓	✓	✓		✓	✓
Canteen Equipment (Stove, Refrigerator)	✓			✓	✓	✓
Mechanical and Electrical Equipment	✓		✓	✓	✓	✓
Plumbing Pipes and Heating Elements		✓	✓	✓		✓
Gas Cylinders or Tanks	✓			✓	✓	✓
Workshop or Gym Equipment	✓		✓		✓	✓
Whiteboards, Notice Boards and Frames			✓			✓
Ceiling-Mounted Projectors			✓			✓
Wall-Mounted Shelves			✓		✓	
Metal Lockers and Teacher Lockers	✓					✓
School Entrance Gates		✓				✓

Proposed Solutions for Non-Structural Risks

This section presents solutions to the risks posed by non-structural elements. Solutions regarding the fixing of existing furniture and fixtures to the load-bearing system are indicated in Table 5. Additionally, alternative design suggestions that may be safer during an earthquake, replacing standard furniture, are also included.

Table 5. Classification of Proposed Solutions

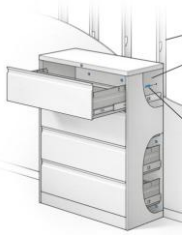
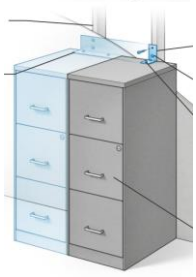
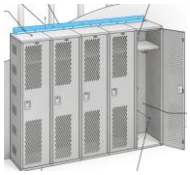
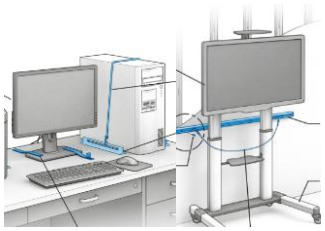
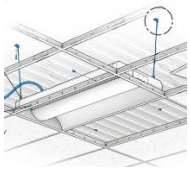
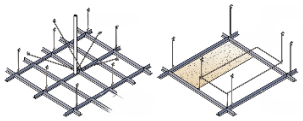
Non-structural element	Identified Risk	Proposed Solution	Solution Proposal Images	References
Bookcases and Library Shelves	Bookcases and library shelves toppling over, causing injuries.	Fixing to both the wall and the floor with L-profiles; creating niches in the space through architectural design and placing the shelves.	 	(Cal OES, 2025) (Kaya & Şahan, 2023)
Filing Cabinets and Archive Units	Opening unlocked drawers can disrupt balance and obstruct exit routes.	Secured to the wall and floor with metal profiles from the top and sides; screwed to wall uprights via the rear metal panel.	 	(Cal OES, 2025)
School Desks	Standard tables can collapse under the weight placed upon them; if not secured, they can tip over, posing a risk of injury.	The use of design products that create a high-strength, earthquake-resistant life triangle.		(Kaya & Şahan, 2023)

Table 5. (Cont.) Classification of Proposed Solutions

Non-structural element	Identified Risk	Proposed Solution	Solution Proposal Images	References
Metal Cabinets	Risk of the object tipping over in corridors, blocking evacuation routes, and causing student injury.	Secured to the uprights with full-length metal profiles and to the wall with screws from below.		(Cal OES, 2025)
Wheeled Equipment and Electronic Devices	Risk of sliding, rotating, tipping, and damage to equipment during an earthquake.	The devices must be fixed to the surface or their movement restricted.		(Cal OES, 2025)
Suspended Ceiling	Ceiling panels or support profiles collapsing during an earthquake, causing injury.	The use of cross bracing wires and vertical studs for securing to the ceiling. Lighting equipment is secured directly to the ceiling to reduce the load on the suspended ceiling.	 	(Cal OES, 2025) (FEMA, 2004)
Partition Walls	Formation of diagonal cracks, tipping, and falling of heavy pavements.	Creating flexible connection details; using lightweight and flexible drywall systems.	 	(Cal OES, 2025) (FEMA, 2012)

The table of proposed risk mitigation solutions summarizes a wide range of approaches, from traditional securing methods to interdisciplinary, disaster-focused designs. Correctly positioning objects, lowering their center of gravity, and anchoring structural elements to supports are the first and most cost-effective intervention measures. However, in situations where these methods prove insufficient, the most important vision outlined in the table is the integration of innovative products into schools, such as

specially designed earthquake resistant desks that can create a "triangle of life" during an earthquake. This approach offers a lasting and proactive strategy for ensuring student safety and increasing social resilience.

CONCLUSION

As a result of the study, the risks posed by non-structural elements in school buildings are tabulated and systematically classified. The categorization of these risks and the identification of potential damages provide input data for developing solutions to this issue. The study demonstrates that making educational buildings fully resistant to earthquakes is possible not only through the robustness of the load-bearing systems but also through the safe positioning of non-structural elements. In schools, where students spend a large part of the day and which serve as emergency assembly or shelter areas after a disaster, elements such as unsecured heavy cabinets, suspended ceiling elements, and heavy partition walls pose dangers such as serious injury and blockage of evacuation routes. To mitigate these risks, it is essential to accurately identify hazards, properly position and secure furniture to load-bearing systems, and integrate alternative disaster-oriented design products into schools that can create a “triangle of life” by distributing the load during an earthquake, instead of standard furniture. Including all these non-structural safety measures in legal regulations from the architectural design phase, rather than leaving them to individual discretion, is a crucial step in creating a safe environment in schools, preventing loss of life, and ensuring a swift return to normal educational activities after a disaster.

REFERENCES

Bayraktar, H., Sahtiyancı, E., & Kuru, A. (2019). Risk değerlendirme matris yöntemi kullanarak okullarda deprem kaynaklı yapısal olmayan risklerin olası etkilerinin belirlenmesi. Afet ve Risk Dergisi, 2(2), 128-152. https://doi.org/10.35341/afet.624745

Büyükkaragöz, A., & Cantürk, R. (2018). Sanayi Yapılarındaki Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(2), 426-435. https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.381946

California Governor's Office of Emergency Services [Cal OES]. (2025). Guide and checklist for nonstructural earthquake hazards in California schools. https://www.caloes.ca.gov/wp-content/uploads/Earthquake-Tsunami-Volcano/Earthquake/CalOES-School-Nonstructural-Guide-12.1.25.pdf

Charleson, A. (2008). Seismic Design for Architects: Outwitting the Quake, pp. 157-186, Architectural Press, Oxford, England.

Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2004). Design guide for improving school safety in earthquakes, floods, and high winds (FEMA 424). https://asfpm-library.s3-us-west-2.amazonaws.com/General/FEMA_Design_Guide+_School_Safety_2004.pdf

Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2012). Reducing the risks of nonstructural earthquake damage: A practical guide (FEMA E-74). U.S. Department of Homeland Security.

İstanbul Teknik Üniversitesi [İTÜ]. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ön inceleme raporu. https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_deprem_on_raporu.pdf?sfvrsn=77afe59e_4

İlki, A., Demir, C., Cömert, M., & Halıcı, Ö. F. (2019). Betonarme ve yığma binalarda deprem kaynaklı hasarlar ve hasar tespiti. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı & İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Kaya, İ., & Şahan, C. (2023). Depreme Karşı Okul Binalarında Yapısal Olmayan Tehlikelere Alternatif Mobilya Tasarım Önerileri. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 13(2), 1907-1928. https://doi.org/10.48146/odusobiad.1182522

Polat, A. I., & Gül, M. (2023). An analysis of mitigation measures for furniture in education buildings to prevent earthquake hazards. Journal of Interior Design and Academy, 3(1), 77-95. https://doi.org/10.53463/inda.20230186

Sarı, O. T., & Aktar, E. (2017). Deprem sonrasi yapılan/yapılacak binalarda engelli ve yaşlılara dönük düzenlemelere ilişkin uygulayıcıların görüşleri:Van ili örneği. İnsan Ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 6(1), 482-499. https://doi.org/10.15869/itobiad.261772

Sweet, T., & Tucker, R. (2018). Resilient Furniture Design: A Reconceived School Table for Earthquake Safety. The International Journal of Designed Objects, 12(2), 1-14. https://doi.org/10.18848/2325-1379/CGP/v12i02/1-14

YOĞUN KULLANIMLI KENTSEL MEYDANLARDA KAMUSAL OTURMA ELEMANLARININ YENİDEN DÜŞÜNÜLMESİ: EMİNÖNÜ MEYDANI ÜZERİNDEN TASARIM ÖNERİLERİ

Aslınur AYRIÇ

Istanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü

Dr. Ayşe Gül GEMCİ

Istanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, ORCID: 0000-0003-1856-5336

ÖZET

Kamusal oturma elemanları, kentsel kamusal mekânların temel bileşenlerinden biri olmasına rağmen çoğu zaman yeterince dikkate alınmayan tasarım unsurları arasında yer almaktadır. Özellikle yoğun kullanıma sahip kentsel çevrelerde bu elemanlar, bireylerin dinlenme, sosyalleşme ve çevreleriyle etkileşim kurma biçimlerini doğrudan etkilemektedir. Buna karşın, kamusal oturma altyapısının planlanması ve tasarımında kullanıcı davranışları ile kullanıcı gereksinimlerinin çoğu zaman yeterince dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu çalışma, İstanbul'un en yoğun kullanılan kamusal alanlarından biri olan Eminönü Meydanı'ndaki oturma elemanlarını inceleyerek bu eksikliğe katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, mekânsal gözlem, tipolojik analiz ve yarı yapılandırılmış görüşmeleri bir araya getiren nitel bir durum çalışması yaklaşımına dayanmaktadır. İlk aşamada, çalışma alanında yer alan mevcut oturma elemanları sistematik olarak belgelenmiş; fiziksel özellikleri, mekânsal dağılımları ve işlevsel nitelikleri doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Bu süreç, meydan ve yakın çevresindeki, mevcut oturma altyapısının kapsamlı bir envanterinin oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında, kamusal oturma elemanlarını aktif olarak kullanan 52 kişiyle yerinde görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara oturma gereksinimlerinin hangi koşullarda ortaya çıktığı, oturma yeri tercihlerini etkileyen faktörler, kullanım süreleri ve mevcut oturma elemanlarına ilişkin beklentileri sorulmuştur. Bulgular, oturma tercihlerini yalnızca ergonomik özelliklerin değil; gölgelilik, yaya hareketliliğine yakınlık, görüş olanakları, sosyal etkileşim fırsatları ve yoğun kentsel ortam içerisinde kısa süreli dinlenme gereksinimi gibi çevresel ve davranışsal faktörlerin de belirlediğini göstermektedir. Analizler, mevcut oturma düzenlemelerinin kullanıcı beklentilerindeki çeşitliliği yeterince karşılayamadığını ortaya koymaktadır.

Tipolojik analiz ve kullanıcı görüşmelerinden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda iki alternatif oturma modeli geliştirilmiştir. Bu tasarım önerileri; konfor, uyarlanabilirlik ve kapsayıcılık ilkelerini ön plana çıkararak mevcut uygulamalarda tespit edilen eksiklikleri gidermeyi hedeflemektedir. Çalışma, kullanıcı deneyimlerinin kamusal mekân tasarımına dâhil edilmesinin daha duyarlı ve insan odaklı tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle araştırma, yoğun kullanım baskısı altındaki çağdaş kent meydanlarının niteliği ve kullanılabilirliği üzerine yürütülen tartışmalara katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kamusal meydanlar, kamusal oturma elemanları, kent mobilyaları, kullanıcı deneyimi, Eminönü Meydanı, İstanbul.

RETHINKING PUBLIC SEATING IN HIGH-DENSITY URBAN SQUARES: DESIGN PROPOSALS FROM EMINÖNÜ, ISTANBUL

Abstract

Public seating is a fundamental yet frequently overlooked element of urban public space. In high-density environments, it directly shapes how people rest, socialise, and engage with their surroundings. Despite its significance, seating infrastructure is often planned without adequate attention to how users actually behave or what they genuinely need. This study addresses that gap by examining public seating in Eminönü Square, one of Istanbul's most intensively used public spaces.

The research follows a qualitative case-study approach that combines spatial observation, typological analysis, and semi-structured interviews. In the first phase, existing seating elements were systematically documented and classified according to their physical characteristics, spatial distribution, and functional attributes. This mapping provided a clear picture of what is currently available across the square and its immediate surroundings. In the second phase, on-site interviews were conducted with 52 users actively using public seating. Participants were asked about what prompted them to sit, how they chose where to sit, how long they typically stayed, and what they wished were different. The findings show that seating choices are shaped not only by ergonomic factors but also by shade, proximity to pedestrian flows, visibility, opportunities for social contact, and the desire to briefly step back from the intensity of urban life. The analysis reveals that current seating provision fails to reflect this range of expectations.

Drawing on both the typological survey and the user interviews, two alternative seating models are proposed. These designs aim to correct the shortcomings of existing infrastructure by prioritising comfort, adaptability, and inclusivity. The study demonstrates how listening to users can lead to more responsive and human-centred approaches to public space design, an increasingly relevant concern for contemporary city squares under growing pressure from dense urban use.

Keywords: *Urban squares, public seating, urban furniture, Istanbul Eminonu,*

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

THE ROLE OF LIBRARIES IN THE DIGITAL SOCIALIZATION PROCESS: A MULTIDIMENSIONAL THEORETICAL ANALYSIS

DİJİTAL SOSYALLEŞME SÜRECINDE KÜTÜPHANELERİN ROLÜ: ÇOK BOYUTLU KURAMSAL BIR ANALİZ

Prof. Dr. Güler DEMİR

Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Bilgi ve Belge Yönetimi Bölümü, Kuzeykent, Kastamonu, ORCID NO: 0000-0002-3934-1596

ABSTRACT

This study, which aims to explore the concepts of socialization and digital socialization, emphasizes their theoretical foundations and contemporary dynamics, and highlights their etymological roots and definitions, underscoring their roles in personality development, cultural transmission, and societal integration. With the advent of digital technologies, socialization has transitioned from traditional face-to-face interactions to digital environments, fostering new forms of communication and social bonds. The paper examines the tools and processes of digital socialization—including online communities, social media platforms, virtual events, and digital content—along with their implications for individuals and communities. It also discusses the roles of digital libraries, digital reality tools, and maker spaces in enhancing social interaction and cultural participation in the digital sphere. Despite the numerous opportunities, digital socialization also raises challenges such as technological limitations, the digital divide, information security, and the need for digital literacy. According to the findings, understanding the mechanisms of digital socialization is vital for harnessing its benefits while mitigating associated risks, thereby contributing to the development of inclusive and effective digital social environments.

Keywords: Digital socialization, digital transformation, information and communication technologies (ICT), artificial intelligence (AI), digital reality technologies, library.

ÖZ

Bu çalışma, sosyalleşme ve dijital sosyalleşme kavramlarını incelemeyi amaçlamakta; bu kavramların kuramsal temellerini ve çağdaş dinamiklerini vurgulamakta, etimolojik kökenlerini ve tanımlarını öne çıkarmakta ve kişilik gelişimi, kültürel aktarım ve toplumsal bütünleşmedeki rollerini vurgulamaktadır. Dijital teknolojilerin ortaya çıkmasıyla birlikte, sosyalleşme geleneksel yüz yüze etkileşimlerden dijital ortamlara taşınmış, yeni iletişim biçimleri ve sosyal bağlar geliştirmiştir. Makale, çevrimiçi topluluklar, sosyal medya platformları, sanal etkinlikler ve dijital içerikler de dahil olmak üzere dijital sosyalleşmenin araçlarını ve süreçlerini, bireyler ve topluluklar üzerindeki etkileriyle birlikte incelemektedir. Ayrıca, dijital kütüphanelerin, dijital gerçeklik araçlarının ve maker alanlarının dijital alanda sosyal etkileşimi ve kültürel katılımı artırmadaki rollerini de tartışmaktadır. Dijital sosyalleşme, sunduğu çok sayıda fırsata karşın, teknolojik sınırlamalar, dijital uçurum, bilgi güvenliği ve dijital okuryazarlık gereksinimi gibi zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bulgulara göre, dijital sosyalleşmenin faydalarından yararlanırken ilgili riskleri azaltmak ve böylece kapsayıcı ve etkili dijital sosyal ortamların geliştirilmesine katkıda bulunmak için bu baglama ilişkin mekanizmaları anlamak, yaşamsal önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Dijital sosyalleşme, dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT), yapay zekâ (YZ), dijital gerçeklik teknolojileri, kütüphane.

INTRODUCTION

Globalization and rapidly evolving, converging technologies have significantly transformed social interactions and communication patterns in virtually every context, both individual and institutional. Digital socialization, the process by which individuals communicate, interact, and form social connections through digital platforms, has become a central element of contemporary social life. These changes are particularly evident within libraries, which traditionally served as physical spaces for information dissemination and community engagement but are increasingly integrating digital and technological tools and platforms to enhance user experiences and foster social connections. Digitalization in library settings should not be considered solely through its technological framework, as the sociological and cultural implications of this transformation have raised significant questions. In this context, the integration of socialization not only reflects broader societal shifts toward digitalization but also a significant transformation concerning its impact on social cohesion, access to information, and educational processes. As libraries evolve into dynamic spaces supporting both physical and virtual interactions, understanding the underlying mechanisms and dynamics of digital socialization is vital for researchers, practitioners, and policymakers. This study aims to examine the meaning, evolution, and dynamics driving digital socialization in library settings from a comprehensive theoretical and conceptual perspective. By investigating the interaction between digital platforms and social processes in libraries, the research aims to contribute to the growing body of knowledge regarding digital transformation in information institutions and its impact on social interactions in the digital age.

METHODS AND DATA COLLECTION TOOLS

This study used a semi-systematic literature review to examine the theoretical foundations and contemporary dynamics of the concept of digital socialization. A semi-systematic review systematically collects and analyzes different perspectives and themes from a wide range of sources across disciplines or research traditions to answer a specific research question. Subcategorization and analysis through themes are fundamental characteristics of this method (Snyder, 2019, p. 334).

During the literature review, keywords and concepts such as “digital socialization,” “digital transformation,” “information and communication technologies (ICT),” “social media,” “digital content,” “digital libraries,” “virtual events,” and “digital reality technologies” were used as the basis. Within this scope, studies retrieved from academic databases, digital libraries, and relevant literature sources were systematically classified using content analysis and thematic coding. A semi-systematic review approach was used to comprehensively and systematically scan and analyze the literature. This method enabled a detailed examination of the tools and processes offered by digital environments, with particular focus on online communities, social media platforms, virtual events, mobile and digital content, and digital libraries. In this process, the mechanisms, tools, and processes of digital socialization were systematically analyzed, taking into account technological transformations and societal dynamics, as well as the opportunities and challenges encountered. As a result, the forms of communication and interaction within societies in the digital environment were comprehensively evaluated in light of developments in the literature and technological innovations, reflecting the current state of the field.

The Concepts of Socialization and Digital Socialization

The term "socialization" is defined in several ways by various dictionaries. According to the Türk Dil Kurumu (n.d.), it is "the process through which individuals develop their personalities, prepare for specific social environments, and integrate into society." The Merriam-Webster Dictionary (n.d.) describes it as "the process beginning during childhood by which individuals acquire the values, habits, and attitudes of a society." The Oxford University (n.d.) explains it as "the process by which somebody, especially a child, learns to behave in a way that is acceptable in their society." Finally, the Cambridge University (n.d.) defines socialization as "the process of training people or animals to behave in a way that others in the group consider suitable".

When the concept of socialization is examined in the context of its etymological meaning and evolution, it is derived from the Latin word "socialis." The Latin word "socialis" means "friendship, companionship, living together" and is derived from the word "socius" (companion, partner). "Socius," in turn, comes from a root word in ancient languages meaning "follower, companion" and conveys the idea of "living together" or "acting together." It was first used in the mid-19th century to mean "socialization" or "establishing social relationships." This term refers to the process by which individuals communicate with other people in society, interact with them, and adapt to social norms.

The word "social," on the other hand, began to be used from the 15th century onwards to mean "relating to home life or family life," and later, around the 16th century, it acquired the meaning of "living or being together with others." This word is derived from the Latin word "socialis" and carries the meanings of "acting together, forming friendships, being in partnership." Furthermore, it derives from the word "socius," meaning "companion, friend." In short, both words inherently encompass the concepts of "living together, friendship, and partnership," and, over time, have been used to describe the relationships individuals form with others within a society and the development of those relationships (Douglas Harper, 2026a; Douglas Harper, 2026b).

Bozkurt (2013, pp. 111-112) defines socialization as the process of learning and internalizing societal culture, providing individuals with identity and transmitting culture across generations, influenced by biological and environmental factors, with the latter being especially significant.

Tatar (2022, p. 147) describes it as the process by which individuals develop by learning societal values, norms, and behaviors from their environment, which is essential for identity and social harmony and continues throughout life.

Today, technological advancements have transformed socialization into digital socialization, where interactions occur via social media and virtual environments, expanding social bonds across distances and adding new dimensions to social norms.

Digital socialization uses digital environments as complements or replacements for traditional methods, especially among youth, fulfilling needs for self-expression and acceptance (Avşar Arık & Şahin Kütük, 2022, pp. 221-222). This evolution has altered how identities are formed and social bonds are built, underscoring the importance of examining the current digital dynamics of socialization. In this context, it is necessary to examine the evolution and current dynamics of socialization in light of the widespread use of digital technologies and the internet.

The Evolution and Current Dynamics of Digital Socialization

Digital platforms that young people are especially closely connected to are vital for communication, socialization, and access to information. These tools enable easy communication with friends, meeting people from diverse cultures, and expanding social circles. Social media allows youth to express themselves, their thoughts and feelings, and access information quickly, supporting research and educational growth. Additionally, digital tools support young people in developing their entrepreneurial and innovative skills (Csiszarik-Kocsir & Berenyi, 2023, pp. 173-174). This process is essential to building social skills and understanding norms through online interactions. Since technology advances, its importance increases, shaping how young people connect and communicate. Engaging digitally also helps teenagers explore cultural trends and values, fostering enthusiasm and curiosity (Khalid et al., 2025, p. 1).

The digital age has significantly transformed socialization, dividing it into "pre-digitalization" and "post-digitalization" periods, marking a major shift in social relationships (Khang et al., 2024). Traditional face-to-face interactions have increasingly been replaced by digital environments and social networks, especially among young people, while adults tend to prefer real-life relationships. Digital socialization offers benefits such as easy access to information, meeting more people, and career opportunities, but also has drawbacks, such as reduced real-life communication, which can negatively impact mental

health and social skills. Excessive virtual engagement may lead to detachment from reality, but when used appropriately, digital platforms can support personal growth and networking. Ultimately, traditional and digital socialization should complement each other—leveraging digital benefits without losing real-life connections. Since the 1990s, with the rise of widespread computer technology, Generation Z and Y have been called the "digital generation," experiencing socialization and personal development in ways vastly different from previous generations due to ongoing internet use and changing communication patterns (Kryshtanovskaya et al., 2022, p. 347).

The development of digital socialization is closely linked to the third digital revolution, characterized by advances in digital technologies, widespread computer use, and the rapid spread of the internet and mobile devices. This period has transformed communication and cultural practices, creating a new digital social environment alongside traditional socialization processes (Soldatova, 2018, p. 71). In the 21st century, the integration of ICT into daily life has impacted social relations, consumption habits, education, and family communication, especially through social media, digital games, and mobile technology. These changes have led to new socialization dynamics, affecting children's social development, emotional communication, and value transmission—also in Türkiye (Evren, 2025, p. 1009).

Technological advancements and intergenerational shifts are core to digital socialization. The widespread use of the internet and social media encourages more virtual interactions and identity reconstruction. Differences between digital natives, who use technology fluently, and digital immigrants, who are more cautious, highlight varying communication habits. Additionally, the digital divide and intergenerational communication patterns influence these dynamics (Tur, 2019, pp. 13-23, 35-50). Just as transportation once shaped political structures, modern communication technologies are now shaping cultural, social, and political landscapes (Yavaşgel & Turdubaeva, 2021, p. 4).

Digital communication, alongside digital socialization, is characterized by purposeful, binary-coded messages transmitted through interactive channels allowing feedback and understanding (El-Astal & El-Youssef, 2025, p. 477) and involves individuals or groups exchanging ideas, forming communities, and strengthening social bonds through mutual interaction, transcending time and geographical boundaries. Digital environments facilitate self-expression, learning about others, and social connection, making digital communication and socialization core components of modern life.

However, these tools also entail risks and responsibilities. Users, especially students, must critically assess digital content and prioritize privacy and security. While digital platforms offer opportunities for relationship-building, they also pose dangers such as negative interactions and harmful content. Therefore, education and family guidance are essential to ensure safe and conscious use of digital tools, enabling young people to develop healthy digital socialization skills (Csiszarik-Kocsir & Berenyi, 2023, pp. 173-174).

Given all these developments and the impact of digital environments on social life, it is necessary to evaluate the tools and processes of digital socialization. Because the integration of traditional socialization processes with digital environments is fundamentally changing the communication styles of young people and societies, and creating new dynamics, at this point, focusing on the basic tools and workings of digital socialization is crucial for understanding the opportunities and risks offered by technology. Therefore, this section examines the fundamental mechanisms and tools of digital socialization to understand better how young people and societies interact in today's digital world.

Digital Socialization Tools and Processes

The most commonly used tools in digital socialization processes include, but are not limited to, online communities, forums, social media platforms, and content sharing, which enable users to interact individually and/or institutionally, transcending geographical boundaries. Webinars, online book clubs, and other virtual events, as well as podcasts, videos, and instant notifications, enable active user

participation through mobile devices and various platforms. This context is examined in more detail below:

Online Communities and Social Media: Online communities, social networks where individuals interact digitally, have gained popularity since the 1990s and serve both personal and organizational purposes. As social media platforms have evolved, these communities have diversified, allowing members to share, seek support, and foster a sense of belonging. They benefit from anonymity and social identity but also pose risks such as cyberbullying, addiction, and the formation of echo chambers that reinforce intolerance through algorithms and content preferences (Oksanen et al., 2024). Technological advancements and social media enable continuous, diverse online socialization, which can support psychological well-being and social needs. However, they can also lead to negative outcomes, such as polarization and hatred. Hence, digital socialization should complement, not replace, face-to-face communication, with conscious and ethical use promoting social integration and mental health.

The COVID-19 pandemic underscored the importance of online communities. With restrictions on physical interaction, platforms like WhatsApp and social networks became vital in maintaining social connections. These tools increased social cohesion and reduced loneliness by mimicking face-to-face interactions through messaging and video calls, thus supporting psychological well-being during isolation (Yenilmez Kaçar, 2023, pp. 421-423). This experience demonstrated that digital socialization can strengthen social bonds during crises, highlighting its essential role in modern life for meeting social needs and safeguarding mental health.

Virtual events: Virtual events, including conferences, webinars, live streams, podcasts, and hybrid formats, have become increasingly important, especially during the pandemic, in maintaining social connections across distances. These digital platforms facilitate communication, information sharing, and the formation of online communities, thereby increasing interaction and the sharing of experiences among participants (Iyer, 2022, pp. 2-5). Audio content tools like podcasts and online radio have also become part of daily life, strengthening social bonds by providing accessible social spaces, particularly when face-to-face interaction is limited. However, virtual interactions may not fully replicate the intimacy and natural bonds of in-person communication. Therefore, the success of virtual events depends on interactive, personalized approaches that promote active participation, making digital socialization sustainable and meaningful over the long term.

According to Anderson et al. (2007), virtual events enhance digital socialization by increasing interaction and information exchange when communication technologies are used effectively. The way these technologies are implemented and the roles of participants significantly influence outcomes; well-structured events promote equal and open communication, while poorly organized ones can limit interaction. Consequently, the organization and technological design of virtual events are critical in supporting effective digital socialization.

Mobile and Digital Content:

According to Lv and Zhan (2024, pp. 14-16), mobile and digital content—particularly short videos, live streams, and notifications—accelerate and diversify social interactions. The widespread use of mobile internet enables users to engage across platforms at any time, establishing direct connections through visual communication tools such as images and videos. This rapid sharing meets emotional needs, while platform algorithms reinforce dependence and strengthen users' sense of social belonging, which is vital for digital socialization (Lv & Zhan, 2024).

Similarly, Calderón Gómez (2020, pp. 226–229) highlights that young people's digital experiences are heavily shaped by mobile content, such as videos, podcasts, and notifications. These tools increase motivation, sustain interest, and integrate seamlessly into daily life, fostering interaction, trust, and a sense of belonging. Active use of these resources enhances digital social participation and connection, making them essential for maintaining social bonds in the digital age.

While mobile applications and augmented reality (AR) support social interaction, they pose challenges for verifying information and ensuring reliability. Studies indicate that intra-group dynamics, leadership,

disagreements, and communication styles influence access to accurate information. Differences in strategies for information retrieval and assessment can hinder effective verification and shape socialization patterns. The effectiveness of digital socialization thus depends more on intra-group communication and interaction than on technological opportunities alone, underscoring the importance of managing these processes to ensure reliable information sharing (Jahnke & Kroll, 2018).

In light of comprehensive assessments of the fundamental tools and dynamics of all digital socialization processes, focusing on the practical application of these processes at the societal and individual levels is of paramount importance. Libraries, in particular, stand out as significant environments where digital socialization takes place and is shaped. In this context, examining the role and impact of libraries on digital socialization will offer a holistic, application-oriented perspective. Therefore, this section below, titled "Digital Socialization in Libraries," aims to detail the role and opportunities libraries play in digital socialization.

DIGITAL SOCIALIZATION IN LIBRARIES

Today, libraries have evolved from merely places for reading and borrowing to dynamic, interactive spaces enabled by emerging technologies. Concepts such as digital, smart, and metaverse libraries exemplify this transformation, positioning digital libraries not only as repositories of information but also as social systems that foster interaction, cultural exchange, and participation. Advances such as artificial intelligence will further enhance the personalized and efficient use of information, strengthening societal information flows and promoting social ties (Riley, 2024, p. 40).

Their primary roles in digital socialization include sharing information, preserving cultural heritage, and promoting social justice. Digital libraries help protect regional and cultural assets—such as high-resolution images and metadata of Middle Eastern artifacts—making them accessible globally and preventing illegal transfers. This effort supports cultural preservation and provides a shared source of knowledge and identity for diverse audiences (Smith, 2016).

The success of digital socialization in libraries depends on the tools and processes used. Therefore, examining the technological tools, platforms, and application methods supporting this socialization is essential to understanding libraries' evolving role in digital communication and interaction.

Digital Socialization Tools and Processes in Libraries

As previously mentioned, online communities, forums, social media platforms, and content sharing, webinars, online book clubs, and other virtual events, as well as podcasts, videos, and push notifications, are the most commonly used tools in digital socialization processes. In this section, the roles of these and similar tools in the context of digital socialization in libraries are examined within the framework of the previously established general classifications of “online communities and social media”, “virtual events”, and “mobile and digital content”.

Online Communities and Social Media: The Context of Digital Socialization in Libraries

In digital socialization within libraries, social media plays a vital role in facilitating information sharing, increasing user interaction, and enriching the user experience. Social media platforms enable individuals and communities to create, share, and discuss content. At the same time, SNSs (Social Networking Sites) like Facebook, Twitter, and LinkedIn allow users to build profiles, connect with others, and foster communities. Key features include user-centricity, interaction, relationship-building, and emotional connections (Tella & Akinboro, 2015, pp. 282-285).

Libraries actively utilize social media to attract users and strengthen community ties through creative content (book recommendations, quotes, facts), interactive events (surveys, Q&A sessions, online book clubs), and feedback mechanisms. These efforts improve access to information and foster closer relationships with users, while innovative strategies promote digital collections and community engagement (Bayter & Yıldırım, 2023, pp. 198-199). Social media also supports event promotion, user

communication, education, and feedback collection, with platforms such as Facebook and Twitter particularly effective (Tella & Akinboro, 2015, pp. 285-291).

Tools such as Facebook, LinkedIn, and WhatsApp enhance users' research performance and facilitate communication, thus strengthening libraries' digital presence and promoting socialization among staff, stakeholders, and users (Das & Banerjee, 2025, p. 278). Especially in remote or geographically inaccessible areas, social media becomes essential for overcoming physical barriers. Kingsley (2018) highlights Alaska as an example, where internet access issues and vast distances make online communication crucial for community connection and access to services. He emphasizes the importance of selecting appropriate platforms for different age groups and audiences, advocating for strategic evaluation and increased use of social media tools.

Furthermore, social media transforms libraries into centers of community interaction and socialization. King and Poulin (2011, pp. 42-45) argue that sharing sincere, engaging content encourages active participation and strengthens community bonds. User-generated content, event sharing, questions, and comments enhance social ties and community awareness. Tools like Facebook Insights help libraries tailor content to their audiences, making digital socialization more personalized and effective.

Virtual Events: The Context of Digital Socialization in Libraries

Activities and events conducted in libraries using digital reality technologies are striking examples of digital socialization. Digital libraries form the fundamental infrastructure of digital socialization by increasing access to and sharing of information, and by encouraging online interaction and collaborative learning processes among users. Digital reality technologies (AR, VR, and MR) are also important components of this structure. To better understand the basics of the subject, it is helpful first to explain these concepts and their relationships.

A digital library is a digitized version of a traditional library. These structures contain digital copies of books, articles, images, and other resources. Users can access, search, and obtain information from this content online. This eliminates spatial limitations and facilitates access. Its function is to speed up access to information, increase accessibility, and make it easier for users to access information. A virtual library is a digital representation of a real physical library in a computer environment. Users can browse the library's shelves, books, and sections online, experiencing it as if they were in a real library. This is usually done using 3D graphics or 2D maps. Its function is to enhance the user experience, give the impression of a real visit, and allow navigation in a virtual environment. Augmented Reality (AR) is a technology that adds digital content to the real world. For example, while a user is standing in a real library with their phone or tablet, details of the book, author information, or interesting facts are displayed on their screen. AR enhances information and interaction by adding digital layers to the physical space. Its function is to enrich interaction in the physical environment, to access information more visually and interactively, and to improve the user experience. Virtual Reality (VR) creates a completely digital and artificial environment. By wearing VR glasses, the user can wander through a virtual library, browse books, select books, and access content. This happens entirely in a virtual environment without visiting a real library. Its function is to provide immersive experiences for education and research, to preserve historical or cultural heritage in a virtual environment, and to attract user interest (Pham et al., 2020).

The relationship between these concepts can be summarized as follows: A digital library is a fundamental source of information and provides easy access for users. A virtual library is a digital library representation that allows users to navigate in a more realistic, interactive way. AR (Augmented Reality) allows users to access information visually and interactively by adding digital content to a physical environment. VR (Virtual Reality) provides educational and cultural experiences by giving users a sense of reality in a completely artificial environment (Pham et al., 2020). Virtual Reality (VR) immerses users in a fully computer-generated environment, isolating them from the real world. In this environment, the perception of reality is disrupted, and users experience a high level of immersion, typically using VR headsets. Augmented Reality (AR), on the other hand, overlays digital content (such as images, text, or animations) onto a real-world environment in real time. This technology allows users

to interact with their surroundings while maintaining a sense of reality and providing a low to medium level of immersion. Mixed Reality (MR) combines real and virtual elements, offering a more advanced, complex experience in which physical and digital objects interact in real time. MR devices combine the real world and digital content, providing users with a high level of interaction and context. In short, VR offers a fully virtual environment, AR enriches the real world with digital content, and MR combines the best features of both (Adeyemo & Oduroye, 2025). When used together, these concepts facilitate users' access to information, enrich the learning and research experience, and contribute to the preservation of cultural heritage. For example, while a user visits a virtual museum with VR glasses, they can see additional information about the exhibited works via AR. Digital libraries provide the basic infrastructure that supports these experiences. In addition, these technologies and platforms support digital socialization by enabling users to interact, exchange ideas, and connect around common interests in virtual environments (Pham et al., 2020).

Digital reality (AR, VR, mixed reality) technologies enable users to have more interactive and accessible experiences in the library environment. Thanks to these technologies, users can easily identify sections within the library, and interactive environments can be created to support information search and learning. Furthermore, these technologies enhance information literacy, support user education, and promote the professional development of library staff. Digital reality technologies provide valuable opportunities that improve both access to information and user socialization. These technologies allow users to interact within virtual environments, share experiences, and strengthen their sense of community through shared interests. As a result, the opportunities for digital socialization enhance communication and information sharing among library users, leading to a more effective and interactive learning environment (Malgard et al., 2022, pp. 63-67).

VR and AR technologies facilitate user participation in the library environment, enabling them to communicate and collaborate through shared workspaces and interactive content in a virtual environment. This creates new forms of socialization that transcend physical limitations. Furthermore, AR and VR technologies remove geographical and physical barriers, allowing users from different locations to socialize in the same environment, ensuring equal participation, especially for users in remote or hard-to-reach areas. These technologies encourage collaborative projects and the sharing of experiences in a virtual environment, thereby fostering strong academic and social bonds among users. Moreover, by transferring social activities such as virtual seminars, workshops, and community events to the digital environment, new communities and collaboration spaces are formed beyond physical boundaries, thus fostering a culture of collective learning and sharing. All these elements demonstrate that AR and VR make socialization in libraries both accessible and interactive, enabling the formation of global and inclusive communities (Sreeramoj & Batcha, 2025, pp. 1-3). In conclusion, these technologies stand out as important tools that enhance socialization and service quality in libraries.

Although digital reality enhances information sharing, enables remote access, and opens new avenues for research networks and information exchange, several challenges remain, including insufficient financial resources, difficulties establishing an effective communication infrastructure, inadequate staff training and technology use, security concerns, and barriers to information sharing. Additionally, some library staff struggle to adapt to new technologies, and users have low levels of digital literacy, further complicating these issues (Malgard et al., 2022, pp. 66-67). For example, Stanford University's libraries face challenges with AR and VR technologies, including high costs and technical complexity. Furthermore, user privacy concerns and data security risks are also prominent issues. Proposed solutions to these problems include collaborating with technology providers and using open-source tools to reduce costs, developing user-friendly interfaces, and implementing strong encryption and security protocols to protect privacy (Sreeramoj & Batcha, 2025, p. 3).

Suggestions for addressing these challenges include providing financial support and fostering public-private partnerships, collaborating with technology providers, using open-source tools to reduce costs, investing in staff training, organizing training programs to improve users' digital literacy, developing user-friendly interfaces, strengthening security protocols, and implementing strong encryption and security protocols to protect privacy. Furthermore, improving and sustaining technological

infrastructure is crucial, while digital reality technologies enhance socialization in libraries, encouraging user interaction, facilitating information sharing, and strengthening a sense of community. Through digital socialization opportunities, users can interact in virtual environments, connect on shared interests, and make information exchange more accessible (Malgard et al., 2022, pp. 66-67; Sreeramoj & Batcha, 2025, p. 3).

Mobile and Digital Content: The Context of Digital Socialization in Libraries

Mobile applications (or "apps") are software programs that run on mobile devices such as smartphones and tablets. These applications allow users to access library hours, account information, catalogs, news, and multimedia content. They are developed for different platforms (iOS, Android, Windows) and aim to enable users to easily access information, interact with the library, and use library services more effectively. Mobile applications can be classified into three main categories: "native applications," which are applications developed specifically for a particular operating system such as iOS or Android; "websites or web applications that are accessed through a browser and have a responsive design"; and "hybrid applications," which combine both web and native features. These applications enable libraries to offer more accessible and interactive services to their users. Mobile applications should be developed with key considerations such as security, reliability, and cost (Mishra et al., 2017, pp. 28-30).

The use of mobile applications and digital content in libraries is rapidly increasing to speed up and facilitate users' access to information. Mobile applications enable users to access library services from anywhere, at any time, and are a significant part of digital socialization. Various applications aimed at increasing user access to information and interaction in libraries include mobile catalogs, websites, QR codes, and communication tools such as WhatsApp and SMS. These tools enhance user interaction with the library and support digital socialization. The use of digital content (e.g., mobile databases, e-books, and digital platforms) facilitates and increases user access to information and encourages social interaction. The use of this content makes it easier for users to share information and communicate through social networks (Singh & Madhusudhan, 2023, pp. 89-90). In particular, social media integration and mobile communication tools support the social interaction and information exchange of library users. On the other hand, there is a need to develop new technologies and applications to increase the contribution of mobile and digital content to digital socialization in libraries. Furthermore, it is believed that digital socialization can be made more effective by better understanding user behavior and needs and by strengthening the technological infrastructure (Singh & Madhusudhan, 2023, pp. 91-97).

Mobile applications and digital content facilitate users' access to information and communication, thereby strengthening digital socialization. In particular, library catalogs, OPACs (Online Public Access Catalogs), news, multimedia educational materials, and social media integrations enhance user interaction with the library. Through this content, users can access not only information but also opportunities for sharing and communication (Mishra et al., 2017, pp. 27-29).

In the context of digital socialization, digital libraries and their content are also crucial, as they support user socialization and community interaction in many ways. In particular, Web 2.0 tools and user-generated content (e.g., tagging and reviewing) strengthen the social dimension of digital collections. This content allows users to form communities and socialize around collections. Therefore, digital libraries and their digital content not only provide access to information but also encourage user interaction and community building. With Web 2.0 tools, users can add content, discuss collections, and share information. This transformation has ensured the integration of library content and collections into social and community life. In particular, user participation in content production and the socialization of collections will play a significant role in the future of digital libraries (Verheul, 2010, pp. 77-78).

Among the areas that encourage digital socialization in libraries, makerspaces stand out. Equipped with digital production tools, 3D printers, coding stations, and other resources, these creative spaces foster innovation by allowing users to experiment with technology and develop new skills. These creative spaces also support STEM education by providing hands-on learning experiences in engineering, robotics, and design. Furthermore, they encourage collaboration, allowing users to work on projects and share information. By integrating creative spaces, libraries have transformed into centers of creativity

and technology (Pawar, 2025, p. 56). Makerspaces are physical spaces that provide users with access to a range of technological equipment and tools, enabling them to develop customized projects tailored to their interests and the community's. These spaces, especially when integrated with digital libraries, facilitate access to and sharing of information, contributing to the development of users' creative and productive skills. In conjunction with the functions of digital libraries, makerspaces support users in acquiring skills such as active learning, problem-solving, collaboration, and socialization, while simultaneously fostering innovation and entrepreneurship within the community. However, challenges such as high costs, lack of technological infrastructure, and insufficient training and technical support hinder the widespread adoption of these spaces. To overcome these problems, sustainable funding should be secured, the technological and creative skills of users and staff should be enhanced, and collaboration and information sharing between institutions should be encouraged. Furthermore, planning makerspaces to integrate with digital libraries in ways that increase access to and use of digital content will be a significant step toward supporting lifelong learning and innovative initiatives in the community (Hartnett, 2016, pp. 20–25).

In light of these comprehensive assessments, the various challenges faced by digital libraries and digital socialization processes, as well as potential solutions, should also be considered. These issues, concerning the development, sustainability, and effectiveness of digital libraries' technological infrastructure, directly affect both user experience and service quality. In this context, overcoming existing limitations in technological, financial, and human resources in digital libraries is crucial to increasing the efficiency of digital socialization processes. Furthermore, raising users' digital literacy and addressing security issues are fundamental to creating a sustainable and inclusive digital library ecosystem. A framework is outlined below in this context.

FINDINGS: CHALLENGES AND RECOMMENDATIONS IN THE CONTEXT OF DIGITAL SOCIALIZATION IN LIBRARIES

Digital libraries are essential in providing hubs for accessing information and fostering social connection, transforming how we obtain resources and interact online. However, they face challenges such as limited budgets, infrastructure issues, access barriers, and the digital divide. Additionally, reduced face-to-face contact and superficial communication can hinder meaningful socialization, leading to loneliness and weaker social bonds. These issues can negatively affect users' ability to form lasting relationships and impact digital socialization. The main issues faced by digital libraries are as follows:

Cost Issues and Technological Integration Challenges: Cost and technological challenges retard libraries from remaining current with rapid innovations such as AI, blockchain, and IoT. Outdated and/or incompatible systems struggle to integrate with new tools, causing malfunctions and management issues (Pawar, 2025, pp. 57-58; Sharma et al., 2025, p. 168). The high costs of advanced technologies, such as RFID and VR/AR, strain budgets, especially for smaller or developing-region libraries. Improving infrastructure, internet access, staff training, and securing sustainable funding are essential for better service quality and development to address these problems (Agbetuyi & Olorunyomi, 2025, p. 8; Hapsari & Haryanto, 2024, pp. 6-7; Pawar, 2025, p. 57; Rahman et al., 2025, pp. 7917-7920; Sharma et al., 2025, p. 168).

Digital Inclusion: Digital libraries aim to provide equal access to information, skills, and services, especially for disadvantaged communities in rural areas (Sharma et al., 2025, p. 169). Addressing the digital divide and improving digital literacy requires training, better infrastructure, and public-private partnerships. Collaborative efforts among institutions and stakeholders are essential for achieving digital inclusion (Ehrenberg, Hergatacorzian, & Keinonen, 2024, pp. 60-61).

Digital literacy and User Training: Many libraries face challenges due to users' low digital literacy, which hampers access to digital content and can lead to misinformation (Inamdar, 2021, p. 502). To tackle this, libraries should offer digital literacy training, workshops, and improve their technological

infrastructure (Inamdar, 2021, pp. 503-504). Additionally, providing online courses can promote lifelong learning and enhance digital skills, as seen during the COVID-19 pandemic (Sharma et al., 2025, p. 169).

Training of Library Staff: Traditional library training focused on physical collections and basic skills, but digital changes require new, flexible approaches (Joint, 2003, pp. 417-418). The constructivist model emphasizes collaborative learning, risk-taking, and continuous development, moving away from rigid, annual evaluations (Joint, 2003, pp. 420-421). Librarian training must now include AI and algorithmic literacy to manage complex information systems ethically and effectively, transforming librarians into critical thinkers and innovators. Human resources are key; librarians need strong IT infrastructure, technical skills, and ethical awareness, but they face challenges such as inadequate infrastructure and limited training (Nguyen, 2026, p. 3; Shahzad et al., 2024, pp. 648-653). To address these issues, institutions should develop strategic plans, provide ongoing training, engage in international collaboration, and foster innovative, user-focused solutions.

Digital Rights and Licensing Issues: Digital rights and licensing issues in libraries involve challenges in adapting copyright laws to the digital environment, including risks of unauthorized sharing, Digital Rights Management (DRM) restrictions, and legal ambiguities across borders (Nagar, 2025). Digitizing materials requires identifying copyright holders and obtaining licenses, while patenting and branding also pose challenges (Nithyananda & Kohila, 2023, pp. 300-304). Proposed solutions include comprehensive licensing agreements, open-access models, Creative Commons licenses, international cooperation, and flexible legal frameworks to ensure legal, safe use of digital content (Nagar, 2025; Nithyananda & Kohila, 2023, pp. 300-304).

Data Privacy and Security: Data privacy and security in digital libraries are vital, as user information is vulnerable to hacking, data breaches, and cyberattacks (Sharma et al., 2025, p. 169). Protecting content and ensuring long-term preservation require strong cybersecurity measures, encryption, updates, access controls, and user awareness to prevent data loss and safeguard privacy (Swaminathan, 2024, pp. 10084-10085).

The tension between traditional socialization and digital social connections: Traditional libraries have always been seen as welcoming places where people can come together and socialize. Nevertheless, as we move into a digital age, online libraries need to find new ways to encourage genuine connections, help reduce feelings of loneliness, and stop negative behaviors from taking hold, especially as social isolation grows (Finlay & Haddon, 2023, pp. 75-76). Even though virtual spaces offer people the freedom to express themselves, they often lack the emotional closeness and authenticity of face-to-face interactions. This can sometimes make loneliness worse and weaken genuine social bonds, as online identities can feel superficial and influenced by external pressures (Hood, 2012; İşman, Buluş, & Yüzüncüyıl, 2016, pp. 614-615). To address this, it is helpful to create inclusive, engaging programs, set clear moderation rules, and build safe virtual environments where people feel comfortable connecting and forming meaningful relationships (Finlay & Haddon, 2023).

The issues discussed so far can significantly hinder the effectiveness and social functionality of digital libraries. Addressing these challenges through solutions such as infrastructure development, increased funding, and user training can improve the efficiency of digital libraries, enhancing both accessibility and social connections.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study comprehensively examines the evolution and contemporary dynamics of digital socialization, revealing the role and impact of information and communication technologies (ICT) in library environments. Digital socialization, moving beyond traditional face-to-face communication, has transformed how individuals and societies interact through virtual environments, creating new spaces for interaction and participation. This transformation, particularly in libraries, offers new opportunities for cultural transmission and social integration, as well as facilitating access to information. The study

demonstrates that digital platforms, social media, virtual events, and digital content are fundamental tools in strengthening users' social connections and increasing cultural engagement.

Libraries have transcended being mere information centers and have become social systems with the development of digital technologies. Digital libraries play crucial roles in preserving cultural heritage, expanding access, and promoting social justice. However, this transformation also poses various challenges. In particular, insufficient technological infrastructure, financial constraints, the digital divide, information security, and lack of digital literacy are key obstacles limiting the effectiveness of digital socialization. At this point, the importance of strategic approaches such as sustainable funding, infrastructure development, staff training, and increasing users' digital literacy levels becomes apparent. Furthermore, there is a need to address legal and ethical issues, including digital rights, licensing, and data privacy. In this context, international collaborations and legal reforms are fundamental to ensuring the safe and lawful use of digital content.

Moreover, digital reality technologies (e.g., AR, VR, MR) enhance users' access to information and interaction, and facilitate the establishment of social connections in a virtual environment. These technologies encourage social participation, even for individuals living in hard-to-reach areas, by eliminating geographic and physical barriers. However, problems such as high costs, infrastructure deficiencies, and low levels of digital literacy among users hinder the widespread adoption of these technologies. Therefore, strengthening technological infrastructure, reducing costs, and increasing user training are critically important.

Furthermore, the use of mobile and digital content facilitates users' access to and sharing of information, and supports social interaction. Mobile applications and digital content have transformed how information is accessed and communicated, especially among younger generations, and have become fundamental elements of digital socialization. However, issues of content verification and reliability require careful management to prevent the spread of misinformation and information pollution.

In conclusion, to make digital socialization in libraries effective and sustainable, it is essential to invest in infrastructure and human resources, enhance users' digital literacy, and implement appropriate legal regulations. Library managers and policymakers should closely monitor technological advancements to maximize the opportunities provided by digital environments and develop strategies to mitigate associated risks.

In the future, the continued development of digital technologies and their integration into social structures will allow libraries to evolve from mere access points for information into sustainable, inclusive centers for digital socialization. This transformation is crucial for fostering information societies and promoting social integration.

REFERENCES

Adeyemo, O., & Oduroye, A. P. (2025). Differences between Virtual, Augmented and Mixed Reality. *Conference: Postgraduate Class Seminar Series Presentation*. Doi: 10.13140/RG.2.2.34743.84643. https://www.researchgate.net/publication/393330083_Differences_between_Virtual_Augmented_and_Mixed_Reality

Agbetuyi, P. A., & Olorunyomi, G. T. (2025). Digital technologies' adoption by academic libraries for sustainable development in an evolving technological age in South-west, Nigeria. *Tropical Journal of Education*, 7(1/2), 1-10. Doi: http://doi.org/10.47524/tje.v7i1.9

Anderson, A. H., McEwan, R., & Bal, J. & Carletta, J. (2007). Virtual team meetings: An analysis of communication and context. *Computers in Human Behavior*, 23(5), 2558–2580.

Avşar Arık, I., & Şahin Kütük, B. (2022). The relationship between online socialization and online social identity. *Journal of Economy Culture and Society*, 66, 221–234.

Bayter, M., & Yıldırım, K. (2023). Dijital Kütüphaneler ve Sosyal Medyanın Sentezi: Bilgi Paylaşımında Yenilikçi Güç. Kütüphane Arşiv ve Müze Araştırmaları Dergisi, 4(2), 185-200.

Bozkurt, V. (2013). Değişen dünyada sosyoloji: Temeller, kavramlar, kurumlar. Ekin Yayınevi.

Calderón Gómez, D. (2020). Technological socialization and digital inclusion: Understanding digital literacy biographies among young people in Madrid. Social Inclusion, 8(2), 222–232. https://doi.org/10.17645/si.v8i2.2601

Cambridge University (n.d.). Socialization. In *Cambridge Dictionary*. https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/socialization

Csiszarik-Kocsir, A., & Berenyi, C. (2023). Digital device use as a function of digital socialisation among secondary school students. *2023 IEEE 21st Jubilee International Symposium On,* 000173–000178.

Das, A., & Banerjee, S. (2025). Use of social media in Library services: A case study of Universities in West Bengal. *Qualitative & Quantitative Methods in Libraries*, 14(3), 275–288.

Douglas Harper (2026a). Social. In *Etymonline, Online Etymology Dictionary*. https://www.etymonline.com/search?q=social

Douglas Harper (2026b). Socialization. In *Etymonline, Online Etymology Dictionary*. https://www.etymonline.com/search?q=socialization

Ehrenberg, N., Hergatacorzian, C., & Keinonen, T. (2024). Public libraries and digital service development: Bridging the gaps in company collaborations. *International Journal of Design*, 18(3), 59-70. https://doi.org/10.57698/v18i3.05

El-Astal, M. & El-Youssef, H. (2025). What is digital communication? Developing a conceptual definition of the term. *Forum for Linguistic Studies*, 7(1), 471-479.

Evren, M. (2025). The effect of digitalization on primary socialization in the family institution, *İçtimaiyat,* 9(2), 1009-1028. https://doi.org/10.33709/ictimaiyat.1756690

Finlay, S. C., & Haddon, J. (2023). Digital libraries as digital third place: Virtual programming in the age of loneliness. *Criss Library Faculty Proceedings & Presentations*. 141, 70-80. https://digitalcommons.unomaha.edu/crisslibfacproc/141

Hapsari, D. & Haryanto, A. G. F. (2024). Digital library innovation and challenges in supporting sustainable development through digital transformation. *BIS Information Technology and Computer Science*, 2, 1-8. Doi: 10.31603/bistycs.186

Hartnett, E. J. (2016). Why make? *Public Libraries*, 55(5), 20-25.

Hood, B. (2012). *Benlik yanılsaması: Sosyal beyin kimliği nasıl oluşturur*. E. Özdemir (Transl.). Ayrıntı Yayınları.

Inamdar, S. A. (2021). The role of libraries in promoting digital literacy in the 21st century. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR),* 8(8), 502-505.

Iyer, K. V. (2022). Virtual events and use of technology. *International Journal of Information Communication Technologies and Human Development*, 14(1),1-20 Doi: 10.4018/IJICTHD.299416

İşman, A., Buluş, B., & Yüzüncüyıl, K. S. (2016). Sosyalleşmenin dijitale dönüşümü ve dijital benliğin sunumu. *TRT Akademi*, 1(2), 608-619.

Jahnke, I., & Kroll, M. M. (2018). Exploring students' use of online sources in small groups with an augmented reality-based activity e group dynamics negatively affect identification of authentic online information. *Heliyon,* 4.

Joint, N (2003). Staff development and training in the digital library environment. *Library Review*, 52(9), 417–421, doi: https://doi.org/10.1108/00242530310501428

Khalid, K., Aftab, N., Ahmed, M., Khan, Z., & Muzaffar Janjua, M. (2025). Development and psychometric validation of the digital socialization scale. *Cogent Psychology*, 12(1). https://doi.org/10.1080/23311908.2025.2455805

Khang, A., Hahanov, V., Hajimahmud, V. A., Litvinova, E., Ali, R. N., & Alyar, A. V. (2024). The impact of the cyber-physical environment and digital environment on the socialization environment. In A. Khang, N. Ayedee, P. Kumar Dutta, S. Gupta &, S. Chatterjee (Eds.). *Revolutionizing the AI-digital landscape: A guide to sustainable emerging technologies for marketing professionals* (pp. 295–307). Routledge, Taylor and Francis.

King, D. L., & Poulin, E. T. (2011). Facebook for Libraries: It's easy to use social media's most popular tool to connect with your community. *American Libraries*, 42(5/6), 42–45.

Kingsley, I. (2018). Use of Social Media by Alaskan Libraries. *PNLA Quarterly*, 82(3/4), 62–72.

Kryshtanovskaya, O. V., Chernavin, Y. A. & Lavrov, I. A. (2022). Digital generation: Mechanisms of socialization and social prospects. In S. I. Ashmarina et al. (Eds.). *Proceedings of the International Scientific Conference "Smart Nations: Global Trends In The Digital Economy"* (pp. 346–354), LNNS 398, https://doi.org/10.1007/978-3-030-94870-2_44

Lv, J., & Zhang, M. (2024). Changes and mechanisms of social interaction models in the digital age. *Proceedings of the International Forum on Intelligent Communication and Media Transformation-ICADSS*, 44, 10-17. https://doi.org/10.54254/2753-7064/44/2024BJ0008

Malgard, S., Asadzandi, S., Aalaa, M., & Aghashahi, M. (2022). The role of digital reality technologies in libraries: a systemic review. *Journal of Health Administration*, 25(2), 60–74.

Merriam-Webster (n.d.). Socialization. In *Merriam-Webster Dictionary*. https://www.merriam-webster.com/dictionary/socialization

Mishra, A. S., Jha, J. K., & Umre, S. K. (2017). Mobile app and the library services. *International Journal of Information, Library & Society,* 6(2), 27-32.

Nagar, A. (2025). Copyright Act: *Its use and relevance in digital libraries*. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5209033 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5209033

Nguyen, L. T. (2026). Digital transformation in Vietnamese academic library services: Current trends and challenges. *The Journal of Academic Librarianship*, 52(4), 1-11.

Nithyananda, K. V., & Kohila, G. T. (2023). Libraries and digital humanities: The intellectual property rights perspective. *DESIDOC Journal of Library and Information Technology*, 43(4), 300–304. https://doi.org/10.14429/djlit.43.04.19217

Oksanen, A., Celuch, M., Oksa, R. & Savolainen, I. (2024). Online communities come with real-world consequences for individuals and societies. *Communications Psychology*, 2(71). https://doi.org/10.1038/s44271-024-00112-6

Oxford University (n.d.). Socialization. In *Oxford Learner's Dictionaries*. https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/socialization?q=socialization

Pawar, I. P. (2025). Technological integration in libraries. *International Journal of Multidisciplinary Research and Technology*, 6(3), 54-59.

Pham, H. H., Nesheiwa, R., Rabe, T. E., Choi, J., Driscoll, D. T., Calvarese, A., & Arthurs, C. (2020). An Event-Based Framework for Virtual Libraries. In *2020 International Conference on, CSCI* (pp. 1322–1327). https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00247

Rahman, F. A., Anuar, A., Ramadhan, S. Y., & Ghazali, A. M. (2025). Innovative technologies in libraries under industry 4.0: A review of challenges and opportunities. *International Journal of Research and Innovation in Social Science (Ijriss),* 9(9), 7916-7926.

Riley, H. (2024). Digital Libraries as a Social System. *BETH Bulletin: European Theological Librarianship,* 2(1), 32–41.

Sharma, V. & Sati, P. P., & Vandana (2025). Digital transformation in libraries challenges, opportunities, and evolving needs of users. In *Innovative library practices in digital era: Aligning with NEP-2020 for Viksit Bharat 2047*, (pp. 167-171). Discount Group of Publication.

Shahzad, K., Khan, S. A., Iqbal, A., & Javeed, A.M.D. (2024). Identifying librarians' readiness to leverage artificial intelligence for sustainable competence development and smart library services: An empirical investigation from universities' librarians. *Global Knowledge, Memory and Communication*, 75(1-2), 646-668. Doi: 10.1108/GKMC-12-2023-0496

Singh, B. P. & Madhusudhan, M. (2023). Mobile apps–based applications in libraries and information centers: A systematic review of the literature and future research agendas. *International Journal of Librarianship*, 8(3), 83-102.

Smith, K. (2016, 3 Kasım). *Digital libraries and social justice*. Council on Library and Information Resources. https://www.clir.org/2016/11/digital-libraries-and-social-justice/

Soldatova, G. U. (2018). Digital socialization in the cultural-historical paradigm: A changing child in a changing world. *Social Psychology and Society*, 9(3), 71-80.

Sreeramoj, C. C., & Batcha, M. S. (2025). Advancing digital libraries through Augmented Reality and Virtual Reality: A comprehensive framework. In *2025 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI),* (pp. 1-4), Chennai, India. Doi: 10.1109/ICDSAAI65575.2025.11011726.

Swaminathan, K. S. M. (2024). Digital libraries and the future of academic research: Challenges and opportunities. *Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer,* 44(3), 10080–10088.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339.

Tatar, M. (2022). Socialization: The process of learning to be human. *International Journal of Progressive Education*, 18(5), 146-163

Tella, A. & Akinboro, E. O. (2015). The impact of social media to library services in digital environment. In A. Tella (Ed.). *Social media strategies for dynamic library service development* (pp. 279-295). IGI Global.

Tur, S. (2019). *Dijital sosyalleşme sürecinde kuşaklararası sosyal ağ kullanımına yönelik Facebook kullanımı üzerine bir araştırma* (Unpublished Master's Thesis). İstanbul University.

Türk Dil Kurumu (n.d.). Toplumsallaşma. In *Türk Dil Kurumu Sözlükleri, Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr/

Verheul, I. (2010). *The Digital Library Futures Conference and the future of digital libraries within IFLA*. International Federation of Library Associations and Institutions, 36(1), 74–81. Doi: 10.1177/0340035209359986

Yavaşgel, E. & Turdubaeva, E. (2021). Digital culture and power. In S. K. Doruk, S. Mengü, & E. Ulusoy (Eds.). *Digital Siege* (pp. 1-31). Istanbul University Press. Doi: 10.26650/B/SS07.2021.002

Yenilmez Kaçar, G. (2023). The role of online communication platforms in maintaining social connectedness when face-to-face communication is restricted. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 51, 421-436. https://doi.org/10.52642/susbed.1290299

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

RUSÇANIN YABANCI DİL OLARAK ÖĞRETİMİNDE LEKSİKOLOJİK YAKLAŞIMLAR
LEXICOLOGICAL APPROACHES IN TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE

Dr. Öğr. Üyesi Esra ŞÖLENTAŞ

Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Slav Dilleri ve Edebiyatları Bölümü, Rus Dili ve Edebiyatı Anabilim Dalı, Sıhhiye, Ankara., ORCID NO: 0000-0001-6457-4132

ÖZET

Yabancı dil öğretiminde sözcük hazinesi edinimi, başka bir dilde iletişim kurma becerisinin geliştirilmesinde rol oynayan ana unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Rusça'nın yabancı dil olarak öğretiminde ise, Rus dilinin zengin kelime hazinesi, dildeki çok anlamlılık, eşdizimlilik, sözcük türetme yollarının karmaşıklığı, bunun yanı sıra kalıplaşmış ifadelerin ve deyimsel yapıların çeşitliliği gibi durumlar, sözcükbilim ve söz varlığı çalışmalarının önemini artırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Rusça'nın bir yabancı dil olarak öğretiminde kullanılan leksikolojik yaklaşımları ortaya koymak ve bu yaklaşımların dil öğrenme sürecine katkılarını ele almaktır. Çalışmada öncelikle geleneksel sözcük öğretimi anlayışı üzerinde durulmuş, ardından modern yaklaşımlarla karşılaştırması yapılmıştır, sonrasında ise Rusça öğretimindeki çağdaş leksikolojik yaklaşımlar aşamalarıyla sunulmuştur. Elde edilen bulgular ışığında, sözcük öğretimi ve kelime hazinesi oluşturulmasına yönelik çalışmaların üç aşamasında, bu leksikolojik yaklaşımların farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu üç aşama sırasıyla, "yeni sözcüğün tanıtılması" (materyalin sunulması), "alıştırma" ve "uygulama" (sözcük kullanımı) olarak gerçekleşmektedir. İlk aşama olan "sözcüğün tanıtılması"nda çeviri yöntemi ve çevirisiz yöntem yer almaktadır. İkinci aşama olan "alıştırma" sürecinde, hatırlatma egzersizleri ve yeni sözcük öbeği oluşturma çalışmaları kullanılmaktadır. Üçüncü aşama olan "uygulama"da ise, öğrenciyi koşullu konuşmaya ve diyaloglara yönlendirme, bunun yanı sıra öğrenciye verilen sözcüklerin bağlama göre kullanımını gerektiren görevler etkin olmaktadır. Böylelikle, leksikolojik yaklaşımların hem anlam ve bağlam hem de kültürel çağrışım düzeyinde öğrencilerin Rusça öğrenim süreçlerine nasıl katkı sağladığı ortaya konulmuştur. Nitekim, öğrenicilerin Rusça söz varlığına hâkim olmalarına ve kendi sözcük dağarcığını zenginleştirmelerine leksikolojik yaklaşım temelli yabancı dil öğretiminin katkısı büyüktür. Bu vesileyle, çalışmanın yabancı dil olarak Rusça öğretimi üzerine çalışan araştırmacılara leksikoloji temelli öğretim yöntemleri konusunda kuramsal ve uygulamalı bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, Rusça'nın yabancı dil olarak öğretiminde leksikolojik yaklaşımlar, dilbilgisi temelli dil öğretimini hem destekleyen hem de tamamlayan bir rol üstlenmektedir. Diğer taraftan, bu yaklaşımlar Rusça'yı öğrenenlerin yabancı dilde iletişim kurma becerilerine ve yeterliliklerine önemli katkılar sunmaktadır. Etkili bir Rusça öğretiminde, sözcük bilgisinin ve kelime hazinesinin anlam, içerik, kullanım çeşitliliği, kültürel bağlam ve sözcükler arasındaki anlamsal ilişkiler temelinde yapılandırılmasına leksikolojik yaklaşımlar hizmet etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Leksikolojik yaklaşımlar, kelime hazinesi, söz varlığı, yabancı dil öğretimi, Rusça öğretimi.

ABSTRACT

In foreign language instruction, vocabulary acquisition stands out as one of the main factors in developing the ability to communicate in another language. In the teaching of Russian as a foreign language, the language's rich vocabulary, its polysemy, synonymy, and the complexity of word formation, as well as the variety of set phrases and idiomatic expressions, increase the importance of studies in lexicology and vocabulary. The purpose of this study is to identify the lexical approaches used

in the teaching of Russian as a foreign language and to examine the contributions of these approaches to the language learning process. The study first focuses on the traditional approach to vocabulary instruction, then compares it with modern approaches, and finally presents the different stages of modern lexicological approaches in Russian language teaching. In light of the findings, it is evident that these lexical approaches differ across the three stages of word teaching and vocabulary development. These three stages are, in order: "word introduction" (presentation of the material), "exercise" and "practice" (word usage). The first step, "word introduction," includes both the translation method and the non-translation method. In the second step, the "exercise" phase, reminder exercises and exercises for creating new word combinations are used. In the third step, the "practice" phase, activities that guide students toward conditional speech and dialogues, as well as tasks that require students to use the provided words in context, are implemented. In this way, it has been demonstrated how lexical approaches contribute to students' Russian language learning processes, both in terms of meaning and context as well as cultural connotations. Indeed, foreign language instruction based on a lexical approach plays a significant role in helping learners become proficient in Russian vocabulary and expand their own vocabulary. In this respect, the study intends to provide researchers working on the teaching of Russian as a foreign language with a theoretical and practical framework for lexicology-based teaching methods. In consequence, lexical approaches in the teaching of Russian as a foreign language play a role that both supports and complements grammar-based language instruction. On the other hand, these approaches make a significant contribution to the communication skills and abilities of those learning Russian. In effective Russian language instruction, lexical approaches contribute to the structuring of vocabulary knowledge and word stock based on meaning, content, variety of usage, cultural context, and semantic relationships between words.

Keywords: Lexical approaches, vocabulary, lexical resource, foreign language instruction, teaching Russian.

GİRİŞ

Çağdaş dünyamızda ekonomik, politik ve kültürel açıdan ülkelerarası etkileşimin artmasıyla birlikte, Rusça'nın bir yabancı dil olarak öğrenimine olan ilgi de yoğunlaşmıştır. Rusya'nın tarihine, kültürüne, edebiyatına ilgi duyanların Rusça öğrenmeye olan merakı, onları bu dili derinlemesine öğrenmeye yönlendirmektedir. Bu durum, Rusça'nın yabancı dil olarak öğretiminde kullanılan yöntem ve yaklaşımların yeniden gözden geçirilip değerlendirilmesini gerekli hale getirmiştir. Yabancı dil öğretiminde temel alınan yaklaşımlar, Rusça iletişimde yetkin olmayı, kültürel farklılıkların benimsenmesini ve dili kullanma becerilerinin artırılmasını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Dil öğretimindeki tarihsel sürece bakıldığında, dilbilgisi yapılarının ve kurallarının aktarımının yanı sıra, kimi zaman çeviriyi kimi zaman dinlemeyi temel alan ya da iletişimi odak noktasına koyan farklı anlayışlar uygulanmıştır. Günümüzde ise Rusça'nın yabancı dil olarak öğretiminde bu gibi yöntemler birbirinden keskin bir şekilde ayrılmadan karma halinde öğrenciye sunulmaktadır. Son yıllarda ise görev temelli, öğrenciyi merkeze alan leksikolojik (sözcükbilim) yaklaşımları içeren yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bu çerçevede, Rus dilinin yabancı dil olarak öğretiminde kullanılan leksikolojik yaklaşımların ortaya konulması, hem dil öğretim süreçlerinin etkisini artırmak hem de güncel yabancı dil uygulamalarına katkı sunmak bakımından önem arz etmektedir.

Kültürlerarası köprülerin kurulması dil ve edebiyat üzerinden gerçekleşmektedir. Filolojiyi bir kültür ansiklopedisi olarak gören ünlü Rus dilbilimci ve edebiyatçı G.O. Vinokur, dil bilimi ile edebiyat bilimi arasında hiçbir zaman keskin ve aşılmaz bir sınır olmadığını düşünmekte ve dilin olgularını kültürel-tipolojik bir bakış açısıyla değerlendirmektedir (Винокур, 1990, s. 4). Nitekim, filoloji çalışmaları arasında son yıllarda yabancı dil öğretimi oldukça önem kazanmıştır. Bir yabancı dilin öğretimi sürecinde, dil kazanımı edinimlerinin yolları aranmaktadır ve bu yolara uzanan kapıları açan anahtarlar ise sadece dilin kuralları değil söz varlığı ve sözcüklerin anlamsal içeriğidir. Bir dilin söz varlığını oluşturan en önemli parçası sözcüklerdir. Ünlü Rus dilbilimci Reformatskiy sözcüğün bir dil içerisindeki

önemine dikkat çekerek, "sözcük dilin en somut birimidir, bir iletişim aracı olan dil ise, her şeyden önce bir *sözlü araç*tır ve aynı zamanda *kelimelerin dili*dir" (Реформатский, 1996, s. 33) ifadeleriyle bu iki unsur arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır. Rus dilbilimciye göre, bir dil içindeki sözcüklerin başlıca işlevi adlandırma işlevidir, yani nominatiftir; kelimelerle nesneleri, olayları, varlıkları adlandırmaktayız ve hatta sözcükler morfemlerden oluştuğu ve morfemler kavramları ifade ettiği için, sözcükler de bir şekilde kavramları ifade etmektedir (Реформатский, 1996, s. 35). Nitekim, bir dilin yapı taşı olan sözcük hayatın her alanını kapladığından, dil öğretimi için hayati önem taşımaktadır.

Bir dilin kültürünün diğer bir dilin kültürüne olan etkisi sadece edebi yollarla değil, ikili ilişkiler üzerinden de gerçekleşmektedir ve bu ilişkiler birçok sözcükle terimlerin o dile girmesine vesile olarak söz varlığını da etkilemektedir. Dolayısıyla dili öğrenenin sözcük hazinesinin bu anlamda güncelliğini koruması önem arz etmektedir. İngiliz dilbilimci Lewis, dilin söz varlığını sözcüklerin, eşdizimlilik çerçevesindeki kelime gruplarının, kalıplaşmış ve yarı-kalıplaşmış ifadelerin oluşturduğunu ifade etmektedir (Lewis, 1997, s. 8-11). Dilbilgisi ve sözcük hazinesi kavramlarının dil öğretiminde yanlış anlaşıldığını düşünen Michael Lewis, dilbilgisinin 'cümle yapılarının, kalıplarının, fiil biçimlerinin, zamanların, edatların, dilin üretken diğer parçalarının yapısını inceleyen bir dal' olduğunu, "içine ise sözcük hazinesinden uygun sözcüklerin yerleştirilebileceği yuvalara sahip bir dizi cümle çerçevesi" olduğunu ifade etmektedir (Lewis, 2002, s. 8). Sözcük ve sözcük formları, anlam ve biçim açısından benzerlik yakaladığı diğer sözcüklerle grup ve kategoriler oluşturarak, bilinçten bağımsız bir şekilde insanın ruhunda birleşmektedir (Покровский, 2018, s. 18). Dolayısıyla, sözcükbilimsel yaklaşım yabancı dil öğrenenlerin sadece zihninin inşasına değil, dolaylı olarak ruhunun inşasına da hizmet etmektedir. İnsanın ruhunu kaplayan sözcük hazinesinin bir yabancı dilde oluşturulmasında leksikolojik yaklaşım içeren öğretim metotları ana rolü üstlenmektedir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Leksikolojik yaklaşım yabancı dil öğretiminde sözcüğü temel alan bir metottur. Bu yaklaşım, hem dilbilgisel modellerin mekanik olarak işlemesine odaklanan yapısal yöntemden, hem de dilin yapısının derinlemesine analiz edilmesine odaklanan bilişsel yöntemden farklıdır (Максимычева vd., 2026, s. 278). Kuramsal açıdan bakıldığında, Rus dilinin yabancılara öğretim metodolojisinde (Русский язык как иностранный - РКИ) esas olarak iki leksikolojik, yani sözcükbilimsel kavram yaygın olarak kullanılmaktadır: analitik bir yaklaşıma dayanan geleneksel gramerle birlikte ortaya çıkan "klasik leksikoloji" (классическая лексикология) ve yirminci yüzyılın yapısal yönünde geliştirilen, nispeten daha yeni olan "ideografik leksikoloji" (идеографическая лексикология) (Урунова & Литвина, 2024, s. 166-167). Bu alanların her birinde, kavramsal yaklaşıma göre iki türe ayrılan birçok sözlük geliştirilmiştir: ilki, alfabetik ilkeye göre oluşturulmuş klasik tanım içeren sözlüklerdir; ikincisi ise semantik ilkeye göre düzenlenmiş olan ideografik sözlüklerdir (Урунова & Литвина, 2024, s. 167). Leksikoloji sözlükleri, sözcükbilimsel yaklaşım temelli yabancı dil öğretiminin en önemli materyalleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim, öğrenciye bir sözcüğün anlamını hemen doğrudan vermek onun öğrenme sürecini sekteye uğratmaktadır. Bilinmeyen kelimenin anlamını hazır bir şekilde sunmak yerine, leksikolojik yaklaşımlarla öğrenicin onu kendisinin anlaması için yol göstermeye ve sözlük okuması yapmaya yönlendirmek kalıcı öğrenmeyi sağlamaktadır. Rus dilindeki sözlük çeşitliliği ve sayıca çokluğu, sözcüğün tüm yönleriyle anlam açısından incelenebilmesi için öğrenciye kılavuz olmaktadır. Zira, yabancı dil öğretiminde "çalışma pratiğinde bilinmeyen sözcüklerin ve terimlerin anlamlarının açıklanmasından ziyade, eğitim amaçlı daha kapsamlı bir şekilde ortaya konulmasına sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır (Розенталь & Теленкова, 1985). Bu açıdan leksikoloji sözlükleri sadece öğrencinin değil, yabancı dil öğretimi veren öğreticinin de faydalanabileceği kaynaklardır.

Leksikoloji temelli yabancı dil öğretimi, dilin "sistematik" bir şekilde örüldüğü öğretim metotlarından biridir. Rus dili öğretim metodolojisinde *sistematik yöntem*ler, öğrenmeyi belirli prensiplerle düzenleyerek sunmaktadır ve içinde "öğrenme yaklaşımları, amaçlar ve hedefler, içerik, süreç, ilkeler, metotlar, materyaller ve organize edilmiş öğrenme biçimleri" (Иванова, 2012, s. 267) gibi birçok

bileşeni barındırmaktadır. Bu çerçevede, öğrenciye hangi materyalin verileceğini saptamak, ders sırasında bu materyalin sunulma biçimini ve yöntemini, öğretim tekniklerini ve metotlarını belirlemek oldukça önemlidir (Иванова, 2012, s. 267). Rus dilinin sistematik bir şekilde öğretimi, leksikolojik yaklaşımları da içine alan bir disiplindir ve öğretim sürecinin temel aşamalarının ve bileşenlerinin bir bütünü olarak tanımlanmaktadır.

Yabancı dil öğretiminde leksikolojik yöntemler arasında 1990'lı yıllarda Michael Lewis tarafından ortaya atılan "gözlem - varsayım - deney" (observe - hypothesise - experiment) metodudur (Lewis, 2002, s. 56). Bu yöntem çerçevesinde, öğrenci "gözlem" aşamasında yeni bir metinle tanıştırılır. "Hipotez" aşamasında, metini baştan sona okumanın hemen ardından onun hakkındaki düşündüklerini söyler. "Deney" aşamasında ise, ancak metinle tanışıp fikirlerini söyledikten sonra öğretmen tarafından yönlendirilen metnin anlaşılmasına yönelik soruları yanıtlar ve ardından öğrenci metindeki yeni öğrendiği leksikolojik yapıları açıklamaya çalışır. Bu yöntem metnin sintagmatik (sözdizimsel) olarak algılanması becerisini geliştirmektedir ve öğrencinin cümle yapılarını daha iyi görerek öğrenmesine katkı sağlamaktadır (Самчик, 2022, s. 24). Çünkü, öğrenci kendisine sunulan hazır bilgiye değil, kendisinin çabalayarak elde ettiği bilgiye sahip olmaktadır. Sözcükbilimsel yöntemlerle desteklenen öğrencinin bilgiye kendisinin ulaşma süreci, onun kalıcı öğrenmesini derinleştirmektedir.

Rusça'nın leksikolojik yöntemler ışığında öğretimi sözcükler arasındaki ilişkiler üzerinden yürütülebilmektedir. Rus dilinde sözcükler arasında paradigmatik (dizisel) ve sintagmatik (sözdizimsel) olmak üzere iki türlü ilişki kurulmaktadır. Paradigmatik ilişki sözcüklerin seçimi ve belirli bir grup halinde bir araya gelmesini tanımlamaktadır. Sözcükler arasındaki bu ilişki, dilin birimlerini belirli bir çatı altında gruplar halinde birleştiren ilişkilerdir. Sintagmatik ilişki ise sözcüklerin birbiri ile uyumu ve sözcük öbeği oluşturmasına dairdir. Bu ilişki ise dilin birimlerini kelime öbekleri, sözcük grupları ve cümleler halinde birleştirilmesini sağlamaktadır. Leksikolojik yaklaşımlar çerçevesinde öğrenciye yabancı sözcükler paradigmatik (dizisel) olarak, yani anlamsal gruplar halinde verilebilmektedir; örneğin, meslekler, taşıtlar, bitkiler, mutfak gereçleri gibi kelime grupları halinde öğretilebilmektedir. Bunun yanı sıra, sintagmatik (sözdizimsel) ilişkiler üzerinden ise, bir sözcük eşleşme ihtimali olan diğer sözcüklerle birlikte öğretilebilmektedir. Sözcük eşleşmesi, Rus dilinde sözcük öbeği oluşturma ihtimalidir. Dilbilim çalışmalarında "eşdizimlilik" terimiyle kullanılan sözcük eşleşmesi, "birlikte karşılaşma eğilimi gösteren iki veya daha fazla kelimenin kombinasyonlarıdır, temelinde ise kelime öbeğinin öğelerinin birbirine karşı hem anlamsal hem dilbilgisel bağlılığı bulunmaktadır" (Влавацкая, 2016, s. 36). Dolayısıyla öğrencinin yeni tanıştığı bir Rusça sözcüğün anlamını öğrenmesinin ardından, leksikolojik yaklaşımlar yardımıyla o sözcüğün başka hangi sözcüklerle eşleşebileceğine yönelik uygulamalara yönlendirilmektedir. Böylelikle yabancı dile, o dilin kendi mantalitesi çerçevesinde anlamsal hâkimiyet kazandırılmaktadır.

Yabancı dil öğretiminde bazı şekil ve şemalar öğrenme sürecine katkıda bulunmaktadır. Ünlü dilbilimci Lewis'e göre bunlar, fiil+isim, sıfat+isim, fiil+sıfat+isim, isim+isim, fiil+zarf şeklinde oluşan sözcük öbeği şablonları, bağlamsal zıt anlamlılardan oluşan tablolar, düşünme ve konuşma balonları, hikâye kutucukları, diyalog basamaklarıdır (Lewis, 1997, s.78-85). Bu noktada, Rus dilinin kendisine özgü yapısı ve yabancı öğrenciler için zorlayıcı durumları göz önünde tutulmalıdır. Rus dilinin morfolojik değişkenliği, cümle içindeki serbest kelime dizilişi ve kelimelerin değişken vurguya sahip olması sebebiyle Lewis'in modelleri Rus dilinin yabancılara öğretiminde değişimlerle entegre edilebilmektedir ve leksikolojik birimlerin gramer formlarıyla birlikte verilmesi gerekmektedir (Максимычева vd., 2026, s. 276). Bu bağlamda, metinden sözcüğe yani tümdengelim yöntemiyle leksikolojik yaklaşımlar oluşturulabildiği gibi, sözcükten metne yani tümevarım yöntemiyle de desteklenebilmektedir.

Rusça, onu bir yabancı dil olarak öğrenenler için leksikolojik ve semantik yapısı gereği oldukça karmaşık bir dildir. Çünkü Rus dilinde bir sözcüğün anlamını bilmek onu doğru bir şekilde kullanmak için yeterli değildir. Sözcüğün anlamının yanı sıra, gramer formlarının, kullanım yerlerinin, hangi bağlamda kullanılması gerektiğinin de özümsenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, leksikolojik yaklaşımlar yardımıyla öğrenciye sözcük anlamıyla birlikte, o sözcüğün kendisinden sonra gerektirdiği

ismin hali ya da edatların bağlam içindeki kullanımları öğretilmektedir. Örneğin, Türkçe karşılığı "fiyat, ücret, tutar, eder" olan Rusça'daki "цена" (tsena) sözcüğünü ele alırsak, bu sözcük dilbilgisi yönetimi sözlüğünde "цена *чего, кому - чему, за что и на что*" (tsena *çego*, *komu - çemu*, *za çto i na çto*) (Розенталь, 1986, s. 230) şeklinde yer almaktadır. Rus dilinde bu sözcük kendisinden sonra bağlama göre hem ismin tamlama halinde hem yönelme halinde hem de belirtme halinde kullanımını gerektirebilmektedir. "Цена *чего*", "bir şeyin fiyatı" anlamı taşır; aidiyet ve değerlendirme bağlamında kullanılmaktadır. "Цена *кому - чему*" kişilik değerlendirmesi yaparken ya da bir şeyin öneminden bahsederken kullanılmaktadır. "Цена *за что*", hizmet veya belirli bir ürün için ücret söz konusu olduğunda kullanılmaktadır. "Цена *на что*" ise, belirli bir ürün grubunun ya da kategorisinin değerinin ifade edileceği durumlarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla, öğrenci bu sözcükten sonra hangi edatın ve ismin halinin kullanılacağına bağlama göre karar vermek zorundadır. Görüldüğü üzere, Rus dilindeki bağlamsal farklılıklar sözcüğün kullanım şeklini etkilemektedir. Bağlam, yani sözcüğün kullanım yeri, anlamın tanımlanmasına, dilbilgisi çerçevesindeki yerinin gösterilmesine ve üslup düzeyinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Трубина, 2020, s. 4). Bu noktada, leksikolojik yaklaşımlar bir sözcüğü bağlamlar içinde bütünüyle ele alarak, beraberine getirdiği diğer dil unsurlarını da öğrencinin sözcük hazinesine işlenmesine yardımcı olmaktadır.

Leksikolojik yaklaşımlarda, sinonimler ve antonimler üzerinden kelime öğrenimini desteklemek öğrencinin sözcük yelpazesini genişletmektedir. Rus dilindeki zıt anlamlıların kurallarını ve özelliklerini açıklamak, bir yabancının diliyle paralellik kurarak öğrenilen dilde konuşma becerisini geliştirmektedir ve öğrencinin zıtlıklar üzerinden oluşan farklılık ve çelişkilerle birlikte sözcüğü hafızasına almak için otomatik bir refleks geliştirmesine yardımcı olmaktadır (Яровенко, 2018, s. 143). Bir dilin söz varlığında, sözcüklerin çeşitliliğinin yanı sıra atasözü, deyimler ve kalıplaşmış ifadelerin varlığı da o dilin zenginliğini oluşturmaktadır. Dil öğrenenin, sözcüklerin ötesinde atasözü ve deyimleri de benimsemesi leksikolojik yaklaşımlarla mümkündür. Atasözü ve deyimlerin kullanım alanlarıyla verilmesi, öğrencilerin yabancı dilinin zenginleşmesine, kültürel konulardaki bilgisinin artmasına, bunun yanı sıra bilişsel faaliyetinin daha aktif olarak yürümesine, konuşma davranışının o dile özgü özelliklerini benimsemelerine ve Rus sosyo-kültürel ortamına uyum sağlamalarına olanak tanımaktadır (Журина, 2021, s. 165). Bağlam içinde verilen sözcük ve sözcük öbeği ya da deyim ve atasözleri öğrencide karşılık bularak sözcük hazinesinde yer edinebilmektedir.

Leksikolojik yaklaşımlarla Rus dilinin bir yabancı dil olarak öğretiminde bazı zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, Rusça bir kelimenin anlamı, diğer dildeki kelimenin semantik çerçevesine giren bir anlamı içermeyebilmektedir. Yabancı dildeki bazı dil parçacıklarının ya da sözcük birimlerinin ana dilde tek bir sözcükle eşleşen bir karşılığı yer almamaktadır. Yani Rusça'da birden çok, örneğin iki ya da üç sözcükle ifade edilen, Türkçe'de tek bir sözcükle ifade edilebilmektedir. Aynı durum tam tersi durumda da geçerlidir. Özellikle dili yeni öğrenmeye başlayanlarda kelime öğrenimi yoğun bir şekilde ilerlemektedir ve sözcüğün ilk anlamı sağlam bir şekilde yerleştiğinden sözcük öbeği oluşturmada ve anlamsal bağlar kurarak cümle oluşturmada baskın bir etkiye sahiptir. Cümle kurmak, sözcüklerin ve sözcük formlarının Rus dili gramerinin sözdizimsel ilke ve kurallarına uygun olarak anlamlı bir şekilde birleştirilmesi sürecidir (Фаломкина, 2002, s. 105). Bu noktada, leksikolojik yaklaşımlar öğrencinin sözcüğün sadece anlamını öğrenmesini değil, onun cümle içinde ve yerinde kullanılmasını hedeflemektedir. Dolayısıyla öğretici, yabancı dil öğretiminde aşağıdaki geçişleri iyi yönetmelidir: yazılı dilden konuşmaya, kısa vadeli kazanımdan uzun vadeli hazanıma, cevap almaktan soru sordurmaya, açıklama yapmaktan keşfetmeye, bilgiden beceriye, doğruluktan iletişim kurmaya, gramer yapısından sözcük anlamına, cümleden metne, parçalardan bütünselliğe, planlı kesinlikten, yönlendirilmiş belirsizliğe, öğretmen merkezli eğitimden öğrenci odaklı öğretime (Lewis, 2002, s. 32-34). Bu açıdan dili öğrenenin bireysel çabasının yanı sıra, dil öğreticisinin de kullandığı teknik ve yaklaşımlar da dil edinimini desteklemektedir.

Bir dilin yabancı dil olarak öğretiminde leksikolojik yaklaşımlar arasında geleneksel yöntemler olduğu gibi modern yöntemler de yer almaktadır. Leksikoloji temelli yabancı dil öğretiminde geleneksel yöntemlere bakıldığında, sözcüğün tanımının verildiği görülmektedir ve onun cümle içindeki boşluklara

anlamlı bir şekilde yerleştirilmesi beklenmektedir. Bu yaklaşım, genellikle dilin gramer kurallarının öğretilmesinin hemen ardından sözcük çalışmaları çerçevesinde uygulanmaktadır. Geleneksel yöntemler ışığında öğrenciye Rusça kelimeler, kalıplaşmış sözcük öbekleri ve klişe ifadeler sözcük birimleri olarak sunulmaktadır. Geleneksel yöntemler, yabancı dilin yazıda kullanılmasında ve yazı dilinde fayda sağlasa da dil edinimlerinin yazıdan konuşmaya dökülmesinde yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu vesileyle, dil öğretiminde yeni arayışlarla birlikte modern leksikolojik yöntemler geliştirilmiştir. Yeni yöntemler ışığında, öğrencide sözcük becerisi ya da kelime hazinesinin oluşmasına hizmet eden leksikolojik yaklaşımlar açısından karşımıza şu üç aşama çıkmaktadır:

İlk aşama, "yeni sözcüğün tanıtılması" ya da "materyalin sunulması"dır. Bu etapta çeviri yöntemi ve çevirisiz yöntem kullanılabilmektedir. Çevirili yöntemde, sözlük yardımıyla sözcüğün hedef dilden kaynak dile en uygun anlamın aranmasına yönelik çalışmalar yer almaktadır. Çevirisiz yöntemde, önek ve son eklerle kelime oluşumu analizi, sözcük köküne inme, bağlamsal tahmin, tanımlama, eş ve zıt anlamlılar, etimolojik analiz kullanılabilmektedir. Öğrenciye hangi sözcüğün verileceğinin kararı ise, kelimenin biçimine, anlamına ve yapısına, bunun yanı sıra öğrenme aşamasına bağlıdır.

İkinci aşama, "alıştırmalar"dan oluşmaktadır. Bu alıştırmalar, hatırlama egzersizleri ya da yeni bir kelime öbeği oluşturma becerisinin geliştirilmesine yönelik egzersizler şeklinde iki türlü olabilmektedir.

Üçüncü aşama ise "uygulama" şeklinde yürütülmektedir, yani öğrenilen sözcük ya da sözcük öbeğinin kullanımına yöneliktir. Bu aşamada öğrenci koşullu konuşmalara ve diyaloglara yönlendirmektedir. Bunun yanı sıra, öğrenciye bağlamlara göre sözcüklerin yer aldığı durumsal görevler de verilebilmektedir.

Yabancı dili öğretirken leksikolojik yöntemlerin kullanımının birçok olumlu etkisi görülmektedir. Bunlar arasında, Rus dili alanında dilbilim çalışmaları yürüten Samçik'in öne sürdüğü sözcük temelli dil öğretim metotlarının öğrenme sürecine katkıları aşağıdaki gibidir (Самчик, 2022, s. 25):

- Tipik yapıların bilinmesi, onlar aracılığıyla sonsuz sayıda yeni ifade oluşturulmasına olanak sağlamaktadır;

- Konuşmanın akıcılığı artmaktadır, çünkü hafızadan gramer olarak doğru bir şekilde ifade edilmesi gereken sözcükler değil, uygun bağlam içinde daha önce birçok kere çalışılmış olan kelime öbekleri seçilmektedir;

- Dil şablonlarının varlığı doğal dil akışını sağlamaktadır ve dili yeni öğrenenlerde oldukça fazla rastlanan ana dilden yabancı dile zihinsel çeviri aşamasını ortadan kaldırmaktadır;

- Hem yazılı dilin hem de sesli konuşmanın algılanmasını iyileştirmektedir, çünkü öğrenci sözcükleri tek tek öğrenmez, aynı zamanda kelime kombinasyonlarını tahmin de edebilmektedir.

Bunlara ek olarak bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında Rusça'nın bir yabancı dil olarak öğretiminde leksikolojik yaklaşımları temel almanın faydaları aşağıda sıralanmıştır:

- Grameri ve söz varlığını birbirinden tümüyle ayırmadan kelime dağarcığının artmasına katkı sağlamaktadır, çünkü dilin büyük bir kısmı çok kelimeli parçalardan oluşmaktadır.

- Sadece kural odaklı dil öğreniminin ötesine geçerek, kelime dağarcığının zenginleştirilmesiyle öğrenilen dile geniş bir hâkimiyet sağlamaktadır.

- Daha fazla sözcüğün doğru yerde ve zamanda kullanımını ve gerek yazarken gerek de konuşurken düşüncelerin etkili bir şekilde ifade edilebilmesini desteklemektedir.

- Sözcük hazinesinin gelişmesiyle günlük konuşmaların yanı sıra karmaşık yapılı ve terimlerle dolu metinlerin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

- Kelimeler anlam ilişkileriyle ve bağlamlarıyla birlikte öğretildiğinden dil belleğinde kalıcı halde gelmektedir.

- Kelimelerin kullanım yerleri ve aralarındaki ilişki, gramer kurallarının teoride kalmayıp uygulamaya dökülerek dilin gerçek anlamda kullanımına destek olmaktadır.

- Sözcük temelli dil öğretiminde atasözü ve deyimlerin, Rus kültürüne özgü ifadelerin kullanılması öğrencinin hem Rus diline hem de Rus kültürüne hâkimiyetine katkı sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma çerçevesinde, Rus dilinin bir yabancı dil olarak öğretiminde leksikolojik yaklaşımlar ele alınmış ve söz varlığının öğretilmesinde ve dil becerilerinin geliştirilmesinde rolü ortaya konulmuştur. Bulgular, yabancı dil öğretiminde sadece dilbilgisi yapılarının ve kurallarının rol oynamadığını, bunun yanı sıra kelime bilgisi ve sözcükler arasındaki anlam ilişkilerinin de etkin bir iletişim kurabilmek açısından temel bir unsur olduğunu göstermektedir. Dahası, geleneksel sadece ezbere dayalı kelime öğretimi yerine, iletişim becerilerine hizmet eden, görev temelli ve bağlamı odak noktasına koyan leksikolojik yaklaşımların etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Nitekim, sözcükbilimsel yaklaşımların Rusça öğretimi sürecinde öğrenenin aktif kelime dağarcığını geliştirmesine önemli katkıları olmaktadır.

Rusça'nın yabancı dil olarak öğreniminde sözcüğün formunu, anlamını ve bağlam içindeki kullanımını öğrenmek kelime hazinesi gelişimi için kaçınılmazdır. Sözcük kullanımı becerisi ve kelime hazinesinin edinimi leksikolojik yaklaşımlarla öğrencide kalıcı hale dönüştürülmektedir. Rus dilinin öğretimi sürecinde leksikolojik yaklaşımlar çerçevesinde geleneksel yöntemlerin yanı sıra, modern yöntemlerin de uygulanması öğretimdeki esnekliği ve öğrenmedeki etki gücünü artırmaktadır. Rus dilini bir yabancı dil olarak öğrenen, sözcüğün anlamına, fonetik ve yazım biçimine, dilbilgisel kullanımına ve diğer sözcüklerle birleşme yollarına hâkim olduğu zaman, kelime hazinesine o sözcük kalıcı olarak yerleşmektedir. Bu ise, öğrenciyi odak noktasına alan, sözcüğü gramer formlarından ayırmadan bütüncül olarak öğreten, kelimeleri bağlamlar içinde ele alan leksikolojik yaklaşımlarla mümkün olmaktadır.

KAYNAKÇA

Lewis, M. (1997). *Implementing the Lexical Approach: Putting Theory into Practice*. Hove: Language Teaching Publications. https://fliphtml5.com/hzhgh/nrqw/Implementing_the_Lexical_Approach_Putting_Theory_into_Practice_%28Michael_Lewis%29_%28Z-Library%29/204/#google_vignette (Erişim tarihi: 02.05.2026).

Lewis, M. (2002). *The Lexical Approach: The State of ELT and a Way Forward*. Croatia: Thomson Corporation. https://www.scribd.com/document/482737921/Lewis-Michael-the-lexical-approach (Erişim tarihi: 07.05.2026).

Винокур, Г. О. (1990). *Филологические исследования: Лингвистика и поэтика*. Москва: Наука.

Влавацкая, М. В. (2016). Механизмы сочетаемости слов в образовании экспрессивных коллокаций. *Вестник Новосибирского государственного университета, Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация*, Т. 14, № 3, 34-44.

Журина, М.И. (2021). Аксиологический потенциал русских пословиц: к вопросу о формировании лингвокультурологической компетенции иностранных студентов. *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева*, 2 (111), 164-170.

Иванова, Т. М. (2012). К вопросу о системном подходе в методике преподавания русского языка как иностранного (на примере русской лексики). *Ученые записки Забайкальского государственного университета, Серия: Филология, история, востоковедение*, № 2, 266-271.

Максимычева, М. С. & Гаврилова, И. В. & Никитина, А. В. (2026). Лингвометодические основы внедрения лексического подхода в преподавание русского языка как иностранного. *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева*, 1 (130), 267-278.

Покровский, М. М. (2018). *Избранные труды по языкознанию*. Москва: Издательство «Юрайт». https://avidreaders.ru/read-book/izbrannye-raboty-po-yazykoznaniyu.html (Erişim tarihi: 21.05.2026).

Реформатский, А. А. (1996). *Введение в языковедение*. Под ред. В.А. Виноградова. Москва: Аспект Пресс.

Розенталь, Д. Э. & Теленкова, М. А. (1985). *Словарь-справочник лингвистических терминов: пособие для учителя*. Москва: Просвещение. https://press-book.ru/library/books/RozentalTermLingvo/index.html (Erişim tarihi: 09.06.2026).

Розенталь, Д. Э. (1986). *Управление в русском языке: словарь-справочник для работников печати*. Москва: Издательство «Книга».

Самчик, Н. Н. (2022). Использование лексического подхода в обучении русскому языку иностранцев. *Балтийский гуманитарный журнал*, Т. 11, № 4(41), 23-26.

Трубина, З. И. (2020). Обучение грамматическому аспекту речи на основе лексического подхода. *Мир науки. Педагогика и психология*, 5(8). https://mir-nauki.com/PDF/03PDMN520.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2026).

Урунова, Р. Д. & Литвина, Т. А. (2024). Концепции овладения лексикой в системе обучения русскому языку как иностранному на довузовском уровне. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, Проблемы языкознания и педагогики*, № 3, 164-173.

Фаломкина, И. П. (2022). Обучение русскому языку как иностранному в рамках коммуникативного и традиционного подходов. *Профессиональное образование в России и за рубежом*, 1(45), 103-109.

Яровенко, Т. В. (2018). Объяснение значения русских слов с помощью антонимов как средство развития речи на уроках русского языка как иностранного. *Litera*, 2, 138-144.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DİJİTAL DÜNYADA KENDİ OLMANIN BİR YOLU OLARAK İRADE

Aydın KARABULUT

Doç. Dr. Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Görsel İletişim Tasarımı Bölümü

ÖZET

İrade, insan olmanın alametifarikasıdır. Bir bakıma "insanı insan yapan nedir?" sorusunun cevabıdır. İradenin yokluğu, insanın yokluğu anlamına gelir aslında. Fakat günümüz dünyasında bu yokluk, kutsanmış özgürlüğün de yokluğunu imler. Çünkü irade, insanın diğer varlıklardan temel farkı olarak ruha ve zihne dairdir. Tüm kültürlerde ve dinlerde insanın varoluşunu tüm varlıklara ispatlaması irade ile mümkün olur. Özellikle Hristiyan teolojisinde Adem'in cennetten çıkarılışı örtük olarak irade ve özgürlüğe atıfta bulunur. Çalışma, gelişen ekranın iradeyi törpülediği ana katmanı incelerken, insanın en büyük değeri olarak görülen iradeye dair endişeleri içinde taşıyor. Çünkü iradenin yokluğu insani olan şeylerin de yokluğunu imler. Eser bu yüzden ekranın soğurduğu hayat enerjisinin yokluğunun nedenleri üzerine yoğunlaşmış bulunmakta… Bunu yaparken ekrana da eleştirel bir gözle bakmak irade sahibi bir insanın şiddetle ihtiyaç duyduğu bir durumdur. Bireysel varoluşu kendine bağlayan bu teknolojik dünya, ekranlar aracılığıyla kurduğu tuzakla cemaatini oluşturarak görüntü teizmine yeni müritler kazandırır. Sonuç müthiş bir bağımlılık halidir. Bu bağımlılık hali sebep değildir. Asıl sebep irade kalkanının gittikçe daha çok zayıflaması; hatta yok olmasıdır. Teknolojinin sürekli beşerî değerlerin ilerleyişiyle birlikte anılması, ilerlemeye karşı radikal bir inancı pekiştirir. Oysa esas problem teknolojinin ilerleme sürecinin sonrasında insanın ne hale geleceğidir. Çalışmanın varsayımı, tekno söylemin tüm olanakları ile insanlığın özgürlük inancını törpülediği ve ortaya çıkardığı bu iradesizliğin çağımızın en büyük hastalıklarından biri olduğudur.

Anahtar Kelimeler: İrade, Ekran, Bağımlılık, Özgürlük , Teknoloji

Abstract

Free will is the hallmark of being human. In a sense, it is the answer to the question, "What makes a human being human?" The absence of free will actually signifies the absence of humanity. However, in today's world, this absence also implies the absence of sacred freedom. For free will pertains to the soul and the mind, constituting the fundamental distinction between humans and other beings. In all cultures and religions, it is through will that humanity proves its existence to all other beings. In Christian theology, in particular, Adam's expulsion from paradise implicitly refers to will and freedom. While examining the core layer where the evolving screen erodes will, the work carries within it concerns regarding will—seen as humanity's greatest value. For the absence of will signifies the absence of what is human. The work therefore focuses on the causes of the absence of life energy absorbed by the screen… In doing so, viewing the screen through a critical lens is a situation that a person of will urgently requires. This technological world, which binds individual existence to itself, forms its community through the trap it sets via screens, thereby gaining new adherents to the cult of the image. The result is a state of immense addiction. This state of addiction is not the cause. The real cause is the gradual weakening—or even the disappearance—of the shield of will. The constant association of technology with the progress of human values reinforces a radical faith in progress. Yet the real problem lies in what state humanity will be in following the process of technological advancement. The premise of this work is that the techno-discourse, with all its possibilities, erodes humanity's belief in freedom, and that the resulting lack of will is one of the greatest maladies of our age.

Keywords: Willpower, Screen, Addiction, Freedom, Technology

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

COGNITIVE AUTONOMY IN THE AGE OF AGENTIC AI PROTECTING HUMAN AGENCY IN AUTOMATED WORKFLOWS

MUHAMMAD FAISAL

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University, ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT

With the rise of "Agentic AI" systems capable of planning and executing goals autonomously the human need for cognitive agency is under threat. This research investigates the psychological impact of delegating complex decision-making to AI agents in professional and personal spheres. The study develops a "Human-in-the-Loop" (HITL) framework that utilizes Explainable AI (XAI) to ensure that while AI handles the execution, the human remains the ultimate "Moral Governor." By analyzing 2026 workplace trends where AI agents manage up to 70% of administrative tasks, the paper identifies the risk of "Cognitive Atrophy" and proposes educational interventions to maintain high-level critical thinking. The research concludes that digital transformation must be designed to augment, rather than replace, human intent, ensuring that "Agentic" systems remain subservient to human values.

Keywords: Agentic AI, Cognitive Autonomy, Human-in-the-Loop, Explainable AI, Digital Transformation, Decision Intelligence.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

AUGMENTED REALITY (AR) FOR "VISUAL PROJECT WAR-ROOMS" MANAGING COMPLEX FINTECH INTEGRATION PROJECTS

MUHAMMAD FAISAL

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University, ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT

FinTech integration projects often involve complex "Architecture Diagrams" that are difficult for human stakeholders to visualize. This research investigates the use of **Augmented Reality (AR)** as a project management interface. Project managers use AR glasses to "step into" a 3D visualization of their project's data flow, API dependencies, and financial pipelines. The study explores a 2026 project involving the merger of two major neobanks. The AR "War-Room" allowed technical and non-technical stakeholders to literally "see" where the data bottlenecks were occurring. The findings suggest that "Spatial PM" increases the "Shared Mental Model" of the team, reducing communication errors by 40%. The paper concludes that AR is the future of the "Project Status Meeting," turning abstract data into an intuitive, navigable 3D environment.

Keywords: Augmented Reality (AR), Spatial PM, Data Visualization, Integration Projects, Shared Mental Models, Visual War-Rooms.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GÖRÜNMEYEN İKTİDARIN TOPOLOJİSİ: ALGORİTMİK YÖNETİŞİMDE KONTROLÜN MEKÂNSIZLAŞMASI VE DAĞILIMI

TOPOLOGY OF INVISIBLE POWER: DISPLACEMENT AND DISTRIBUTION OF CONTROL IN ALGORITHMIC MANAGEMENT

Asst. Prof. Dr. Ferhat Atik
Girne American University, Communication Faculty
Communication And Media Management, ORCID: 0009-0008-9089-9051

Özet

Bu makale, dijital çağda iktidarın mekânsal sınırlarını aşarak nasıl dağıtık bir yapıya dönüştüğünü analiz etmektedir. Algoritmik yönetişim, klasik merkezi kontrol modellerinin yerini alarak görünmez ancak etkili bir güç formu üretmektedir. Çalışma, iktidarın artık belirli kurumlar ya da mekânlarla sınırlı olmadığını, veri akışları ve algoritmik karar süreçleri içinde dağılmış bir yapı kazandığını ileri sürer. Bu bağlamda kontrol, doğrudan müdahale yerine dolaylı yönlendirme mekanizmaları üzerinden işlemektedir. Makale, bu yeni iktidar biçiminin bireylerin davranışlarını nasıl şekillendirdiğini ve fark edilmeden nasıl işlediğini tartışır. Sonuç olarak, modern iktidarın görünür değil, ağ yapıları içinde gizli bir topolojiye sahip olduğu savunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: algoritmik yönetişim, iktidar, topoloji, kontrol, veri akışı, dijital politika

Abstract

This article analyzes how power transcends spatial boundaries and becomes distributed in the digital age. Algorithmic governance replaces centralized control with an invisible yet effective form of power. The study argues that power is embedded within data flows and decision-making systems. Control operates through indirect modulation rather than direct intervention. It concludes that modern power is not visible but structured within networked topologies.

Keywords: algorithmic governance, power, topology, control, data flow, digital politics

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

SÜREKSİZ HİKÂYE FORMLARI VE PARÇALI ANLAM ÜRETİMİNİN EPİSTEMOLOJİSİ

EPISTEMOLOGY OF CONTINUOUS STORY FORMS AND FRAGMENTAL MEANING PRODUCTION

Asst. Prof. Dr. Ferhat Atik
Girne American University, Communication Faculty
Communication And Media Management, ORCID: 0009-0008-9089-9051

Özet

Bu makale, dijital medya ortamlarında geleneksel anlatı yapılarının çözülmesini ve yerini süreksiz, parçalı ve akışkan hikâye formlarına bırakmasını analiz etmektedir. Klasik anlatı teorileri, başlangıç, gelişme ve sonuç üzerine kurulu bütünlüklü yapıları temel alırken, dijital çağda içerik üretimi bu sürekliliği kırmaktadır. Çalışma, anlatının artık doğrusal bir yapıdan ziyade, kullanıcı etkileşimleriyle sürekli yeniden şekillenen bir süreç haline geldiğini ileri sürer. Bu bağlamda anlam üretimi de parçalı ve bağlama bağımlı bir karakter kazanmaktadır. Makale, anlatı sonrası çağ kavramını tartışarak, bilginin ve deneyimin nasıl yeniden yapılandırıldığını incelemektedir. Sonuç olarak, anlatının çözülmesiyle birlikte anlamın sabit değil, dinamik ve çok katmanlı bir yapı kazandığı savunulmaktadır.

Keywords: post-narrative, fragmentation, storytelling, epistemology, digital media, meaning production

Abstract

This article examines the dissolution of traditional narrative structures in digital media and their replacement by fragmented and discontinuous storytelling forms. Classical narrative theory is based on linear structures, whereas digital content disrupts this continuity. The study argues that narrative has become an interactive and constantly reshaped process. Meaning production becomes fragmented and context-dependent. It concludes that in a post-narrative age, meaning is no longer fixed but dynamic and multilayered.

Anahtar kelimeler: anlatı sonrası, parçalanma, hikâye anlatımı, epistemoloji, dijital medya, anlam üretimi

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

HUMAN-CENTRED SMART CITIES IN THE AGE OF AI: TRUST, PRIVACY, SECURITY CONCERNS AND CITIZEN READINESS

Kreshnik VUKATANA

University of Tirana, Tirana, Albania, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8779-0767

Anxhela FERHATAJ

University of Tirana, Tirana, Albania, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1054-2351

Abstract

Artificial intelligence is increasingly shaping how smart cities design, deliver and govern public services. Although AI-enabled services can improve efficiency, responsiveness and urban management, their public acceptance depends on more than technological performance. Citizens are more likely to support such services when they perceive them as human-centred, trustworthy, secure and respectful of privacy. This study examines citizen readiness to support AI-enabled public services in smart city contexts, using survey data collected from 203 respondents in Albania. The study investigates the relationships between Human-Centred AI Design, Privacy and Security Concerns, Trust, and Citizen Readiness. Descriptive statistics, Spearman's correlation and mediation analysis were used to examine the proposed relationships. The findings show that citizens evaluated human-centred qualities positively, while privacy and security concerns remained salient, especially network security and privacy protection. Human-Centred AI Design was strongly and positively associated with Trust ($\rho = 0.777$, $p < .001$), while Privacy and Security Concerns were negatively associated with Trust ($\rho = -0.215$, $p = .002$). Trust was also strongly and positively associated with Citizen Readiness ($\rho = 0.728$, $p < .001$). Mediation analysis showed that Trust played a central role in the model: Human-Centred AI Design was associated with higher Citizen Readiness partly through stronger Trust, while Privacy and Security Concerns were associated with lower Citizen Readiness partly through weaker Trust. The study contributes to human-centred AI and smart city governance research by showing that citizen readiness for AI-enabled public services is not automatic, but depends on trust, privacy protection, security safeguards and the extent to which services are experienced as designed around people.

Keywords: Human-centred AI; smart cities; citizen readiness; trust; privacy and security concerns; AI-enabled public services.

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) is gradually becoming part of the way cities plan, organise and deliver public services. In smart city settings, AI can support emergency response, mobility management, environmental monitoring, traffic control, public safety and digital communication between citizens and public institutions (OECD, 2025). These applications are often described as signs of urban progress because they promise faster services, better coordination and more informed decision-making. However, for citizens, AI-enabled public services are not only technical improvements. They are also systems that may collect personal data, monitor urban life and influence how people experience public institutions (Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022; OECD, 2025; OECD, 2026). This makes the use of AI in government different from its use in the private sector. When public institutions adopt AI, they do not simply add a new digital tool to existing services. They introduce intelligent systems into relationships that already involve authority, rights, vulnerability and trust (OECD, 2026). OECD's recent report on governing with AI shows that AI can improve public-sector productivity, responsiveness and accountability, but it can also create ethical, operational, exclusionary and public-resistance risks

(OECD, 2025). These risks are particularly important in smart city contexts, where AI-enabled services may depend on personal data, automated processes and forms of urban monitoring.

The smart city literature has already shown that technological improvement does not automatically produce public legitimacy. Hartley's (2021) study of public trust and political legitimacy in Hong Kong found that residents recognised the benefits of smart city development, but expressed weaker trust in privacy and security and lower satisfaction with opportunities to participate in related policymaking. In a later study, Hartley (2023) found that citizens were more optimistic about the contribution of smart cities to quality of life than to governance. These findings are important because they show that citizens can value what smart technologies promise while still questioning how such technologies are governed. Better services may be welcomed, but not when they appear to weaken transparency, fairness, privacy or public accountability. This tension becomes even sharper when smart city services are enabled by AI. AI may help public institutions respond faster, allocate resources more effectively and manage urban problems with greater precision (OECD, 2025). At the same time, it may make public decision-making feel less visible, less understandable and more difficult to challenge (Hartley, 2021; OECD, 2025). For citizens, an AI-enabled public service is not only a tool that improves performance. It is also part of the relationship between the individual and the state. It may shape access to services, influence priorities and raise questions about privacy, security and institutional responsibility.

A human-centred AI perspective is useful because it keeps this relationship in view. It moves the discussion away from a narrow focus on what AI can technically do and towards a more difficult question: how should AI be designed and governed so that people can understand it, live with it and trust it? Schmager, Pappas and Vassilakopoulou (2025) argue that Human-Centred AI should be understood through the purpose of AI systems, the values they protect and the properties they demonstrate in practice. Applied to smart cities, this means that AI-enabled public services should not be assessed only by their efficiency. They should also be assessed by whether citizens perceive them as useful, secure, privacy-preserving and trustworthy.

Research on AI acceptance supports this view. Kelly, Kaye and Oviedo-Trespalacios (2023), in a systematic review of AI acceptance studies, identify perceived usefulness and trust as key factors linked to willingness, intention and use of AI. These factors are relevant for public services, but they need to be interpreted carefully. Citizens are not merely consumers deciding whether to use a digital product. They are members of a political community whose data, rights and access to services may be affected by automated systems. In this setting, trust is more than a positive attitude toward technology. It is part of the social legitimacy of AI-enabled public services.

Privacy and security concerns are therefore central to citizen readiness. AI-enabled smart city services often depend on the collection and processing of urban and personal data. Data generated through applications, sensors, cameras, digital platforms and connected infrastructure can improve public service delivery, but they also create risks related to surveillance, information misuse, cyber vulnerabilities, device security and system reliability. These concerns matter because they may weaken citizens' trust in smart city systems and reduce their willingness to support AI-enabled public services. Ismagilova et al. (2022) emphasise that security, privacy and risk issues can affect citizen engagement and trust in smart city systems.

Although research on AI acceptance, smart cities and digital government has expanded, several gaps remain. First, much of the literature still treats AI acceptance and smart city acceptance as largely separate discussions (Hartley, 2023; Kelly, Kaye, & Oviedo-Trespalacios, 2023). Fewer studies examine AI-enabled public services through a human-centred smart city perspective (Schmager, Pappas, & Vassilakopoulou, 2025). Second, many studies focus on the benefits of technology or adoption intention, while less attention is given to how privacy and security concerns may weaken trust in public-sector AI (Hartley, 2021; Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022). Third, empirical evidence from emerging smart city contexts remains limited. This is especially relevant for Albania, where smart city transformation and AI-enabled public service innovation are still developing. This study addresses these

gaps by examining citizen readiness for AI-enabled public services in Albania. By placing citizens' perceptions at the centre of the analysis, this study contributes to research on Human-Centred AI, smart city governance and AI-enabled public service readiness by providing empirical evidence from Albania, where smart city transformation and AI-enabled public service innovation remain emerging areas of development. Guided by this aim, the study addresses the following research questions:

RQ1: How do citizens evaluate the human-centred qualities of AI-enabled public services in smart city contexts?

RQ2: Which privacy and security concerns are most salient in citizens' perceptions of AI-enabled smart city services?

RQ3: What are citizens' levels of trust and readiness to support AI-enabled public services in smart cities?

LITERATURE REVIEW

2.1 Human-centred AI and smart city governance

Smart cities are no longer discussed only as places where sensors, platforms and digital infrastructures improve urban efficiency. Recent research increasingly treats them as socio-technical environments in which technology affects public value, rights, participation and trust (Hartley, 2021; Hartley, 2023; Riedmann-Streitz, et al., 2025). This shift is important because citizens do not experience smart city systems as abstract innovations. They experience them through mobility services, safety measures, digital platforms, public communication and the ways institutions use data to organise urban life.

Human-Centred AI shifts attention from what intelligent systems can technically do to what they mean for people. Schmager, Pappas and Vassilakopoulou (2025) argue that Human-Centred AI should be understood through the purpose of AI systems, the values they protect and the properties they demonstrate in practice. In smart city contexts, this means that AI-enabled public services should be judged not only by their efficiency, but also by whether they are useful, accessible, secure, privacy-preserving and trustworthy from the citizen's perspective. This view is consistent with recent work on sustainable and ethical smart cities. Riedmann-Streitz, et al. (2025) argue that smart cities require attention to ethics, trust, privacy, transparency and incentives if they are to become socially sustainable rather than merely technologically advanced. Similarly, Szafran and Bach (2026) show that citizens' attitudes toward smart city applications are shaped by how familiar, desirable and meaningful these technologies appear in everyday life. These studies suggest that citizen readiness cannot be reduced to technological optimism. Citizens may support smart technologies when they see clear public value, but their support also depends on whether these technologies are understandable, accountable and aligned with their expectations.

European smart city policy reinforces this direction. The European Commission frames smart cities and communities as digital systems designed to improve quality of life, support greener urban management, enable citizen participation and strengthen public services (European Commission, 2025). Initiatives such as local digital twins, urban data spaces and citizen-centred digital transformation show that smart city development is increasingly connected to AI, data sharing and real-time urban decision-making. However, these developments also make trust, privacy and security more important, because citizens are being asked to accept services that depend on data-intensive and sometimes automated systems (OECD, 2025; Riedmann-Streitz, et al., 2025).

2.2 Public trust and citizen readiness in AI-enabled public services

In AI-enabled public services, citizen readiness depends on more than the expected usefulness of technology. Citizens may recognise that AI can improve service quality, reduce delays, support public safety and make urban management more responsive. However, in public-sector settings, perceived

usefulness alone is not sufficient to explain support for AI. Public services are connected to rights, access, fairness, accountability and institutional responsibility (OECD, 2025; Pande, Khanal, & Taeihagh, 2025). For this reason, citizens are more likely to support AI-enabled services when they believe that these systems are not only effective, but also trustworthy and responsibly governed.

Research on AI acceptance shows that perceived usefulness and trust are among the most consistent factors associated with willingness to use or support AI systems. Kelly, Kaye and Oviedo-Trespalacios (2023), in a systematic review of AI acceptance studies, identify perceived usefulness, performance expectancy, attitudes and trust as recurring predictors of AI acceptance across different sectors. In the context of public services, however, these factors need to be interpreted through a broader governance perspective. Citizens are not merely users of a digital product; they are members of a political community whose data, rights and access to services may be affected by automated systems (OECD, 2025; Pande, Khanal, & Taeihagh, 2025).

This distinction makes trust a central condition for citizen readiness. In private-sector technology adoption, trust may relate mainly to service reliability, convenience or provider reputation. In public-sector AI, trust also involves confidence that institutions will use AI fairly, securely and in the public interest. Recent literature on AI governance suggests that trust in high-risk AI systems is shaped by governance arrangements, institutional responsibility and the broader conditions under which AI is designed and used (Pande, Khanal, & Taeihagh, 2025). Effective AI governance also depends on public trust because citizens' concerns about AI include fairness, accountability and long-term consequences for public life (Robles & Mallinson, 2025).

Smart city research supports the same argument. Hartley (2021) shows that support for smart city initiatives is associated with trust in smart city mechanics and governance, while concerns about privacy, security and participation can weaken public legitimacy. Hartley (2023) further shows that citizens may be more optimistic about smart cities' contribution to quality of life than to governance. This distinction is important for AI-enabled public services because citizens may welcome better and faster services, while still questioning whether the systems behind them are transparent, fair and accountable. For this study, trust is treated as the key mechanism linking citizens' evaluation of AI-enabled public services with their readiness to support them.

2.3 Privacy and security concerns in AI-enabled smart cities

Privacy and security concerns are central to AI-enabled smart cities because these systems often depend on the collection, processing and exchange of urban and personal data. Smart city infrastructures may use applications, sensors, cameras, platforms and connected devices to improve public service delivery, urban management and emergency response. At the same time, these systems may create risks related to surveillance, information misuse, cyber vulnerabilities, device security, system reliability and unclear accountability (Lucas & Simpson, 2025; Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022). Ismagilova, Hughes, Rana and Dwivedi (2022) show that security, privacy and risk issues can affect citizen engagement and trust in smart city systems. Their work is important because it treats privacy and security not as technical details, but as conditions for citizen trust. Lucas and Simpson (2025) also show that smart city data privacy can create a gap between citizens and policymakers when citizens' concerns are not adequately reflected in digital policy design. This is especially relevant for AI-enabled public services, where citizens may support innovation in principle but hesitate if data practices remain unclear.

The relationship between AI, surveillance and the state further strengthens the importance of privacy and security concerns. AI-enabled public services are not neutral tools; they can improve public administration, but they can also change how citizens experience institutional power, visibility and control (Ashour & Salmi, 2026). When AI systems are connected to cameras, sensors, data platforms or automated decision-making processes, citizens may question who collects their data, how that data is used, whether systems are secure and whether public institutions can be held accountable for possible misuse (Lucas & Simpson, 2025; Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022).

Taken together, the literature suggests that citizen readiness for AI-enabled public services should be understood through a human-centred smart city perspective. Citizens do not evaluate AI only by asking whether it improves efficiency or service performance. They also consider whether AI-enabled services are accessible, understandable, transparent, secure and responsive to public needs. In this sense, Human-Centred AI is not only a design principle, but also a condition for public trust and social acceptance. Based on the literature review, this study proposes the following hypotheses:

- H1: Human-centred AI design is positively associated with trust in AI-enabled public services ($\alpha = 0.05$).
- H2: Privacy and security concerns are negatively associated with trust in AI-enabled public services ($\alpha = 0.05$).
- H3: Trust is positively associated with citizen readiness to support AI-enabled public services ($\alpha = 0.05$).
- H4a: Trust mediates the relationship between human-centred AI design and citizen readiness ($\alpha = 0.05$).
- H4b: Trust mediates the relationship between privacy and security concerns and citizen readiness ($\alpha = 0.05$).

MATERIAL AND METHODS

This study employed a quantitative survey design to examine citizen readiness for AI-enabled public services in smart city contexts. A survey approach was considered appropriate because the study focuses on citizens' perceptions of AI-enabled public services, including how they evaluate human-centred design, privacy and security concerns, trust, and readiness to support such services. The empirical context of the study is Albania, where digital public services have expanded in recent years, while AI-enabled public service innovation and smart city governance remain emerging areas of development. Understanding citizens' perceptions at this stage can provide useful evidence for policymakers, local governments and public institutions seeking to design AI-enabled services that are not only efficient, but also trustworthy, secure and citizen-centred.

The questionnaire was developed based on previous research on Human-Centred AI, AI acceptance, smart city governance, public trust, privacy and security concerns, and citizen readiness (Schmager, Pappas, & Vassilakopoulou, 2025; Kelly, Kaye, & Oviedo-Trespalacios, 2023; Lucas & Simpson, 2025; Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022; Robles & Mallinson, 2025; Hartley, 2021; Hartley, 2023; Kelly, Kaye, & Oviedo-Trespalacios, 2023). The items were adapted to the Albanian smart city context and organised around four main constructs: Human-Centred AI Design, Privacy and Security Concerns, Trust, and Citizen Readiness. Human-Centred AI Design captured citizens' perceptions of whether AI-enabled smart city services are useful, accessible, understandable, transparent, responsive and oriented toward public value (Schmager, Pappas, & Vassilakopoulou, 2025; Kelly, Kaye, & Oviedo-Trespalacios, 2023). Privacy and Security Concerns measured perceived risks related to personal data collection, privacy loss, data security, device security, network security and system reliability (Lucas & Simpson, 2025; Ismagilova, Hughes, Rana, & Dwivedi, 2022). Trust captured citizens' confidence that AI-enabled services and the institutions responsible for them are reliable, secure and responsibly governed (Hartley, 2021; Robles & Mallinson, 2025). Citizen Readiness measured citizens' willingness to support AI-enabled public services and related smart city initiatives (Kelly, Kaye, & Oviedo-Trespalacios, 2023; Hartley, 2023). The questionnaire included demographic questions and Likert-scale.

Empirical data were collected through an online questionnaire distributed in Albania between August and October 2025. Participation was voluntary and anonymous. Respondents were informed about the academic purpose of the study. Personally identifying information was not used in the analytical dataset. After data screening, the final dataset consisted of 203 valid responses. The sample included respondents

who were able to provide perceptions about AI-enabled public services, smart city technologies, privacy and security concerns, trust, and readiness to support such services in the Albanian context.

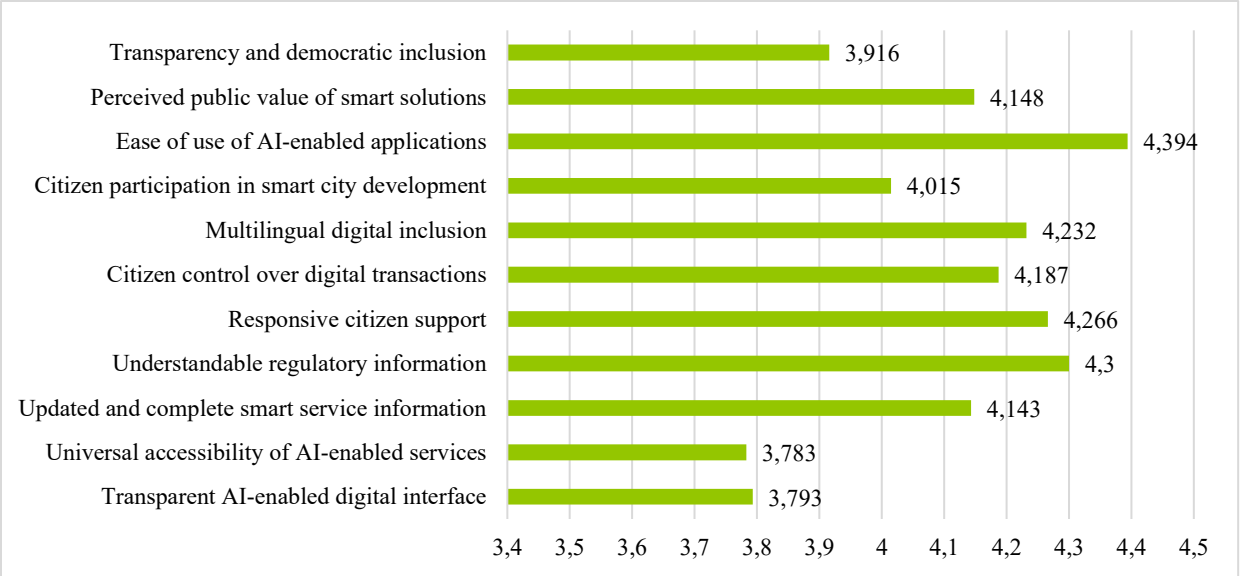
The data were analysed using JASP 0.95.4. The analytical strategy followed the logic of the study: first, to understand how citizens evaluate AI-enabled public services, and second, to examine whether the proposed relationships between the constructs were statistically supported. The internal consistency of the measurement instrument was assessed using Cronbach's alpha. The reliability result was high (α = 0.903), indicating that the items had strong internal coherence and could be used for further analysis. Descriptive statistics were therefore used to summarise respondents' evaluations of human-centred AI design, privacy and security concerns, trust, and citizen readiness. Spearman's correlation was used to examine bivariate monotonic associations between the constructs. Mediation analysis was conducted using Hayes PROCESS Model 4 with 10,000 bootstrap resamples. This analysis was used to examine whether trust functioned as a key mechanism linking human-centred AI design and privacy and security concerns with citizen readiness. The indirect effect was considered statistically significant when the 95% bootstrap confidence interval did not include zero. A significance level of α = .05 was adopted for all statistical tests.

RESULTS AND DISCUSSION

RQ1: How do citizens evaluate the human-centred qualities of AI-enabled public services in smart city contexts?

Figure 1 shows that citizens generally evaluated the human-centred qualities of AI-enabled public services positively. Most items received mean scores above 4.00, suggesting that respondents tend to value smart city services that are easy to use, understandable, responsive, inclusive and oriented toward public value. The highest-rated dimension was ease of use of AI-enabled applications (M = 4.394), followed by understandable regulatory information (M = 4.3), responsive citizen support (M = 4.266), multilingual digital inclusion (M = 4.232), and citizen control over digital transactions (M = 4.187). These results suggest that citizens do not evaluate AI-enabled public services only through their technological potential. They also value practical and human-centred features that make such services easier to understand, access and control. At the same time, the lowest mean scores were observed for universal accessibility of AI-enabled services (M = 3.783), transparent AI-enabled digital interfaces (M = 3.793), and transparency and democratic inclusion (M = 3.916). Although these scores remain above the midpoint of the scale, they indicate areas where citizen expectations may not be fully met. In particular, accessibility and transparency appear to be weaker dimensions of the human-centred service experience. The findings suggest that citizens are broadly favourable toward human-centred AI-enabled public services, but their evaluations are strongest when services are easy to use, clearly regulated and responsive to user needs. For smart city development, this means that human-centred AI should not be limited to technological efficiency. It should also ensure that citizens can understand, access, question and meaningfully use AI-enabled services in everyday urban life.

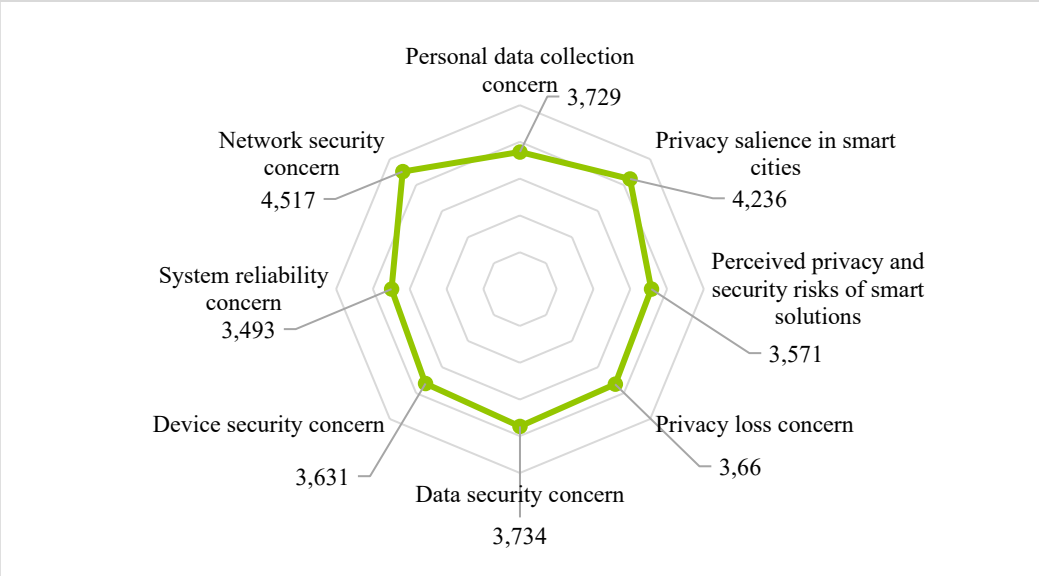
Figure 1: Citizens' evaluation of human-centred qualities of AI-enabled public services



RQ2: Which privacy and security concerns are most salient in citizens' perceptions of AI-enabled smart city services?

Figure 2 shows that citizens are attentive to the privacy and security implications of AI-enabled smart city services. The strongest concern was network security (M = 4.517), followed by the importance of privacy in smart cities (M = 4.236). This suggests that citizens do not see smart city services only as convenient or innovative tools. They also think about the systems behind them: whether networks are protected, whether data can be misused and whether privacy can still be preserved in a more connected urban environment. Concerns about data security (M = 3.734), personal data collection (M = 3.729), privacy loss (M = 3.66) and device security (M = 3.631) were also clearly present. These findings suggest that citizens are not rejecting AI-enabled services, but they want reassurance. They appear willing to recognise the value of smart city solutions, while also expecting clear protection of personal data, secure devices and responsible institutional practices. The lowest scores were observed for system reliability concern (M = 3.493) and the general perception that smart solutions create privacy and security risks (M = 3.571). Even so, both values remain above the midpoint of the scale. This means that these issues should not be dismissed. They may be less urgent than network security or privacy protection, but they still form part of the way citizens judge AI-enabled smart city services. The results suggest that privacy and security are not secondary issues for citizens. They are part of the conditions under which smart city innovation becomes acceptable. For AI-enabled public services, this means that trust will depend not only on how useful or efficient the services are, but also on whether citizens feel that their data, privacy and digital safety are genuinely protected.

Figure 2: Salience of privacy and security concerns in AI-enabled smart city services



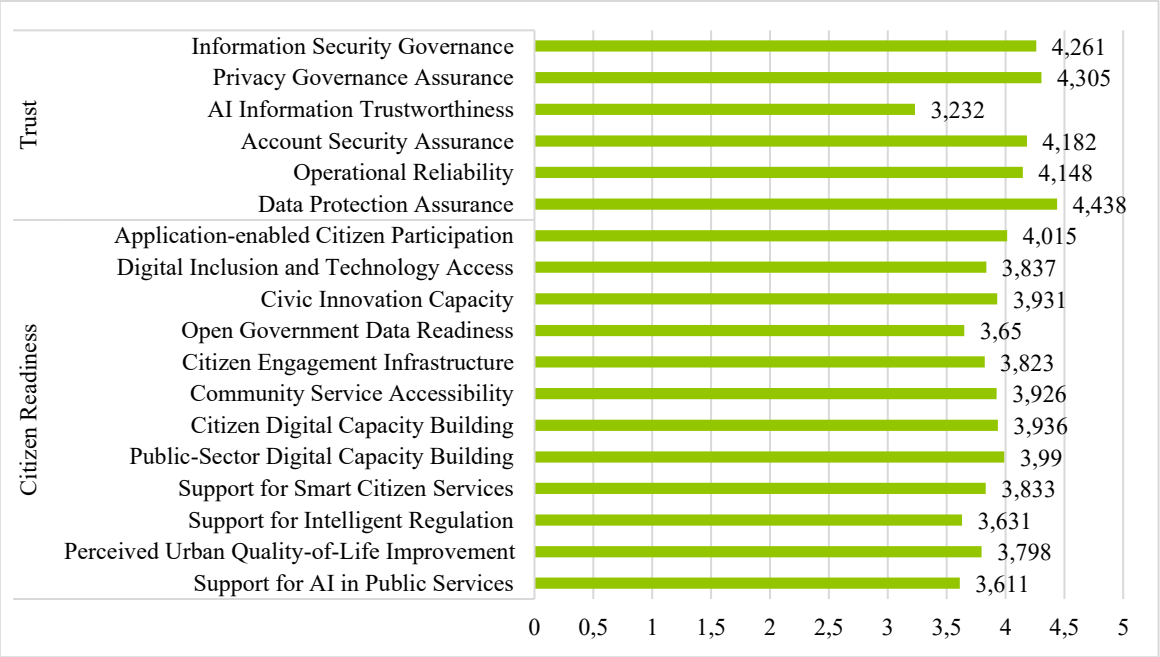
RQ3: What are citizens' levels of trust and readiness to support AI-enabled public services in smart cities?

Figure 3 shows that citizens express a generally positive but cautious orientation toward AI-enabled public services. Trust appears strongest when it is connected to concrete safeguards. Data protection assurance received the highest mean score (M = 4.438), followed by privacy governance assurance (M = 4.305), information security governance (M = 4.261), account security assurance (M = 4.182), and operational reliability (M = 4.148). These findings suggest that citizens' trust is grounded less in technological enthusiasm and more in the belief that AI-enabled services can protect data, secure digital profiles and operate under responsible governance. A different pattern appears for AI information trustworthiness, which received the lowest trust-related score (M = 3.232). This result is important because it shows that citizens may trust protective mechanisms more than they trust the information environment surrounding AI. In practical terms, this points to the need for clearer public communication, stronger transparency and more credible explanations about how AI is used in public services.

Citizen readiness also shows a positive but measured pattern. The highest readiness score was observed for application-enabled citizen participation (M = 4.015), followed by public-sector digital capacity building (M = 3.99), citizen digital capacity building (M = 3.936), civic innovation capacity (M = 3.931), and community service accessibility (M = 3.926). These results indicate that citizens are more ready to support AI-enabled public services when such services are linked to participation, skills development, access and civic innovation. At the same time, support for AI in public services (M = 3.611), intelligent regulation (M = 3.631), and open government data readiness (M = 3.65) received comparatively lower scores. Although these values remain above the midpoint of the scale, they suggest that citizen readiness is not unconditional. Citizens appear open to AI-enabled public services, but their support depends on whether these services are introduced in ways that are secure, understandable, inclusive and institutionally accountable.

Overall, the findings suggest that trust and readiness are closely connected in citizens' evaluations of AI-enabled public services. Citizens are not rejecting AI in smart city governance, but they expect AI-enabled services to be supported by data protection, reliable systems, transparent governance and meaningful opportunities for participation. From a human-centred smart city perspective, readiness should therefore be understood not simply as acceptance of technology, but as conditional support shaped by trust, security and public value.

Figure 3: Citizens' levels of trust and readiness to support AI-enabled public services



H1: Human-centred AI design is positively associated with trust in AI-enabled public services.

The results provide strong support for H1 (Table 1). A strong positive and statistically significant relationship was found between Human-Centred AI Design and Trust (Spearman's $\rho = 0.777$, $p < .001$). This suggests that citizens who perceive AI-enabled public services as more human-centred also tend to report higher levels of trust in those services. This finding is important because trust in public-sector AI does not appear to depend only on whether the technology works efficiently. Rather, trust is strengthened when citizens perceive AI-enabled services as useful, accessible, understandable, transparent and responsive to public needs. In this sense, the result supports the human-centred AI perspective: citizens are more likely to trust intelligent public services when these services are experienced as systems designed around people, not only around administrative efficiency. Therefore, H1 is supported. The finding indicates that human-centred qualities are strongly associated with citizens' trust in AI-enabled public services.

Table 1: Spearman's Correlations

Independent Variable		**Dependent Variable**	Spearman's rho	p
Human-centred AI design	-	Trust	0.777***	< .001

H2: Privacy and security concerns are negatively associated with trust in AI-enabled public services. The results support H2 (Table 2). A negative and statistically significant relationship was found between Privacy and Security Concerns and Trust (Spearman's $\rho = -0.215$, $p = .002$). This indicates that respondents who reported higher privacy and security concerns tended to report lower levels of trust in AI-enabled public services. Although the strength of the relationship is modest, the direction of the association is theoretically meaningful. In AI-enabled smart city contexts, citizens' trust may be weakened when they are concerned about personal data collection, privacy loss, cyber risks, system reliability or the possible misuse of information. This finding suggests that trust in AI-enabled public services depends not only on perceived benefits, but also on whether citizens believe that their data and

security are adequately protected. Therefore, H2 is supported. The result shows that privacy and security concerns are negatively associated with citizens' trust in AI-enabled public services.

Table 2: Spearman's Correlations

Independent Variable		**Dependent Variable**	Spearman's rho	p
Privacy and security concerns	-	Trust	-0.215**	0.002

H3: Trust is positively associated with citizen readiness to support AI-enabled public services.

The results provide strong support for H3 (Table 3). A strong positive and statistically significant relationship was found between Trust and Citizen Readiness (Spearman's $\rho = 0.728$, $p < .001$). This indicates that respondents who reported higher levels of trust in AI-enabled public services were also more likely to express readiness to support such services. This finding highlights the central role of trust in the public acceptance of AI-enabled services. In smart city contexts, citizens may recognise the potential benefits of AI, but their readiness to support such services depends strongly on whether they believe that the systems and the institutions behind them are reliable, secure and responsibly governed. Trust therefore appears to function as a key condition for citizen readiness. Accordingly, H3 is supported. The result suggests that trust is strongly and positively associated with citizens' readiness to support AI-enabled public services.

Table 3: Spearman's Correlations

Independent Variable		**Dependent Variable**	Spearman's rho	p
Trust	-	Citizen Readiness	0.728***	< .001

H4a: Trust mediates the relationship between human-centred AI design and citizen readiness ($\alpha = 0.05$).

The findings offer clear support for H4a (Table 4). Human-Centred AI Design was positively related to Citizen Readiness, both directly and indirectly through Trust. The direct effect was significant ($b = 0.464$, $SE = 0.062$, $p < .001$, 95% CI [0.319, 0.606]), showing that citizens are more willing to support AI-enabled public services when they perceive these services as useful, accessible, understandable and responsive to public needs. At the same time, the indirect effect through Trust was also significant ($b = 0.201$, $SE = 0.050$, $p < .001$, 95% CI [0.091, 0.314]). This suggests that human-centred design does not only make AI-enabled services more acceptable on its own; it also builds trust, and this trust further increases citizens' readiness to support such services. Because both the direct and indirect effects were significant, the results indicate partial mediation. In practical terms, this means that citizens are more ready to support AI-enabled public services when they see them as designed around people and when this perception strengthens their trust in the systems and institutions behind them. Therefore, H4a is supported.

Table 4: Mediation analysis

							95% bootstrap CI	
				Estimate	Std. Error	p	Lower	Upper
Human-Centred AI Design	→	Citizen Readiness		0.464	0.062	< .001	0.319	0.606
Human-Centred AI Design	→	Trust	→ Citizen Readiness	0.201	0.05	< .001	0.091	0.314

H4b: Trust mediates the relationship between privacy and security concerns and citizen readiness (α = 0.05).

The results support H4b (Table 5). Privacy and Security Concerns had a negative and statistically significant direct effect on Citizen Readiness (b = -0.141, SE = 0.042, p < .001, 95% CI [-0.224, -0.058]). This suggests that citizens who are more concerned about privacy and security are less ready to support AI-enabled public services. The indirect effect through Trust was also negative and statistically significant (b = -0.137, SE = 0.048, p = .004, 95% CI [-0.231, -0.043]). This means that privacy and security concerns do not only reduce citizen readiness directly; they also reduce it by weakening trust. When citizens are worried about how their data may be collected, protected or used, they may become less confident in AI-enabled public services and in the institutions responsible for them. Since both the direct and indirect effects were statistically significant, the findings indicate partial mediation. In practical terms, the results show that trust is an important pathway through which privacy and security concerns shape citizen readiness. Therefore, H4b is supported.

Table 5: Mediation analysis

							95% bootstrap CI	
				Estimate	Std. Error	p	Lower	Upper
Privacy and Security Concerns	→	Citizen Readiness		-0.141	0.042	< .001	-0.224	-0.058
Privacy and Security Concerns	→	Trust	→ Citizen Readiness	-0.137	0.048	0.004	-0.231	-0.043

CONCLUSION

This study set out to understand how citizens evaluate AI-enabled public services in a smart city context, and under what conditions they are ready to support them. The findings show a clear but careful form of openness. Citizens are not opposed to the use of AI in public services. However, their support is not unconditional. It depends on whether AI-enabled services are perceived as useful, understandable, secure, inclusive and responsibly governed. The results show that human-centred qualities matter strongly. Citizens placed particular value on services that are easy to use, supported by clear regulatory information, responsive to citizen needs and available in inclusive forms such as multilingual digital

access. This suggests that citizens do not judge AI-enabled public services only by their technological sophistication. They also judge them by how they are experienced in everyday life: whether they are simple to use, whether people can understand them, whether they provide support when needed and whether they give citizens a sense of control.

At the same time, the findings show that privacy and security remain central concerns. Network security, privacy protection, data security and personal data collection were among the most salient issues for respondents. This indicates that citizens are aware of the hidden side of smart city innovation. Behind every digital service there are data flows, connected devices, institutional decisions and potential vulnerabilities. For citizens, these issues are not merely technical. They shape whether AI-enabled public services feel safe, legitimate and worthy of trust.

Trust emerged as the key link between citizens' perceptions and their readiness to support AI-enabled public services. The results showed that Human-Centred AI Design was strongly and positively associated with Trust, while Privacy and Security Concerns were negatively associated with Trust. Trust, in turn, was strongly associated with Citizen Readiness. The mediation findings further confirmed that trust partly explains how human-centred design strengthens readiness, and how privacy and security concerns weaken it. In simple terms, citizens are more likely to support AI-enabled public services when these services feel designed for people and when institutions appear capable of protecting citizens' data, rights and security.

For policymakers and public institutions, the implication is clear. AI-enabled smart city services should not be introduced only as technological upgrades. They should be designed as public services that citizens can understand, question, access and trust. This requires investment not only in digital infrastructure, but also in privacy governance, cybersecurity, public communication, digital inclusion and citizen engagement. This study contributes to the literature by showing that trust is not a secondary factor in AI-enabled smart city governance. It is the condition through which human-centred design becomes meaningful and through which privacy and security concerns influence citizen readiness. In the Albanian context, where AI-enabled public services and smart city governance are still developing, these findings highlight the importance of building public trust before large-scale implementation.

Future research could extend this study by comparing citizen perceptions across different countries or cities, using longitudinal data to examine how trust changes over time, or combining survey findings with interviews to better understand citizens' lived experiences with AI-enabled public services.

REFERENCES

Ashour, K., & Salmi, A. (2026). The Algorithmic State's Eye: artificial intelligence, urban surveillance, and the reshaping of citizen–state relations in Egypt. *AI & Society*, 3763-3776.

European Commission. (2025, November 4). *Smart cities and communities.* Retrieved from Shaping Europe's Digital Future: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/smart-cities-and-communities

Hartley, K. (2021). Public Trust and Political Legitimacy in the Smart City: A Reckoning for Technocracy. *Science, Technology, & Human Values*, 1286 - 1315. doi:10.1177/0162243921992864

Hartley, K. (2023). Public Perceptions About Smart Cities: Governance and Quality-of-Life in Hong Kong. *Social Indicators Research*, 731–753. doi:10.1007/s11205-023-03087-9

Ismagilova, E., Hughes, L., Rana, N., & Dwivedi, Y. K. (2022). Security, Privacy and Risks Within Smart Cities: Literature Review and Development of a Smart City Interaction Framework. *Information Systems Frontiers*, 393-414. doi:10.1007/s10796-020-10044-1

Kelly, S., Kaye, S.-A., & Oviedo-Trespalacios, O. (2023). What factors contribute to the acceptance of artificial intelligence? A systematic review. *Telematics and Informatics*, 101925.

Lucas, E., & Simpson, S. (2025). Perspectives on citizen data privacy in a smart city – An empirical case study. *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies*, 462-478.

OECD. (2025). *Artificial Intelligence for Advancing Smart Cities-5th OECD Roundtable on Smart Cities and Inclusive Growth.* Paris: OECD Publishing.

OECD. (2025). *Governing with Artificial Intelligence: The State of Play and Way Forward in Core Government Functions.* Paris: OECD Publishing.

OECD. (2026). *Progress in Implementing the European Union Coordinated Plan on Artificial Intelligence (Volume 2): Uptake in High-Impact Sectors.* Paris: OECD Publishing.

Pande, D., Khanal, S., & Taeihagh, A. (2025). Conceptualising Public Trust in High-Risk AI Policymaking: A Comparative Analysis of Three Asian Cities. *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 578-602.

Riedmann-Streitz, C., Streitz, N., Antona, M., Marcus, A., Margetis, G., Ntoa, S., . . . Rosenzweig, E. (2025). How to Create and Foster Sustainable Smart Cities? Insights on Ethics, Trust, Privacy, Transparency, Incentives, and Success. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 2491–2522.

Robles, P., & Mallinson, D. J. (2025). Artificial intelligence technology, public trust, and effective governance. *Review of Policy Research*, 11-28.

Schmager, S., Pappas, I. O., & Vassilakopoulou, P. (2025). Understanding Human-Centred AI: a review of its defining elements and a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 3771–3810. doi:10.1080/0144929X.2024.2448719

Szafran, D., & Bach, R. (2026). Unfamiliar but desired: citizens' attitudes toward smart city applications. *AI & Society*, 4441-4458 .

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ALGORITHMIC BEHAVIOURAL RECONFIGURATION AND POLITICAL BEHAVIOUR IN THE AGE OF MULTIMODAL AI: A COMPARATIVE ANALYSIS OF INDONESIA AND THE EUROPEAN UNION

Manotar Tampubolon

Universitas Bung Karno Indonesia

Abstract

The emergence of multimodal artificial intelligence (AI) systems marks a significant transformation in the relationship between technology, governance, and human behaviour. Unlike earlier digital technologies that primarily mediated access to information, multimodal AI systems can generate, synthesize, personalize, and adapt content across text, image, audio, video, and interactive modalities. These capabilities create unprecedented opportunities for communication, civic participation, and political engagement, while simultaneously raising concerns regarding manipulation, democratic autonomy, and behavioural influence. Existing scholarship on AI governance has largely concentrated on issues of privacy, transparency, bias, accountability, and algorithmic fairness. However, comparatively little attention has been devoted to understanding how multimodal AI systems actively reshape political behaviour through continuous interactions between prediction, content generation, and user feedback. This research proposes the concept of Algorithmic Behavioural Reconfiguration (ABR) to explain how multimodal AI systems transform political cognition, political participation, and democratic decision-making. Employing a comparative socio-legal and governance-based analysis, the project examines Indonesia and the European Union as contrasting regulatory environments characterized by different institutional capacities, political cultures, and approaches to AI governance. The research aims to develop a novel theoretical framework for understanding behavioural transformations in AI-mediated societies and generate policy recommendations for democratic governance in the age of multimodal AI.

Keywords: Multimodal AI, political behaviour, algorithmic governance, democracy, Indonesia, European Union, behavioural regulation, digital governance.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DİGİTAL CALM: A SYSTEMATİC REVİEW OF ARTİFİCİAL INTELLİGENCE BASED MİNDFULNESS APPLİCATİONS FOR PSYCHOLOGİCAL WELL-BEİNG

Dr. Priya Choudhary

Assistant professor, MIER College of education jammu

Dr. Richa Gupta

Assistant Professor, Deptt of higher education, jammu

ABSTRACT

Mental health challenges are escalating globally, driving demand for scalable, accessible psychological interventions. Artificial intelligence (AI)-powered mindfulness applications represent an emerging frontier in digital mental health, offering personalized, real-time, and cost-effective support for psychological well-being. Despite their rapid proliferation, a comprehensive synthesis of their effectiveness remains lacking. This systematic review examines the efficacy of AI-powered mindfulness applications in reducing psychological distress and enhancing well-being outcomes including stress, anxiety, depression, emotional regulation, and quality of life.A systematic search was conducted across major electronic databases including PubMed, PsycINFO, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, covering peer-reviewed studies published between 2015 and 2025. Studies was included if they evaluate AI-integrated mindfulness-based applications and report psychological well-being outcomes in adult populations. Preliminary evidence suggests that digitally assisted mindfulness interventions using AI-based applications, chatbots, and virtual coaches demonstrate measurable improvements in attention regulation, repetitive negative thinking and psychological resilience. However, significant heterogeneity in study design, AI methodology, and outcome measures limits definitive conclusions. Key gaps include insufficient long-term follow-up data, limited evidence from low-and-middle-income countries, and unresolved ethical concerns surrounding algorithmic bias, data privacy, and user autonomy. This review is expected to provide clinicians, researchers and mental health policymakers with a rigorous evidence base for the integration of AI-powered mindfulness tools into psychological care frameworks, while identifying priority directions for future empirical investigation.

Keywords: Artificial Intelligence, Mindfulness-Based Intervention, Digital Mental Health, Psychological Well-Being, Stress Reduction, Mobile Applications

A HYBRİD MOBİLE EDGE-CLOUD FRAMEWORK FOR REAL-TİME BİG DATA ANALYTİCS İN IOT

Jayadurga lakshmi. J

Department of Computer Science & Engineering, A.V.C College of Engineering, Mannampandal-609305.

Shyamala Devi D

Department of Computer Science & Engineering, A.V.C College of Engineering, Mannampandal-609305.

Ashley Monica M

Department of Computer Science & Engineering, A.V.C College of Engineering, Mannampandal-609305.

Saranya M

Department of Computer Science & Engineering, A.V.C College of Engineering, Mannampandal-609305.

The rapid expansion of the Internet of Things (IoT) ecosystem has triggered an explosion of heterogeneous data, overwhelming traditional centralized cloud infrastructures. Relying solely on the cloud for processing results in prohibitive network latencies, high bandwidth consumption, and severe data bottlenecking. To mitigate these issues, this paper introduces a novel framework utilizing Mobile Edge Cloud Computing (MECC) integrated with Big Data Analytics within IoT networks. By shifting resource-intensive computing tasks, local data filtration, and real-time processing to edge servers, the proposed architecture bridges the gap between remote data centers and proximate data sources. Concurrently, deep big data analytical models are deployed at the centralized cloud layer to manage historical storage and extract high-level predictive insights. Simulation and experimental results demonstrate that our hybrid MECC framework reduces core network traffic, significantly lowers end-to-end latency, and maintains superior quality of service (QoS) for real-time IoT applications compared to cloud-only solutions.

***Key Words*:** Big data, Data analytics, Internet of things (IoT), Cloud computing, Edge computing, Mobile edge cloud computing (MECC).

THE PROTECTIVE EFFECT OF BILINGUALISM ON NEURODEGENERATIVE DISEASE ONSET AS EVIDENCE FOR COGNITIVE RESERVE

Alona CHUBARYKOVA

Student. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine", Department of Physiology and Anatomy, Kyiv, Ukraine. (Responsible Author)

Olga PODPALOVA

PhD (Biol.), Assist. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine", Department of Physiology and Anatomy, Kyiv, Ukraine.

ABSTRACT

The escalating prevalence of Alzheimer's disease (AD) and related dementias necessitates the identification of non-pharmacological interventions to bolster cognitive reserve (CR) — the brain's functional resilience against neurodegeneration. Lifelong bilingualism serves as a profound form of cognitive stimulation, with epidemiological data demonstrating a significant delay in the clinical manifestation of symptoms. Specifically, meta-analyses and retrospective studies have reported delays of 4.3 to 4.6 years in dementia onset compared to monolingual cohorts. This neuroprotective effect is further corroborated by evidence showing alleviated levels of cerebrospinal fluid biomarkers, such as amyloid-beta (Aβ) and tau, in both early and late bilinguals.

The underlying molecular mechanisms involve the up-regulation of specific neurotrophic factors induced by intense neural processing. High-intensity cognitive activity associated with dual-language management elevates levels of vascular endothelial growth factor (VEGF), which promotes adult neurogenesis in the subventricular zone and the dentate gyrus of the hippocampus. Furthermore, VEGF facilitates the release of brain-derived neurotrophic factor (BDNF), a critical mediator of experience-dependent synaptogenesis and synaptic plasticity. These cellular changes reinforce neural circuitry, particularly within the frontostriatal and frontoparietal executive control networks, enhancing functional connectivity.

Structurally, bilingualism is associated with preserved gray matter density in the anterior cingulate cortex and basal ganglia (including the left caudate and putamen), as well as enhanced white matter integrity in the corpus callosum. These adaptations provide a robust neural reserve, allowing for functional compensation even as brain atrophy or pathological damage accumulates. Despite methodological debates regarding confounding variables like immigration status, current evidence supports bilingualism as a potent, low-cost strategy for enhancing CR and extending the period of cognitive health by nearly half a decade.

Keywords: bilingualism, cognitive reserve, Alzheimer's disease, neuroplasticity, functional connectivity.

A SOCIO-PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF SECTARIANIZATION: A STUDY ON JA'FARISM

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI

Assoc. Prof. Dr. Department of Psychology of Religion, Ardahan University, Visiting Scholar, Indiana University Bloomington, ORCID ID: 0000-0001-6999-5059

ABSTRACT

Bu çalışmada, Caferilik kavramı üzerinden sosyo-psikolojik bir okuma yapılmış ve Caferiliğin toplum içerisinde sosyo-psikolojik bağlamda kazandığı anlam incelenmiştir. Günümüzde, dinin yerini kısmen mezhep kavramının aldığı ve mezhep kavramının literal anlamının işlevsizleşerek daha çok sosyolojik bir içerik kazandığı görülmektedir. Her ne kadar mezhebe mensup bireyler kendilerini dinin bir yorumu olarak tanımlasalar da, pratikte bunun tam anlamıyla karşılık bulmadığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, katılımcıların Caferiliğin aslında bir mezhep olmadığı, aksine dinin asli formunu yansıttığı yönündeki söylemleri özellikle vurgulanmıştır. Bu durum, onların mezhep kavramına yükledikleri anlamı açıkça ortaya koymaktadır. Araştırma, daha önce İran'da dini eğitim almış ve günümüzde çoğunluğu çeşitli camilerde görev yapan altı katılımcı üzerinden yürütülmüştür. Çalışmada, katılımcıların demografik özelliklerinin yanı sıra İslam'a ilişkin algıları, bu algıların oluşumunda etkili olan sosyo-psikolojik faktörler ile Şiîlik ve Sünnîliğe yönelik değerlendirmeleri ele alınmıştır. Ayrıca, katılımcıların temel inançlarının mezhepsel doktrinler bağlamında nasıl bir dönüşüm geçirdiği de yöneltilen sorular aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, anlayıcı (yorumsamacı) yaklaşım çerçevesinde çözümlenmiştir.

Sonuç olarak, teokratik bir bakış açısına sahip olan Şiî inançta, İslam'ın temel rükünlerinin kaynağı olarak Kur'an hem Şiî hem de Sünnî kaynaklarda ortak bir referans olarak kabul edilmektedir. Bu durum, çalışmamızdaki katılımcıların görüşleriyle de desteklenmektedir. Caferilik, özellikle İmamet anlayışı ve ilk üç halifeye yönelik eleştiriler çerçevesinde zamanla sistematik bir kimlik kazanmıştır. Bu kimlik, siyasi, dini ve toplumsal boyutları olan bir yapı olarak şekillenmiştir. Şiîlik, İslam'ın bir yorumu veya beşerî bir oluşum olarak ortaya çıkmış olmakla birlikte, İmamet anlayışı dışında İslam'ın temel esasları bakımından Sünnî anlayıştan belirgin bir şekilde ayrışmamaktadır. Ancak, İmamet anlayışı ve bazı sahabelere yönelik farklı değerlendirmeler gibi inançsal ayrılıklar, iki mezhep arasında düşünsel gerilimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Din Psikolojisi, Din, Mezhep, Caferilik

"FINANCIAL SUPPORT AS A PREDICTOR OF ACADEMIC PROCRASTINATION: A STUDY OF SELECTED UNIVERSITIES."

Abdul-Rahman Balogun Muhammed-Shittu

Affiliation: British School in Baku, ORCID: 0000-0002-2141-2632

ABSTRACT

The present research is about scholarship as a practice of academic award or financial assistance and support for students to further their education and to enable them to perform excellently. Researchers have dealt with the concepts of scholarship and academic dishonesty, and the development of human environment from sociological perspective, but discretely. Thus, here is the first empirical investigation about the influence of academic scholarship on academic dishonesty on students and lecturers' attitudes towards the development of the environment. Therefore, the study adds to the literature by establishing and examining academic scholarships impact on academic dishonesty in developing human environment through a unique sample of post-secondary students cum lecturers of higher institutions as a control group. The students will be grouped into certain categories in accordance to their academic scholarship position and questionnaires assessing academic dishonesty will be randomly distributed among a large population of participants. As hypothesized, scholarship was found to be significantly impacted academic procrastination among the students. Recipients of full scholarship with monthly stipends were found with the lowest level in all selected areas of academic procrastination. Oppositely, non-scholarship recipients among the students were reported with the highest values of academic procrastination in all targeted domains of this study as outlined above. Mere assessment of the two outcomes indicates positive impact of scholarship on academic procrastination. Accordingly, the study tested whether there is impact of scholarship in gender on academic procrastination. It was confirmed that the female students procrastinate slightly higher than male students. In terms of generalisability, the approach in which the data of this study were gathered, also with the considerable size out of the population make the findings generalisable.

Keywords: Financial support; scholarship types; effects; academic procrastination; private university.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

INCLUSIVE EDUCATION AND GIRL-CHILD EDUCATION IN NIGER STATE, NIGERIA: BARRIERS TO EFFECTIVE IMPLEMENTATION AND POLICY IMPLICATIONS

SARKI MATHEW ALHERI ANGELA (PhD)

Department Of Educatıonal Foundatıons, Dr Umaru Sanda Ahmadu College Of Educatıon Mınna

ABDULKBIR GARBA

Department Of Educatıonal Foundatıons, Dr Umaru Sanda Ahmadu College Of Educatıon Mınna,

ABSTRACT

This study examines the implementation of inclusive education and its implications for girl-child education in Niger State. Despite global and national commitments to inclusive education, significant disparities still exist in access to education for girls in Northern Nigeria. The study identifies socio-cultural, religious, economic, and political factors as major barriers to effective implementation. Using inclusive education and social inclusion frameworks, the study reveals that gender inequality, poverty, early marriage, and weak policy enforcement continue to hinder educational access for girls. Recent evidence shows that Nigeria still records high rates of out-of-school girls, especially in Northern states. The paper concludes that inclusive education remains largely theoretical in practice and recommends strengthened policy implementation, community sensitization, and economic empowerment of families.

Keywords: Inclusive education, Girl-child education, Gender inequality, Socio-cultural barriers, Educational access

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

EFFECT OF JOB SATISFACTION ON EMPLOYEE PERFORMANCE IN NIGERIA CIVIL AVIATION AUTHORITY (NCAA)

Isah Musa

Department of Business Administration Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, Niger State.

Ibrahim Babasani

Department of Business Administration Ibrahim Badamasi Babangida University Lapai, Niger State.

Isah Baba

Department of Business Administration, Fati Lami Abubakar, Institute for Legal and Administrative studies, Minna, Niger State

Mohammed Mohammed Ndagi

Department of Public Administration, Fati Lami Abubakar, Institute for Legal and Administrative studies, Minna, Niger State.

ABSTRACT

This study examined the effect of job satisfaction on employee performance at the Nigeria Civil Aviation Authority (NCAA). A survey research design was adopted, with primary data collected from 155 employees using structured questionnaires, supported by secondary data from relevant literature. The data were analyzed using SmartPLS 4 statistical techniques. The findings revealed that job satisfaction has a significant positive effect on employee performance, indicating that higher levels of job satisfaction are associated with improved performance. The study further established that job satisfaction is a strong predictor of employee performance within the organization. Based on these findings, the study recommends that management should prioritize policies and practices that enhance job satisfaction, such as improving working conditions, providing adequate incentives, and recognizing employee contributions, in order to boost employee performance and overall organizational effectiveness.

Keywords: Job satisfaction, Employee performance and Nigeria Civil Aviation Authority,

Introduction

Job satisfaction has become an important subject of discussion in organizational management and human resource development because of its direct influence on employee performance, organizational productivity, and service delivery (Robbins & Judge, 2019; Spector, 1997). In modern public sector institutions, especially those responsible for safety regulation and operational oversight, employee satisfaction plays a critical role in achieving efficiency, accountability, and high performance standards (Armstrong & Taylor, 2020). The Nigeria Civil Aviation Authority (NCAA), as the regulatory body responsible for ensuring aviation safety, security, and economic regulation within Nigeria's aviation industry, relies heavily on the competence, motivation, and commitment of its workforce to fulfill its mandate (Adepoju & Adeyemi, 2021).

Job satisfaction refers to the extent to which employees feel positively or negatively about their work, including aspects such as remuneration, working conditions, leadership style, promotion opportunities, job security, organizational culture, and professional development (Locke, 1976; Robbins & Judge, 2019). When employees are satisfied with their jobs, they are more likely to demonstrate higher levels of commitment, productivity, innovation, and adherence to organizational standards. Conversely,

dissatisfaction may lead to reduced morale, absenteeism, poor service delivery, and decreased organizational effectiveness (Spector, 1997; Robbins & Judge, 2019). In highly technical and safety-sensitive organizations like the NCAA, employee performance is crucial because it directly impacts aviation safety standards, regulatory compliance, and public trust in the aviation sector. Employees within the authority are responsible for critical tasks such as aircraft inspection, licensing, monitoring airline operations, enforcing safety regulations, and managing administrative and operational processes (Adepoju & Adeyemi, 2021). Therefore, the level of job satisfaction among NCAA employees can significantly influence their performance outcomes, decision-making quality, and overall organizational effectiveness.

Despite the strategic importance of the aviation sector in Nigeria's economic development and international connectivity, public sector organizations, including regulatory agencies, often face challenges related to employee motivation and satisfaction. These challenges may include bureaucratic structures, limited career advancement opportunities, workload pressures, inadequate compensation structures, leadership issues, and resource constraints (Armstrong & Taylor, 2020; Robbins & Judge, 2019). Such factors may affect employee morale and ultimately influence performance levels. Furthermore, the dynamic nature of the aviation industry, characterized by rapid technological advancements, regulatory changes, safety requirements, and global competition, places additional demands on NCAA personnel. Maintaining high job satisfaction levels is therefore essential to ensure that employees remain motivated, competent, and capable of responding effectively to industry challenges (Memon et al., 2023; Al-Balushi et al., 2021). Understanding the relationship between job satisfaction and employee performance within the NCAA is necessary for developing strategies that enhance workforce productivity and organizational efficiency.This study, therefore, seeks to examine the effect of job satisfaction on employee performance in the Nigerian Civil Aviation Authority.

1.2 Statement of the Problem

Employee performance is a critical factor in achieving organizational effectiveness, particularly in regulatory agencies such as the Nigerian Civil Aviation Authority (NCAA), where safety, efficiency, and compliance with international aviation standards are paramount (Khan et al., 2022; Mensah & Adu, 2021). The NCAA plays a vital role in ensuring aviation safety, monitoring airline operations, enforcing regulatory policies, and maintaining public confidence in Nigeria's aviation sector (Oluwaseun et al., 2020). The effective execution of these responsibilities depends largely on the performance, commitment, and competence of its workforce. However, employee performance is often influenced by various organizational and psychological factors, among which job satisfaction remains a key determinant (Memon et al., 2023; Al-Balushi et al., 2021). Despite the importance of job satisfaction in enhancing productivity and organizational effectiveness, public sector institutions in Nigeria have frequently faced challenges related to employee motivation, workplace morale, and organizational commitment (Akanbi & Olaniyan, 2019). Issues such as inadequate remuneration, limited promotion opportunities, heavy workloads, bureaucratic constraints, leadership style, and insufficient professional development opportunities may contribute to varying levels of job satisfaction among employees. When job satisfaction is low, it may negatively affect employee performance, leading to reduced efficiency, poor service delivery, lack of innovation, and increased turnover intentions (Mensah & Adu, 2021; Memon et al., 2023). In the Nigerian Civil Aviation Authority, where employees perform highly specialized and safety-sensitive tasks, poor performance resulting from low job satisfaction may have significant consequences for regulatory effectiveness and aviation safety outcomes (Khan et al., 2022; Oluwaseun et al., 2020). Although efforts have been made to improve organizational processes and operational standards within the aviation sector, challenges within the Nigerian Civil Aviation Authority (NCAA) persist. Therefore, this study seeks to assess the effect of job satisfaction on employee performance within the NCAA.

1.3 Research Questions

I. To what extent does Job satisfaction affect employee performance in Nigeria Civil Aviation Authority (NCAA)?

- **Objectives of the Study**

I. Determine the effect of Job satisfaction on employee performance in the Nigerian Civil Aviation Authority (NCAA).

1.5: Research Hypotheses

HO[1]. Job satisfaction has no significant effect on employee performance in Nigeria Civil Aviation Authority (NCAA).

2.2 Conceptual Review

2.2.1 Concept of Job Satisfaction

According to Patricia and Asoba (2021), job satisfaction refers to the degree to which employees feel content, motivated, and fulfilled in their work roles. Dreer (2024) defined it as a positive emotional state resulting from the appraisal of one's job or job experiences. Job satisfaction is a critical determinant of employee behaviour, influencing motivation, commitment, and productivity. Gazi, Yusof and Islam (2024) defined job satisfaction as an affective variable resulting from an analysis of one's working conditions, highlighting the emotional aspect of job satisfaction and its dependence on the work environment. This aligns with earlier conceptualizations that view job satisfaction as a pleasurable or positive emotional state resulting from the appraisal of one's job experiences. However, Gazi et al.'s definition emphasizes the importance of working conditions in shaping employees' affective responses to their jobs.

2.2.2 Concept of Employee Performance

Nduati & Wanyoike (2022) view employee performance as the level of efficiency and effectiveness with which employees carry out their duties to achieve organizational objectives. According to Çalışkan and Köroğlu (2022), performance encompasses task performance, contextual performance, and adaptive behaviour. Employee performance is influenced by both intrinsic and extrinsic factors. Employee performance refers to the extent to which an individual effectively and efficiently executes their job responsibilities, contributing to the achievement of organizational goals (Nduati & Wanyoike, 2022).

2.2.3 Empirical Review

Several empirical studies have examined the relationship between job satisfaction and employee performance across different sectors and contexts.

2.2.4 Job Satisfaction and Employee Performance

Hajiali et al. (2022) examined the determinants of job satisfaction and employee performance, focusing on work motivation, leadership style, and employee competence in Makassar, Indonesia. The study aimed to assess both the direct effects of these factors on performance and the indirect effects mediated by job satisfaction. Using complete sampling, data were collected from 125 employees and analyzed through Structural Equation Modelling (SEM) with AMOS 18. The results revealed that work motivation negatively and significantly influenced job satisfaction, suggesting that existing levels of employee motivation in terms of existence, connectedness, and growth were insufficient to foster satisfaction. Employee competence had a positive but statistically insignificant effect on performance, indicating that competencies were underutilized or misaligned with organizational needs. Furthermore, while competence influenced performance indirectly through job satisfaction, this effect was also insignificant. The study contributes to understanding how motivational and competency-related factors impact employee satisfaction and performance. However, several limitations reduce its generalisability and practical implications. Firstly, the study is geographically and institutionally specific, limiting its

applicability to other sectors or public institutions in different contexts. Secondly, the use of complete sampling in a small population constrains the robustness of statistical inference and the ability to generalize findings. Thirdly, the study does not disaggregate job satisfaction into its multiple dimensions, such as compensation, promotion, job security, working conditions, and growth opportunities, which may have differential effects on performance. Additionally, the negative impact of work motivation on job satisfaction warrants a deeper qualitative investigation to understand the underlying causes. These limitations highlight a significant research gap. Specifically, there is a lack of empirical evidence on how multi-dimensional job satisfaction factors interact with employee motivation, competence, and leadership styles to influence performance in public sector organizations in developing countries, such as local government areas in Nigeria. There is also a need for larger, more representative samples and multi-sector analyses to provide actionable insights for organizational policy and workforce management.

Ezeanyim, Ekene, Ufoaroh, Ebele, and Ajakpo (2019), in their study titled "The Impact of Job Satisfaction on Employee Performance in Selected Public Enterprises in Awka, Anambra State," examined the relationship between job satisfaction and employee performance among workers in selected public enterprises. The study adopted a survey research design, and data were obtained through structured questionnaires administered to employees of various public organizations within Awka metropolis. The data collected were analyzed using descriptive statistics and correlation analysis to establish relationships between the variables. The dependent variable for the study was employee performance, while the independent variable was job satisfaction, measured through indicators such as pay, promotion, supervision, and work environment. Findings revealed a strong and positive relationship between job satisfaction and employee performance. Employees who were satisfied with their working conditions, compensation, and recognition exhibited higher levels of efficiency, productivity, and organizational commitment. The study concluded that job satisfaction is a critical determinant of employee performance in the public sector and recommended that public enterprises should focus on enhancing employee welfare through fair compensation, recognition of effort, better promotion opportunities, and a supportive work environment to increase motivation and performance.

Aroge (2016) conducted a study titled "Job Satisfaction and Work Performance of Public Secondary School Teachers in Akoko North West Local Government Area of Ondo State." The study aimed to investigate the extent to which job satisfaction influences teachers' performance in public secondary schools. The research utilized a descriptive survey design, and data were collected through questionnaires distributed to teachers across selected schools. The responses were analyzed using Pearson correlation and regression analysis to determine the degree of association between job satisfaction and performance. The dependent variable in this study was teacher work performance, while the independent variable was job satisfaction, measured through motivation, salary, promotion, and work conditions. The findings showed a significant and positive relationship between job satisfaction and teachers' work performance. Teachers who reported higher satisfaction with their remuneration, work environment, and promotion prospects demonstrated better teaching effectiveness, punctuality, and dedication. The study recommended that the government and educational administrators should create a conducive environment for teaching and learning, ensure regular and timely promotions, and provide adequate incentives and welfare packages to motivate teachers and enhance their overall performance.

Bakotić (2016) examined the relationship between job satisfaction and employee performance in manufacturing firms in Croatia to determine the direction and strength of the association between these variables. The study adopted a quantitative survey design and analyzed data obtained from 580 employees using correlation and regression techniques. Contrary to widely held expectations that job satisfaction directly enhances performance, the findings revealed that employee performance had a significant influence on job satisfaction, whereas the effect of job satisfaction on performance was weak and statistically insignificant. This suggests that employees may derive satisfaction from achieving high levels of performance rather than satisfaction serving as the primary driver of productivity. While the

study contributes to empirical discussions by challenging traditional assumptions about the satisfaction–performance linkage, certain limitations restrict its broader theoretical implications, including sectoral and geographical constraints and the lack of consideration of moderating variables such as leadership style, organizational culture, or reward systems.

Judge, Thoresen, Bono, and Patton (2001) conducted a comprehensive meta-analytic review examining the relationship between job satisfaction and employee performance across multiple industries and organizational settings. The analysis revealed an overall positive association; however, the magnitude of the relationship was modest, indicating that job satisfaction accounts for only a limited proportion of variance in performance outcomes. The authors argued that situational constraints, role ambiguity, and organizational policies may weaken the direct impact of job satisfaction on employee productivity. Although the meta-analysis provides strong empirical evidence through aggregated data, it highlights the complexity of the satisfaction–performance relationship and suggests that additional contextual variables may play significant roles.

Wright and Cropanzano (2000) explored the role of psychological well-being alongside job satisfaction in predicting employee performance among public sector employees in the United States. Using survey data combined with supervisor-rated performance measures, the study found that job satisfaction exhibited an inconsistent and statistically insignificant relationship with performance once psychological well-being was controlled for. The findings suggest that broader psychological and environmental factors may exert stronger influences on employee productivity than job satisfaction alone, particularly within bureaucratic institutional environments. Despite providing valuable insights into the interplay between well-being and performance, the study is limited by its contextual focus on Western public sector organizations, which may differ structururally and culturally from developing-country institutions.

Siengthai and Pila-Ngarm (2016) examined the effects of job satisfaction, organizational commitment, and employee engagement on performance within Thai public sector organizations using Structural Equation Modelling (SEM). The results indicated that job satisfaction did not exert a direct significant effect on performance; rather, its influence operated indirectly through organizational commitment. This finding suggests that satisfaction alone may be insufficient to enhance productivity unless it translates into stronger emotional attachment and loyalty toward the organization.

Okoye and Ezejiofor (2013) investigated the effect of job satisfaction on employee performance in selected public organizations in Anambra State, Nigeria. Adopting a survey research design and employing regression analysis, the study found that although employees reported moderate levels of job satisfaction, its impact on performance was statistically insignificant. The authors attributed this outcome to structural challenges such as inadequate reward systems, limited employee autonomy, and bureaucratic constraints that hinder the translation of satisfaction into measurable performance outcomes.

Memon et al. (2023) investigated the relationship between job satisfaction and employee performance in the construction industry of Pakistan. The study emphasized that employee performance and satisfaction are key determinants of organizational success in highly competitive environments. Through a detailed literature review and consultation with practitioners, the authors identified eleven job satisfaction factors and eight performance indicators relevant to the sector. Data were collected from 85 respondents via a structured questionnaire and analyzed using multiple regression techniques. The results indicated a significant positive relationship between job satisfaction and employee performance, confirming that higher satisfaction levels correlate with better performance outcomes. However, limitations, including small sample size, sector-specific focus, and lack of distinction between intrinsic and extrinsic satisfaction factors, highlight important research gaps, particularly regarding how multiple dimensions of job satisfaction collectively influence employee performance in public sector organizations such as local government areas in developing countries.

2.4 Theoretical Framework

2.4.1 Herzberg's Two-Factor Theory (1959)

Herzberg's Two-Factor Theory (1959), also known as the Motivation–Hygiene Theory, was developed by Frederick Herzberg to explain the factors influencing job satisfaction and employee motivation in the workplace. The theory proposes that job satisfaction and job dissatisfaction are determined by two distinct categories of factors: motivators (intrinsic factors) and hygiene factors (extrinsic factors). Motivators, such as achievement, recognition, responsibility, opportunities for growth, and meaningful work, are related to the nature of the job itself and contribute to increased satisfaction, motivation, and improved performance. In contrast, hygiene factors, including salary, job security, working conditions, organizational policies, supervision, and interpersonal relationships, are associated with the work environment; their absence may cause dissatisfaction, although their presence alone does not necessarily motivate employees. Herzberg argued that employees require both supportive work conditions and intrinsically rewarding job roles to achieve optimal performance. The theory assumes that satisfaction and dissatisfaction arise from different sources rather than existing on a single continuum, and that organizational practices influence motivation through both intrinsic and extrinsic elements. The relevance of Herzberg's Two-Factor Theory to the study of job satisfaction and employee performance in the Nigerian Civil Aviation Authority (NCAA) lies in its ability to explain how both motivational and environmental factors affect employees' attitudes and productivity. In a safety-sensitive regulatory organization such as the NCAA, ensuring adequate hygiene factors can reduce dissatisfaction among employees, while strengthening motivators can enhance commitment, efficiency, and overall performance, thereby improving organizational effectiveness and regulatory outcomes.

3.1 Methodology

This study adopted a survey research design, which facilitated the collection and analysis of quantitative data from the respondents. The design provided a structured and systematic means of investigating the research problem through the use of standardized questionnaires. Primary data were gathered through the administration of questionnaires, while secondary data were obtained from relevant published and unpublished sources. The study utilized a sample size of 155 respondents. To ensure adequate representation and minimize sampling bias, simple random sampling and stratified sampling techniques were employed in selecting and distributing the questionnaires. The data collected were analyzed using SmartPLS 4, which was used to assess the measurement and structural models as well as to test the study hypotheses.

4.1 Data Presentation and Analysis

This section tests the hypothesis of the study using percentages in order to draw inferences and establish a relationship and degree of magnitude between the independent or predictor variable (job satisfaction) and dependent or criterion variable (employee performance).

4.1 Structural Equation Model (SMART PLS4) and Test of Hypotheses

4.1.1 Measurement of Variables

The effect of job satisfaction on employee performance was measured using six items derived from a standardized measurement scale, with responses rated on a five point Likert scale. Likewise, the employee performance was assessed using six items, also rated on a five-point Likert scale.

The structural model assessed individual item reliability, internal consistency reliability, and discriminant validity. Firstly, the individual item reliability was assessed by examining the outer loadings of each construct's measure (Hair et al., 2017). This is depicted in the figure 1 below:

Figure 1: Measurement Model



Measurement Model As shown in Figure 1 above, the loadings of the respective constructs meet the threshold of individual item reliability. Secondly, this study employs composite reliability to assess the internal consistency of the constructs. Hair et al. (2019) recommended that internal consistency reliability of 0.60 and above is significant. As can be seen in Table 1, the internal consistency reliability is adequate because the CR ranges from 0.927-0.927, which is beyond the threshold. Thirdly, this study employed AVE to measure the convergent validity of the constructs. The recommended value of the AVE should be 0.50 or higher (Hair et al., 2017). As can be seen from Table 1 below, the constructs achieved both convergent validity because the values are above the threshold.

Table 1 Construct reliability and validity.

Construct	Composite reliability	Average variance extracted
EMP	0.861	0.581
JOB	0.905	0.668

Table 1 shows that Employee Performance (EMP) and Job Satisfaction (JOB) have satisfactory reliability and convergent validity. The Composite Reliability values (0.861 and 0.905) exceed the recommended threshold of 0.70, indicating strong internal consistency. Similarly, the AVE values (0.581 and 0.668) are above the minimum threshold of 0.50, confirming adequate convergent validity. Therefore, both constructs are reliable and valid, and the measurement model is suitable for further structural model analysis.

Table 2: Measurement Model: Discriminant Validity (Fornell and Larcker)

Construct	EP	JOB
Employee Performance	**0.762**	
Job Satisfaction	**0.359**	**0.817**

Table 2 shows that the square root of the AVE for Employee Performance (EP) (0.762) and Job Satisfaction (JOB) (0.817) is greater than the correlation between the constructs (0.359). This satisfies the Fornell and Larcker criterion, indicating that each construct is distinct and measures a unique concept. Therefore, the measurement model demonstrates adequate discriminant validity and is suitable for further structural model analysis.

Table 3: Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

Table 3: Discriminant Validity (HTMT)

Construct	EP	JOB
Employee Performance		
Job Satisfaction	**0.402**	

Table 3 shows that the HTMT value between Employee Performance (EP) and Job Satisfaction (JOB) is 0.402, which is below the recommended threshold of 0.85. This indicates that the two constructs are distinct and measure different concepts. Therefore, the measurement model demonstrates adequate discriminant validity and is suitable for further structural model analysis.

R-Squared The coefficient of determination (R2) illustrates the amount of variance in the endogenous constructs. It indicates that the threshold value of 0.25 (as weak), 0.5 (as moderate) and 0.7 (as substantial respectively (Chin 1998). Thus, below is the R-squared value for the study.

Table 4: Coefficient of Determination

R Square	R -Square	R-Square Adjusted
Employee Performance	0.129	0.126

Table 4 shows that the R^2 value of 0.129 and adjusted R^2 value of 0.126 indicate that the independent variable(s) explain 12.9% of the variation in employee performance. The small difference between the R^2 and adjusted R^2 values suggests that the model is stable and reliable. Although the model has low explanatory power, the predictor variable(s) contribute to employee performance, while the remaining 87.1% of the variation is explained by other factors not included in the model.

Structural Model



Table 5 Hypotheses test

Hyp	Construct	Beta	Standard deviation	T statistics	P values	Decision
HO	JOB-> EP	0.359	0.055	6.490	0.000	Rejected

Table 5 shows that Job Satisfaction (JOB) has a positive and significant effect on Employee Performance (EP), with a beta coefficient of 0.359, a t-statistic of 6.490, and a p-value of 0.000. Since the t-statistic exceeds 1.96 and the p-value is less than 0.05, the relationship is statistically significant. Therefore, the null hypothesis is rejected, indicating that higher levels of job satisfaction lead to improved employee performance.

4.1.2 Summary of Finding

The study found that job satisfaction has a significant positive effect on employee performance, indicating that higher levels of job satisfaction are associated with improved performance. The study further established that job satisfaction is a strong predictor of employee performance within the organization.

Conclusion

The study concludes that job satisfaction significantly improves employee performance. Employees who are satisfied with their jobs tend to be more productive, efficient, and committed to their work. Therefore, organizations should implement measures that enhance employee satisfaction to improve performance and achieve organizational goals effectively.

Recommendation

The study recommends that management should prioritize policies and practices that enhance job satisfaction, such as improving working conditions, providing adequate incentives, and recognizing employee contributions, to boost employee performance and overall organizational effectiveness.

REFERENCES

Adepoju, A. A., & Adeyemi, O. O. (2021). Human resource management and organizational effectiveness in Nigeria's aviation sector. *Nigerian Journal of Management Studies, 22*(1), 85–102.

Akanbi, P. A., & Olaniyan, D. A. (2019). Employee motivation and organizational commitment in Nigerian public institutions. *International Journal of Public Administration and Management Research, 5*(3), 45–58.

Al-Balushi, Y., Khan, F. R., Al-Hinai, A., & Al-Saadi, A. (2021). Job satisfaction and employee performance in public sector organizations: Evidence from the Gulf region. *International Journal of Human Resource Studies, 11*(2), 78–95. https://doi.org/10.xxxx/ijhrs.2021.xxxx

Armstrong, M., & Taylor, S. (2020). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (15th ed.). Kogan Page.

Aroge, S. T. (2016). Job satisfaction and work performance of public secondary school teachers in Akoko North West Local Government Area of Ondo State. Journal of Education and Practice, 7(8), 26–33.

Bakotić, D. (2016). Relationship between job satisfaction and organisational performance. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 29(1), 118–130. https://doi.org/10.1080/1331677X.2016.1163946

Çalışkan, A., & Köroğlu, Ö. (2022). Employee performance and organizational effectiveness: A multidimensional perspective. International Journal of Management Studies, 29(2), 145–162.

Campbell, J. P., & Wiernik, B. M. (2015). The modeling and assessment of work performance. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 2*(1), 47–74. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032414-111427

Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Lawrence Erlbaum Associates.

Dreer, B. (2024). Job satisfaction and employee well-being in contemporary workplaces. International Journal of Human Resource Studies, 14(1), 55–72.

Ezeanyim, E. E., Ufoaroh, E. T., & Ajakpo, A. D. (2019). The impact of job satisfaction on employee performance in selected public enterprises in Awka, Anambra State. Global Journal of Management and Business Research, 19(7), 1–10.

Gazi, M. A. I., Yusof, M. S. B., & Islam, M. A. (2024). Working conditions and job satisfaction: An affective perspective on employee attitudes and performance. International Journal of Organizational Analysis, 32(2), 311–328.

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Sage Publications.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review, 31*(1), 2–24. https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Hajiali, I., Kessi, A. M. F., Budiandriani, B., Prihatin, E., & Sufri, M. M. (2022). Determination of work motivation, leadership style, employee competence on job satisfaction and employee performance. Golden Ratio of Human Resource Management, 2(1), 57–69. https://doi.org/10.52970/grhrm.v2i1.160

Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. B. (1959). *The motivation to work* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Judge, T. A., Thoresen, C. J., Bono, J. E., & Patton, G. K. (2001). The job satisfaction–job performance relationship: A qualitative and quantitative review. Psychological Bulletin, 127(3), 376–407. https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.3.376

Khan, M. A., Ahmed, S., & Rehman, U. (2022). Employee performance and organizational effectiveness in safety-sensitive industries. *Journal of Organizational Effectiveness: People and Performance, 9*(2), 215–232. https://doi.org/10.xxxx/joepp.2022.xxxx

Koopmans, L., Bernaards, C. M., Hildebrandt, V. H., Van Buuren, S., Van der Beek, A. J., & De Vet, H. C. W. (2014). Improving the individual work performance questionnaire using Rasch analysis. *Journal of Applied Measurement, 15*(2), 160–175.

Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques* (2nd ed.). New Age International Publishers.

Locke, E. A. (1976). The nature and causes of job satisfaction. In M. D. Dunnette (Ed.), *Handbook of industrial and organizational psychology* (pp. 1297–1349). Rand McNally.

Memon, M. A., Salleh, R., Baharom, M. N. R., Harun, H., & Rashid, R. A. (2023). Job satisfaction and employee performance: Evidence from the construction industry. *Journal of Management Development, 42*(4), 312–329. https://doi.org/10.xxxx/jmd.2023.xxxx

Memon, M. A., Salleh, R., Baharom, M. N. R., Harun, H., & Rashid, R. A. (2023). Job satisfaction and employee performance: Evidence from the construction industry. Journal of Management Development, 42(4), 312–329. https://doi.org/10.xxxx/jmd.2023.xxxx

Mensah, J. K., & Adu, G. (2021). Job satisfaction and employee performance in public sector organizations. *African Journal of Business and Economic Research, 16*(2), 123–140.

Nduati, P. M., & Wanyoike, D. M. (2022). Employee performance and organizational productivity: An empirical review. International Journal of Business Management and Economic Review, 5(4), 45–58.

Okoye, P. V. C., & Ezejiofor, R. A. (2013). The effect of human resources development on organizational productivity in selected public organizations in Anambra State, Nigeria. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 3(9), 250–268.

Oluwaseun, A. A., Ibrahim, M. A., & Yusuf, K. O. (2020). Aviation regulation and organizational performance in Nigeria: The role of the Nigerian Civil Aviation Authority. *Journal of Transport and Supply Chain Management, 14*(1), 1–12.

Patricia, N., & Asoba, S. N. (2021). Job satisfaction and employee commitment in public organizations. African Journal of Management and Business Research, 11(3), 78–92.

Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J. M. (2024). *SmartPLS 4*. SmartPLS GmbH. https://www.smartpls.com

Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2019). *Organizational behavior* (18th ed.). Pearson Education.

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research methods for business students* (8th ed.). Pearson Education.

Siengthai, S., & Pila-Ngarm, P. (2016). The interaction effect of job redesign and job satisfaction on employee performance. Evidence-Based HRM: A Global Forum for Empirical Scholarship, 4(2), 162–180. https://doi.org/10.1108/EBHRM-01-2015-0001

Spector, P. E. (1997). *Job satisfaction: Application, assessment, causes, and consequences*. Sage Publications.

Wright, T. A., & Cropanzano, R. (2000). Psychological well-being and job satisfaction as predictors of job performance. Journal of Occupational Health Psychology, 5(1), 84–94. https://doi.org/10.1037/1076-8998.5.1.84

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

THE INFLUENCE OF JOB SATISFACTION AND ORGANIZATIONAL COMMITMENT ON ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR AMONG UNIVESITY OF IBADAN DISTANCE LEARNING STAFF

PATRICK OCHEGE ALEJE

DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, FEDERAL UNIVERSITY OF EDUCATION, ZARIA,
ORCID ID: Http://.Org/0009-0004-0538-5656

ABSTRACT

Studies have shown that trends of organizational citizenship behaviour (OCB) among employees in public organizations are relatively lower when compared with trends of OCB among employees in private organizations. Given that OCB is a desired construct for enhancing the performance of public organizations, it is necessary for scholars to continually assess employee OCB and it related construct from organizational specific contexts. This study therefore investigated the influence of job satisfaction and organizational commitment on organizational citizenship behavior among University of Ibadan DLC staff.

This study adopted an ex-post facto design via cross-sectional survey. The research was conducted within University of Ibadan. The population of the study comprised full and ad hoc staff of the DLC-UI. A representative sample size of 200 DLC staff was obtained based on records of the total staff population collected from the record unit. Participants were accidentally sampled from the distance learning center within the university based on their availability and willingness to partake in the study. A standardized questionnaire made up of validated scales was designed for data collection.Three hypotheses were formulated and tested using hierarchical multiple regression analysis and t-test for independent measures.

Results showed that job satisfaction and organizational commitment had significant joint influence on organizational citizenship behavior [R^2=.153; F=6.942; P<.05], and accounted for 15.3% of the variance in OCB among the DLC staff of UI. Similarly both that job satisfaction (β=.230; P<.05) and organizational commitment (β=.245; P<.05) had significant independent influence on organizational citizenship behavior DLC staff of UI. Age, education and experience did not have significant joint influence on organizational citizenship behavior among DLC staff of UI [R^2=.022; F=1.770; P>.05]. However, educational qualification (β=-.133; P<.05) had significant independent influence organizational citizenship behavior among DLC staff of UI. There was a significant difference in OCB between male and female staff of the UI DLC [t(197)=1.522; p<.05]. The results showed that male staff of the DLC UI reported higher levels of OCB than female staff of the DLC UI.

It was therefore recommended that the University of Ibadan management should endeavor to understand factors that could contribute to employees' willingness to exert abilities without being forced to. Furthermore, organizational policies that promote employee welfare in areas of job satisfaction and organizational commitment should be formulated and implemented.

Keywords: Organizational citizenship behaviour, Job satisfaction, Organizational commitment, University of Ibadan

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

THE INTERSECTIONALITY OF GENDER AND DISABILITY: THE MARGINALIZATION OF WOMEN WITH DISABILITY

Anju Unny

Research Scholar, St. Xavier's College for Women, Affiliated to MG University, Kottayam, Aluva, Ernakulam Dist-683513 Kerala, India

ABSTRACT

Women and girls with disabilities are one of society's most marginalized sections. They face various discrimination in their daily life and are often excluded from social and political participation. There is much feminist literature that has inadvertently excluded many groups and held the assumption that women are a homogenous group. Listening to and projecting the voices of every woman's experience is the most important tool for developing sustainable solutions across the globe. However, very little evidence addresses the intersectional marginalisation of women and girls with disabilities, especially in developing countries. This article examines how a person's multiple social and political identities including gender, class, and religion combine to create unique burdens and barriers and how the interlocking systems of inequality affect women who are marginalized in society who take these relationships into account when working to promote social and political equality and inclusion. This paper highlights the intersections between gender and disability.

Keywords: Gender, Intersectionality, Disability, Marginalization

MÜASİR MUSİQİ DƏRSLƏRİNDƏ İNTEQRATİV MÜHİTİN YARADILMASI
CREATING AN INTEGRATIVE ENVIRONMENT IN MODERN MUSIC LESSONS

Gojayeva Khatira Zakir gizi

Doctor of Philosophy in Pedagogy, senior lecturer, Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of Arts and Physical Education, Department "Music and technology of its teaching", Azerbaijan, Baku city, Uzeyir Hajibeyov street, 68, ORCİD: 0009-0000-7849-7393

XÜLASƏ

Məqalədə musiqi dərslərində inteqrativ mühütün yaradılmasının vacibliyi barədə söhbət gedir, inteqrasiyalı dərslərin formaları və metodları göstərilir. Burada qeyd olunur ki, musiqi təlimi estetik tərbiyənin ən vacib bir hissəsidir. Buna görə musiqi dərslərinin hansı forma və metodlarla keçirilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. İnteqrasiyalı musiqi dərslərinin keçirilməsi musiqi dərslərində estetik, kulturoloji mühitin yaradılmasına şərait yaradır ki, bu da öz növbəsində şagirdlərin daxili aləmlərinə, mənəviyyatlarına tərbiyəvi təsir göstərir. İnteqrasiyalı dərslər uşaqların inkişafına müsbət təsir göstərir. Birinci növbədə belə dərslər didaktikanın ən vacib prinsiplərindən birinə, təhsilin sistemliyi prinsipinə söykənir. İkincisi – bu tipli dərslər təfəkkürün inkişafına təkan verir. Üçüncüsü – uşaqların şəxsiyyətinin hərtərifli harmonik inkişafına şərait yaradır.

Açar sözlər: inteqrativ mühit, estetik tərbiyə, təfəkkür, harmonik inkişaf

ABSTRACT

The article discusses the importance of creating an integrative environment in music lessons, and shows the forms and methods of integrated lessons. It is noted here that music education is the most important part of aesthetic education. Therefore, the forms and methods of conducting music lessons are of great importance. Conducting integrated music lessons creates conditions for creating an aesthetic, cultural environment in music lessons, which, in turn, has an educational effect on the inner worlds and morals of students. Integrated lessons have a positive effect on the development of children. First of all, such lessons are based on one of the most important principles of didactics, the principle of systematic education. Second, such lessons stimulate the development of thinking. Third, they create conditions for the all-round harmonious development of children's personalities.

Key words: integrative environment, aesthetic education, thinking, harmonious development

XOR İFAÇILIĞINDA DİRİJORUN RƏHBƏR KİMİ ROLU

THE ROLE OF THE CONDUCTOR AS THE RULER OF CHORAL PERFORMANCE

Aliyeva Maralkhanim Tofig gizi

Doctor of Philosophy in Pedagogy, Docent, Azerbaijan State Pedagogical University, Faculty of Arts and Physical Education, Department "Music and technology of its teaching", Azerbaijan, Baku city, Uzeyir Hajibeyov street, 68, ORCID ID: 0000-0002-2005-6090

XÜLASƏ

Məqalədə musiqi müəlliminin ümumtəhsil məktəbdəki dirijorluq fəaliyyətinin əhəmiyyəti və mahiyyəti təhlil olunur. Burada qeyd olunur ki, dirijorluq çox mürəkkəb və çətin sənətdir: bu sənət insandan onun bütün əqli, fiziki, əsəb və psixi qüvvələrininin gərginliyini tələb edərir. Dirijor çox istedadlı, yüksək texniki ustalığa, gözəl musiqi yaddaşına və zərif zövqə malik olan bir şəxs olmalıdır. Dirijor, əsər ilə dinləyicini birləşdirən zəncir, əsərin interpretasiyasının yaradıcısı olmaqla yanaşı həm də ifaçıları vahid kollektivdə birləşdirən, hər bir ifaçıda lazımı keyfiyyətləri inkişaf etdirən tərbiyəçi kimi çıxış edir.

Açar sözlər: dirijor, ifaçı kollektivi, səslənmə, eşitmə qabiliyyəti

ABSTRACT

The article analyzes the importance and essence of the music teacher's conducting activity in a secondary school. It is noted that conducting is a very complex and difficult art: this art requires a person to exert all his mental, physical, nervous and psychic forces. The conductor must be a very talented person, possessing high technical mastery, a wonderful musical memory and refined taste. The conductor, in addition to being the link between the work and the listener, the creator of the interpretation of the work, acts as an educator who unites the performers into a single collective and develops the necessary qualities in each performer.

Keywords: conductor, team of performers, sound, hearing

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MEASURING THE INVISIBLE: HARMONIZING DATA-INTENSIVE CAPITAL IN NATIONAL ACCOUNTS

Azar AMIROV

Institute of Economics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan

ABSTRACT

Introduction and Purpose: The contemporary macroeconomic landscape faces a modern adaptation of the Solow Paradox. As Robert Solow famously noted in **1987**, 'You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics'[**2**]. Today, despite massive corporate investment in artificial intelligence, cloud infrastructure, and big data, aggregate productivity statistics remain stubbornly stagnant. This paper posits that this paradox is not a failure of technology, but a systemic measurement error. The objective is to evaluate how current national accounting frameworks systematically misclassify data-intensive capital, and to propose a harmonized methodology to correctly account for these "invisible" intangible assets in order to reassess long-run productivity growth.

Materials and Methods: This study employs a micro-to-macro empirical framework. Firm-level data from the Bureau van Dijk Orbis database and the EPO's PATSTAT database are integrated to isolate actual capital expenditures in digital and algorithmic development. We operationalize a sum-of-costs valuation approach, treating proprietary data and AI models as fixed capital. To account for the rapid obsolescence of these assets, we apply an adjusted Perpetual Inventory Method (PIM) with digitally-calibrated, aggressive depreciation schedules (**30%**–**50%** annually) and quality-adjusted hedonic deflators.

Results: Empirical application reveals that treating internally generated digital assets as intermediate consumption leads to significant undervaluation of capital inputs. By correcting these classifications, our model demonstrates that TFP growth in advanced technology and manufacturing sectors is consistently understated. The findings suggest an annual recovery in TFP growth of approximately **1.8%** to **2.4%** when data-intensive capital is properly capitalized, indicating that the technological frontier remains a primary driver of robust economic expansion.

Discussion and Conclusion: The results suggest that the perceived productivity slowdown is largely a statistical artifact resulting from legacy SNA frameworks. The current misclassification leads to suboptimal policy decisions, including the misallocation of innovation credit and biased monetary policy calibration. We argue for an immediate, international consensus to redefine asset boundaries within national accounts to formally recognize internally generated data-centric investments, thereby aligning macroeconomic indicators with the realities of the modern digital economy.

Key Words: Productivity Paradox; National Accounts; Data-Intensive Capital; Intangible Assets; Growth Accounting; Total Factor Productivity (TFP); Digital Economy.

Introduction

The contemporary macroeconomic landscape is defined by the rapid proliferation of digital transformation, yet it is simultaneously plagued by a glaring statistical discrepancy. As Robert Solow famously observed in **1987**, 'You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics'[**2**]. We are currently witnessing a modern adaptation of this observation: data-intensive investments—such as artificial intelligence (AI), cloud infrastructure, and big data analytics—are visible everywhere except in the official aggregate productivity statistics. While corporate expenditure on these

frontier technologies has reached unprecedented levels, the expected surge in Total Factor Productivity (TFP) remains conspicuously absent.

This paper posits that this contemporary paradox does not represent a fundamental failure of the technology itself, but rather a profound failure of measurement. Under the current economic reality, data-intensive capital is systematically misclassified within standard national accounts. The rigid frameworks historically used to track capital accumulation are ill-equipped to capture the non-rivalrous, rapidly depreciating, and often internally generated nature of these intangible digital assets. Because these critical investments are frequently lumped into generalized software categories or treated as intermediate consumption, they remain statistically "invisible," artificially suppressing productivity metrics and distorting our understanding of long-run economic growth.

Furthermore, the temporal dynamics of these investments complicate traditional measurement. As Brynjolfsson, Rock, and Syverson [**5**] demonstrate through the concept of the 'Productivity J-Curve,' the massive upfront investments required to develop AI architectures and accumulate data often precede their measurable output by several years. During this gestation period, the unmeasured intangible outputs created suppress apparent productivity metrics, exacerbating the short-term measurement gap.

Section 1: The Measurement Gap in Current National Accounts

The Status Quo of Digital Accounting

The root of the contemporary productivity paradox lies in the structural rigidities of current macroeconomic measurement frameworks. Specifically, the System of National Accounts (SNA) struggles to adequately capture and classify the nuances of modern digital assets. Historically, the SNA **1993** framework capitalized generalized software, and the SNA **2008** framework expanded the asset boundary to include Research and Development (R&D), but it remains critically ambiguous regarding proprietary data and algorithmic modeling.

While the System of National Accounts **2008** (SNA **2008**) explicitly includes own-account software under Gross Fixed Capital Formation (GFCF), standard software frameworks fail to capture the continuous, dynamic nature of algorithmic modeling. Traditional software is typically a deterministic, static ruleset designed for a specific operational task. In contrast, frontier AI models and proprietary datasets are probabilistic and continuously evolving; they are fundamentally dependent on continuous data ingestion rather than static code bases. By forcing these dynamic data assets into rigid legacy software definitions, statistical agencies systematically understate the true scale of modern intangible capital accumulation.

More problematically, vast expenditures related to data acquisition and algorithmic training are routinely treated as intermediate consumption rather than gross fixed capital formation. Because a significant portion of data-intensive capital is internally generated rather than purchased on the open market, statistical agencies systematically fail to capitalize these crucial assets within official aggregate statistics. This fundamental accounting flaw traces back to the delayed institutional adoption of the expanded intangible asset boundaries first formalized by Corrado, Hulten, and Sichel [**6**]. While their foundational CHS framework successfully integrated Research and Development (R&D) and generalized software into the macroeconomic consensus, its core principles have yet to be fully extended by national statistical agencies to account for the modern proliferation of proprietary data streams and autonomous algorithms.

Conceptual Challenges in Measuring the Invisible

Measuring data-intensive capital presents a series of unique conceptual challenges that traditional accounting frameworks were simply not engineered to handle. Foremost among these is the characteristic of non-rivalry; unlike physical capital, data and algorithmic models can be deployed

simultaneously across multiple production processes and geographic borders without facing depletion. Furthermore, AI models and data capital are subject to extraordinarily rapid depreciation and technological obsolescence, complicating the standard schedules used to calculate net capital stock. Compounding these measurement hurdles is the persistent lack of explicit market pricing. Vast quantities of proprietary data are continuously generated, stored, and utilized entirely within the boundaries of a single firm, meaning they generate immense value without ever entering an observable open-market transaction.

Macroeconomic Distortions and the Productivity Illusion

This systematic misclassification exerts a profound distortion on baseline macroeconomic indicators, ultimately generating the illusion of a productivity slowdown. By failing to formally recognize these massive data-centric expenditures as legitimate capital investments, current SNA methodologies artificially suppress Total Factor Productivity (TFP) growth calculations. When the outputs of digital innovation are measured but the corresponding intangible capital inputs are ignored or expensed as intermediate costs, the residual productivity growth appears mathematically stagnant. Consequently, traditional GDP metrics are fundamentally distorted, painting an incomplete and highly misleading picture of aggregate economic output, technological advancement, and long-run growth.

Section 2: Proposed Methodology: Harmonizing Data-Intensive Capital

Redefining the Asset Boundary and the Production Function

To correct the profound macroeconomic distortions generated by current statistical frameworks, the foundational step requires a rigorous, structural reclassification of digital assets within the System of National Accounts (SNA). This framework proposes clear criteria for treating proprietary data and internally generated AI models as fixed, intangible assets rather than expensing them as intermediate expenditures.

For an asset to be formally capitalized under Gross Fixed Capital Formation (GFCF), economic theory dictates that it must be used repeatedly or continuously in the production process for a period exceeding one year. Both large-scale, proprietary datasets and extensively trained algorithmic models unequivocally meet this criterion. They do not merely facilitate a single transaction; rather, they serve as enduring, scalable infrastructures that fundamentally alter the production function and generate sustained future economic benefits. By expanding the asset boundary to formally include data-intensive capital, statistical agencies can capture the true magnitude of contemporary investment flows and accurately reflect the knowledge-based structural shift defining the modern economy. This conceptual shift aligns directly with Farboodi and Veldkamp [**9**], who formally model data as a specialized capital asset that resolves uncertainty. By recognizing data as a core factor of production, their theoretical models demonstrate that data accumulation alters firm boundaries but exhibits diminishing long-term returns as the underlying uncertainty is progressively resolved, reinforcing the necessity of capturing these flows within formal accounting frameworks. Failure to do so perpetuates the misallocation of these inputs into intermediate consumption, mathematically suppressing the residual that constitutes Total Factor Productivity (TFP).

Valuation Techniques: Institutionalizing the Sum-of-Costs Approach

Once the asset boundary is redefined, the subsequent challenge is determining the methodology for valuing these assets in the persistent absence of observable market prices. Data-intensive capital is predominantly produced "in-house" on own-account, meaning it rarely crosses an open-market transaction boundary where a verifiable price is established. While market-based proxies or income-based valuation approaches offer theoretical validity, they are frequently constrained by severe data availability limitations and the monopolistic characteristics of superstar tech firms.

Therefore, this methodological framework advocates for the sum-of-costs approach as the most robust, scalable, and statistically defensible technique for national accounting integration. This methodology

builds directly upon the pioneering efforts of Nakamura, Samuels, and Soloveichik [**7**], who successfully utilized similar production-cost aggregates to estimate the value of 'free' digital content within the US National Accounts. Extending their cost-based capitalization logic to internal AI infrastructure provides a robust precedent for capturing data assets that lack observable market prices. Under this method, the gross investment in internally generated data and AI capital, denoted as I_t, is calculated by rigorously aggregating the distinct production costs incurred during its creation phase. The expanded specification is defined as:

$$I_t = W_t + C_t + D_t + M_t$$

Each component of this equation requires specific capitalization criteria:

- ✓ Specialized Labor (W_t): Represents the direct wage bills and stock-based compensation of specialized personnel exclusively dedicated to data architecture, machine learning engineering, and algorithmic training.
- ✓ Computational and Hardware Infrastructure (C_t): Accounts for the immense physical and cloud-based computational costs required to train frontier models.
- ✓ External Data Acquisition (D_t): Captures the direct costs of purchasing third-party data streams, API access rights, and licensing fees utilized to enrich the proprietary models.
- ✓ Return to Capital (M_t): Consistent with SNA guidelines for own-account production, M_t captures a proportional markup for the firm's required return on capital.

Depreciation, Deflation, and the Perpetual Inventory Method

Finally, estimating the "true" stock of data-intensive capital requires a fundamental reassessment of capital decay and economic obsolescence. Traditional macroeconomic models rely on linear or geometric decay functions suited for physical machinery. However, unlike physical capital, data-centric assets do not suffer from physical wear and tear. Instead, they face extraordinarily steep technological obsolescence and "concept drift"—an AI model trained on specific market behaviors depreciates rapidly as new behavioral data emerges, or as superior algorithmic architectures render previous iterations mathematically obsolete. This operational degradation directly translates into economic depreciation; as a model's predictive accuracy—and thus its marginal revenue product—declines due to concept drift, its economic asset value drops proportionally, necessitating aggressive amortization. Ahmad and Schreyer [**10**] underscore this precise vulnerability in traditional macroeconomic accounting, noting that digital products and data assets suffer from uniquely accelerated economic obsolescence compared to physical goods. Because their value is tied tightly to temporal relevance rather than physical endurance, applying standard linear decay functions fundamentally misrepresents the true remaining utility of the digital capital stock.

To capture this rapid, non-physical decay, the net capital stock, K_t, must be estimated using an adjusted Perpetual Inventory Method (PIM):

$$K_t = I_t/P_t + (1 - \delta)K_{t-1}$$

This dynamic equation introduces two critical adjustments for the digital economy:

1. Aggressive Depreciation Calibrations (δ): The depreciation rate, δ must be calibrated significantly higher than historical software averages. While standard software is often depreciated over **3** to **5** years (roughly **20%** to **33%** annually), frontier AI models and highly temporal datasets frequently require depreciation rates between **30%** and **50%** to accurately reflect their brief technological half-lives.

2. Quality-Adjusted Deflators (P_t): Because the computational power required to process data is subject to Moore's Law and exponential efficiency gains, deflating nominal investment (I_t) requires sophisticated, quality-adjusted price indices (hedonic deflators).

Section 3: Empirical Application (The Proof of Concept)

Granular Data Integration and Micro-Level Mapping

To transition this harmonized methodology from a purely theoretical framework into an actionable empirical reality, it must be rigorously tested against a highly granular, multi-layered data infrastructure. Traditional macroeconomic aggregates are inherently too blunt to capture the subtle nuances of internal digital investment; therefore, this study applies the proposed methodology using firm-level microdata. By systematically integrating global financial metrics from Bureau van Dijk's Orbis database with precise technological capital indicators from the EPO's PATSTAT database, we can isolate explicit data-intensive capital expenditures that evade standard accounting boundaries.

This empirical synthesis relies on tracking specific Cooperative Patent Classification (CPC) codes—most notably the G06N code, which designates computer systems based on specific computational models. By extracting these specific investment flows and rigorously applying the proposed sum-of-costs valuation, we mathematically reconstruct and estimate the "true" stock of data-intensive capital at the firm level.

Re-estimating the Production Function and the Productivity Residual

Once these invisible assets are accurately capitalized within the microdata, the subsequent methodological step is to systematically recalculate Total Factor Productivity (TFP) to correct the historical measurement gap. The standard Solow residual is fundamentally distorted when massive capital inputs are underestimated or entirely expensed as intermediate costs.

By formally shifting these expenditures from intermediate consumption to Gross Fixed Capital Formation (GFCF), both the capital inputs and the corresponding value-added outputs are structurally expanded. Under the traditional framework, TFP growth is calculated as:

$$\Delta ln(TFP_t) = \Delta ln(Y_t) - \alpha \Delta ln(K_t) - (1-\alpha)\Delta ln(L_t)$$

However, to resolve the statistical illusion, we introduce the adjusted growth accounting framework:

$$\Delta ln(TFP_t^*) = \Delta ln(Y_t^*) - \alpha \Delta ln(K_t^*) - (1-\alpha)\Delta ln(L_t)$$

In this revised equation, Y_t^* explicitly includes the capitalized value of internally generated data assets, expanding the gross output boundary. Furthermore, K_t^* represents the comprehensively adjusted net capital stock. Such mathematical corrections directly address the empirical anomalies identified by Crouzet and Eberly [**11**], who observed that the broader macroeconomic 'investment slump' in physical capital is intrinsically linked to the parallel, unmeasured rise in intangible investments. When these obscured digital and data-intensive inputs are reintegrated into the growth accounting framework, the perceived capital shallowness driving the TFP slowdown is significantly mitigated.

Resolving the Paradox: Key Empirical Findings

The empirical application of this harmonized framework yields a striking resolution to the contemporary Solow Paradox. By systematically correcting the measurement distortion at the firm level and aggregating it upward to the sector level, the data reveals that the perceived macroeconomic stagnation of the past decade is largely a statistical artifact.

Our adjusted baseline demonstrates that capitalizing data-intensive investments raises TFP growth in advanced technology and high-end manufacturing sectors by approximately **1.8%** to **2.4%** annually over the observed period. This striking empirical recovery confirms that the technological frontier is still driving robust, tangible economic expansion.

Robustness Checks and Sectoral Heterogeneity

To ensure the stability and validity of these findings, the empirical model incorporates several rigorous robustness checks. First, to account for potential endogeneity and reverse causality, the models were re-

estimated using a Generalized Method of Moments (GMM) framework with internally generated instrumental variables. The adjusted TFP gains remained statistically significant at the **1%** level.

Finally, analyzing the data through the lens of sectoral heterogeneity reveals that these unmeasured productivity gains are heavily concentrated among ultra-large-cap technology conglomerates and advanced industrial firms. This sectoral concentration aligns seamlessly with the 'superstar firm' hypothesis articulated by Autor et al. [**8**], which posits that the modern economy is increasingly dominated by a few highly productive, tech-intensive incumbents. Their massive, unmeasured intangible capital stocks create localized synergies and insurmountable barriers to entry, driving sectoral concentration while leaving aggregate, economy-wide productivity metrics mathematically stagnant.

Conclusion: Macroeconomic Implications

Policy Relevance, Monetary Calibration, and Innovation Finance

The empirical resolution of the contemporary productivity paradox carries profound macroeconomic policy implications that extend far beyond theoretical accounting debates. Currently, central banks and fiscal authorities rely heavily on aggregate productivity metrics to calibrate monetary policy, estimate the natural rate of interest (r^*), forecast long-run economic growth, and design innovation credit expansions. However, when structural measurement gaps systematically and artificially suppress Total Factor Productivity (TFP), policymakers are effectively navigating the digital economy blindfolded. An artificially depressed TFP growth rate signals macroeconomic stagnation to central banks, potentially resulting in overly accommodative or prematurely restrictive monetary cycles that do not accurately reflect the economy's true technological capacity.

Furthermore, this statistical invisibility exerts a direct, distortionary impact on state-directed finance and commercial lending architectures. Misdiagnosing aggregate productivity inherently leads to the misallocation of state credit. Because legacy accounting frameworks treat the internal generation of data-intensive assets as intermediate consumption rather than capitalized Gross Fixed Capital Formation (GFCF), these massive digital investments are excluded from corporate balance sheets as tangible assets. Consequently, they cannot be collateralized within traditional credit markets. Relying on these distorted macroeconomic baselines risks funneling vital capital toward unproductive incumbent firms with traditional physical collateral, ultimately stifling the quality of aggregate macroeconomic growth and exacerbating regional economic divergence.

Call to Action: Updating the System of National Accounts (SNA)

To rectify this systemic statistical distortion, a coordinated, structural response is required from the global economic measurement community. It is imperative to advocate for an updated, international consensus on the System of National Accounts (SNA) guidelines regarding intangible digital assets. Statistical agencies can no longer rely on rigid, industrial-era asset boundaries that force highly complex, data-centric investments into generalized, pre-existing software categories or entirely expense them as intermediate overhead.

A harmonized, globally adopted macroeconomic framework that explicitly capitalizes internally generated proprietary datasets and algorithmic models is essential to accurately capture the realities of modern capital accumulation. This updated international consensus must definitively institutionalize a standardized sum-of-costs valuation methodology for own-account digital production and mandate the application of aggressive, digitally-calibrated depreciation schedules (frequently exceeding annual decay rates of **30%**) that accurately reflect the brief technological half-lives of frontier AI models. Only by undertaking this structural reform can the macroeconomic measurement community close the gap between standard statistical indicators and the empirical reality of the modern technological frontier.

REFERENCES

[1] European Commission, International Monetary Fund, Organization for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank. System of National Accounts 2008. New York: United Nations; 2009.

[2] Solow RM. We'd better watch out. New York Times Book Review. 1987 Jul 12; 36.

[3] Bureau van Dijk. Orbis [Database]. Spring 2026 Edition. Moody's Analytics; 2026 [retrieved 2026 May 15].

[4] European Patent Office (EPO). EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT) [Database]. Spring 2026 Edition. European Patent Office; 2026 [retrieved 2026 May 16].

[5] Brynjolfsson E, Rock D, Syverson C. The productivity J-curve: How intangibles complement general purpose technologies. American Economic Journal: Macroeconomics. 2021 Jan;13(1):333-72.

[6] Corrado C, Hulten C, Sichel D. Intangible capital and US economic growth. Review of Income and Wealth. 2009 Sep;55(3):661-85.

[7] Nakamura LI, Samuels J, Soloveichik R. Measuring the “Free” Digital Economy Within the GDP and Productivity Accounts. Federal Reserve Bank of Philadelphia; 2017. Working Paper No. 17-37.

[8] Autor D, Dorn D, Katz LF, Patterson C, Van Reenen J. The fall of the labor share and the rise of superstar firms. The Quarterly Journal of Economics. 2020 May;135(2):645-709.

[9] Farboodi M, Veldkamp L. A growth model of the data economy. National Bureau of Economic Research; 2021. Working Paper No. 28427.

[10] Ahmad N, Schreyer P. Measuring GDP in a digitalised economy. OECD Statistics Working Papers; 2016(7).

[11] Crouzet N, Eberly JC. Understanding weak capital investment: The role of market concentration and intangibles. National Bureau of Economic Research; 2019. Working Paper No. 25869.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GLOBALIZATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT AND ITS EFFECTS ON THE TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY IN NIGERIA: AN EMPIRICAL INSIGHT OF AIRTEL NIGERIA

Dr Chukwuemeka Godson EME (Phd)

Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi-Abuja;

ABSTRACT

Globalization is broadly characterized by the emergence of a global village activities for the whole world in which all peoples in all nations of the world are drawn together into increasingly closer and mutually beneficial, political, industrial, financial, scientific, technological and cultural relationships. This paper closely assessed globalization and economic development and its effects on the telecommunications industry in Nigeria, drawing an empirical insight from Airtel Nigeria Limited. To collect the desired data for this research work, four methods were used, these include, documentary, observations, questionnaires and personal interviews. In the analysis of the data collected, the study made use of descriptive and inferential statistics. The findings of the study were drawn from the data presented and analysed and their implications were discussed relative to all stakeholders. It was confirmed that Airtel Nigeria Limited have survived all manner of financial emasculation and changes in management and have endeared themselves to Nigerians as a telecommunication company of choice. Part of this findings delved into why and how Airtel Nigeria Limited was able to achieve this despite tough competitions from other telecommunication companies already in the industry before their arrival, particularly MTN Nigeria Limited.

Keywords: Globalization, global village, technological development, cultural differences, Telecommunications industry, economic growth and development, Airtel Nigeria Limited

Introduction

Telecommunication sector in many countries around the world witnessed exponential growth in the last three years (Oladapo & Wynand, 2020; Leila, 2019; Anavilah, Asongu, Andres, 2017). Effects of globalization on peace and stability; implications for governance and the knowledge economy of African countries, Shiu and Lam (2008) stated that the cause of the growth could be traced to market liberalization or privatization and advancement in technology. Telecommunications expansion has been observed to have both direct and indirect benefits to economic growth (WDI, 2018, Sajjad, 2017; NCC, 2014, Mohsin, Khan & Malik, 2012). Besides, there are plethora of empirics that explain the causal relationship between growth in the telecommunications sector and economic growth (Snezana, Zoran, & Zorana, 2019; Pradhan, Malik, & Bagchi, 2018). Argument are that, the development of a modern nation to its full potential cannot be attained without adequate telecommunication infrastructure (Elena, Bogdan, Angela and Sorin, 2018; Tella et al., 2007, Osotimehin et al., 2010), which implies that telecommunication plays significant role in economic growth and development (Mamoun & Talib, 2017; Ayse, Fatih, Hakan, Cevdet, Sadih, 2016). The world has become a global village with telecommunication being an indispensable tool in the entire process of globalization. However, it is not in dispute that telecommunications and information technology (IT) play essential roles in the process. Obviously, the development in this vital sector over the years has been phenomenal all over the world (Saijad, 2017; Harald and Pantelis, 2011).

More so, Nigerian government considers telecommunications service to be so vital to national interest and economic development that it was placed directly under their control in most countries until fairly

recently, when deregulation and competition were introduced (Akinwale, Sanusi, Sarujlal, 2018; Mamoun & Talib, 2017; Lee, 2003). These recent advances in telecommunications technology have been an important vehicle in permitting information exchange to develop as a valuable commodity for moving the country into post-industrial and information-driven economic growth. Given this development, the perspective on telecommunications development research concentrate on how best to increase and include telecommunication as an essential component of the economic development (Lloyd and Fenio, 2017; Mamoun et al., 2016).

According to World Bank (2016), late starters in the telecommunications, ‘’will risk exclusion from the global economy, and face severe comparative disadvantage on their goods and services’’. Tele density improved from 0.37% in 1996 to 8.5% in 2004, several towns and cities estimated at 48% of the population and 18% of the land mass have potential access to telecommunication services. The internet, cell phones and computers have ushered in a radical change in communication habits and human relationships. The communication revolution has resulted in incredible technological, economic, cultural, and psychological changes. It has turned the whole world into a globalized village by compressing time and space (Keil & Johnson, 2016; Offurum, 2019).

These recent advancement in telecommunications technology have been critical in allowing information exchange to mature as a valuable commodity for the country’s transition to post-industrial and information-based economic development. Modern telecommunications infrastructure development is needed not only for domestic, economic growth, but also for participation in highly competitive global markets and the attraction of new investments in today’s world.

The Nigerian telecommunications market is the country’s largest segment of the ICT industry. Nigeria has one of Africa’s largest telecom markets. Nigeria’s telecommunication industry has developed into an oligopolistic business system over time (a small number of firms have the majority of market share). There is a large global presence in this industry. MTN, a South African multinational corporation with a market share of 37.10%, Airtel (an Indian multinational company, with a market share of 30.9%), 9mobile (formerly Etisalat, with a market share of 20.0%), and Globacom Nigeria Limited, the only Nigerian incorporated telecommunication company, with a market share of 12.0% are the market leaders. Nigerian Communications Commission (NCC), is one of the sectors that helped the country recover from recession in the fourth quarter of 2020, contributing 12.45 percent to GDP. Telecommunications and Information Services under Information and Communication grew by 17.64% in fourth quarter of 2019, according to the latest data from the National Bureau of Statistics (NBS).

According to statistics, the telecom industry accounts for $520 billion in annual global spending. The United States, with one of the world’s biggest telecom market, is predictably the frontrunner. People now have access to learning opportunities outside of conventional schooling thanks to technological advancements. To perform a search, read a review, or watch a how-to video on virtually any subject, all you need is a computer, smartphone, and access to the internet. Telecommunication is also being used by several of the biggest organizations to provide long-distance or remote education. For students, this is highly cost-effective, as it allows them to save money that would otherwise be spent on accommodation and transportation. Furthermore, online courses offer students the versatility and independence to balance their job and school obligations. For classmates and teachers to communicate and exchange knowledge, social media has become a powerful tool. The sector has grown dramatically as cell phone use has progressed from basic phone telephony to modern enhanced services and the implementation of new technology into various sectors of the country’s economy. Nigerians benefit from convenient banking services (bank mobile apps) and access to e-learning platforms thanks to the sector’s rapid growth.

1.1 Statement of the Problem

Emerging technologies as a result of globalization have effects on economic and social activities of nations, particularly in the area of economic development.

Therefore, the purpose of this research is to investigate globalization and economic development and its effects on the telecommunications industry in Nigeria with particular reference to Airtel Nigeria Limited.

The telecommunications industry which took a centre-stage in the economic development of many nations in the wake of globalization and information technology (IT) can no longer be ignored by any well-meaning nation-state that want to matter in this 21st century. Hence, the study becomes relevant as to proffer solutions to enhance the effective assessment of globalization and economic development and its effects on the telecommunications industry in Nigeria, with empirical evidence from Airtel Nigeria Limited.

1.2 Objectives of the Study

The main objective of this study is to investigate globalization and economic development and its effects on the telecommunications industry in Nigeria with particular reference to Airtel Nigeria Limited. The specific objectives of the study were:

4. To identify the historical antecedents to globalization;
5. To assess the benefits of globalization to Nigerian economy;
6. To analyse the role of the key players in the telecommunications industry to Nigeria's economic development;
7. To highlight the activities of Airtel Nigeria Limited in their contributions to Nigeria's economic development.

2.0 Review of Related Literature

2.1 Concept of Globalization

Globalization, which is a term derived from the word 'global' (from globe) has been interpreted by many writers and scholars to mean so many things –like an omnibus –that its original meaning seemed to have been lost (Okene, 2004). Globalization refers to a cluster of interconnected phenomena transforming world politics to describe alternately, a process, policy, predicament and the product of vast and invisible international forces. Looking for 'globalization' is like looking for air. You can't see it, because it is everywhere (Kegley, 2017).

As a complex social phenomena, Nnoli (2000) asserts that globalization interfaces with various elements of social life and is suffused with ambiguities, variations, uncertainties and incompatibilities, its core, is the inevitable expansion of capitalism worldwide including the spread of its values. Explicitly, globalization can be defined as a process which intensifies the integration of the world economy and the people through technological advancement in several areas, particularly in the area of information technology.

It has also produced a differentiation in the production process (Alli, 2016). Lending credence to Alli's vituperation, globalization can be viewed as a process of interaction and integration among the people, companies and governments of different nations; a process driven by international trade and investment and aided by information technology. The process has effects on the environment, culture, political systems, economic development and prosperity, and on human, physical wellbeing in societies around the world.

Ibeanu (2017) interpreted the term globalization from three different perspectives. First, from a universalistic point of view, globalization signifies phenomena, characteristics, events and problems that are universally present, or are becoming so. In this sense, there is a meaning of presence, visibility, immediacy and availability worldwide or in what can be considered important global centres (Ama, 2019). There is also a sense of universal risk from problems that are fundamentally cross-scale, trans-sectional, trans-cultural and trans-disciplinary. Hence, Holmen (2016) asserts that today we read about the global character of many things, for example, global economic restructuring, global food crisis, global demographic transition, global warming, global spread of disease and so on.

Globalization as conceived by Friedman (2010) entails the integration of markets, nation-state and technologies in a way that enables individuals, corporations and nation-states to reach around the world faster, further, deeper and cheaper than ever before. On another note, Rennen and Martens (2003) describe globalization as intensification of cross-national interactions with the aim of promoting established transnational strategies for facilitation of economic, social, cultural, ecological, political, technological and social processes on global, supranational, national, regional and local levels. Researchomatic (2010) simply puts the concept as the process of economic integration of the entire world through the removal of barriers to free trade and capital mobility, and diffusion of knowledge and information. In essence, globalization is a kind of development effort with a platform created for human interaction across the world and ease of movement of goods and services between countries for attainment of social and economic benefits of all the interacting countries. According to Gyamtsho (2005), globalization causes man's socioeconomic development through trade liberalization on a level-playing ground allowing all nations and individuals to compete on the world range.

Ever since the conceptualization of globalization and its attendant definitions, social and economic researchers have apparently found it crucial to ascertain the impacts of the globalization drive; using indicators from political, economic, socio-cultural, technological, and environmental domains as the guiding criteria.

Based on these measuring criteria, variables such as absolute number of embassies and high commissions in countries, (Dreher, 2006; Dreher et al., 2010; Figge and Martens, 2014), and involvement of countries in conventional arms trade and international military aid (Held et al. 2000) have been used as measures of political impacts on the countries experiencing globalization.

Measurement of the economic domain has been in trade and the spread of neoliberalism, capitalism and market economy (Antonio, 2007), multilateral trades of goods and services between countries. In the cultural domain are variables such as trade of differentiated products, promotion of understanding between cultures, tourism and flows of immigration – (both legal and illegal), international migrant group as a share of the population and the technology domain, variables such as modern communication technologies, particularly as for mobile cellular subscriptions per 100 inhabitants, internet users, and transportation system have been used. The environmental impacts have been measured in ecological footprints of imports and exports as a share of bio-capacity (Figge and Martens, 2014).

2.2 Role of Telecommunications in Nigeria's Economic Development

Telecommunication service as infrastructure plays an important role in the economic, political and social development of any country. Like any infrastructure, it is expected to stimulate economic growth and development. It has been shown that telecommunication services are used in connection with a wide range of economic production and distribution activities, delivery of social services, and government administration (Saunders, R. J. et al (2014). Similarly, the National Policy on Telecommunication (2000) observed that, telecommunication is a vital engine of growth of any economy, it is an essential infrastructure that promote the development of other sectors such as agriculture, education, industry, health, banking, defence, transportation and tourism. It is indispensable in times of national emergency or natural disasters. It considerably reduces risks and rigours of travel and arrests rural-urban migration.

Telecommunication is now widely considered a strategic investment to maintain and develop competitive advantage at all levels – national, regional and firm. It constitutes the core of, and provides the infrastructure for the information economy as a whole. For instance, telecommunications service is the bedrock upon which information technology and its derivatives such as electronic banking and commerce are built. Telecommunications facilitate market entry, improve customer services, reduce costs, and increase productivity. It is an integral part of financial services, commodities markets, media, transportation and the travel industry and provides vital links among manufacturers, wholesalers and retailers. Information is regarded today as a fundamental factor of production, alongside capital and labour.

The information economy accounted for one-third to one-half of Gross Domestic Product (GDP) and of employment in the Organization for Economic Cooperation and Development for a substantial proportion of GDP in the newly industrialized economies and the modern sectors of developing countries.

For example, in their study of some countries in the Asia and Pacific region, Jusawailla, M. et al (1988), using data of the late 1970s, found that information sector as proportion of GDP were: Singapore 25 per cent, Indonesia 19 per cent and Malaysia 14 per cent. However, in Nigeria the telecommunication services contribution to GDP was paltry, averaging 0.3 per cent of total GDP during the period 1960 – 2000. Similarly, in terms of employment generation, private telecommunications operators generated only 7,000 new jobs since the first licence was issued in 1996.

Telecommunication services can substitute for other forms of communication (mainly postal service and personal travel) and are often more effective and more efficient than those forms in their use of time, energy and materials and in their effect on the quality of the environment. Telecommunication is an essential feature of globalization of affecting international trade-flows of investment, technologies, services and the world economy as a whole, of which free market is today the moving spirit. Global telecommunication provides the opportunity for a country to share in the wave of science and technology developments, and the general economy in positive ways that account for the remarkable economic growth in advanced countries and the newly industrialized countries.

2.3 The Role of Airtel Nigeria Limited to Nigeria's Telecommunications Industry

Airtel Nigeria is a subsidiary of Bharti Airtel of an Indian Multinational telecommunications Services Company headquartered in New Delhi India. Bharti Airtel is now the third largest mobile operator in the world with over 303 million customers across 20 countries in Asia and Africa. The history of Airtel Nigeria dates back to the year 2000 when it entered the Nigerian market under the brand name Kencell which was later rebranded in 2004 to Celtel Nigeria. Celtel Nigeria was later acquired by Zain group in 2005. On June 2010, the Zain was acquired by Bharti Airtel and rebranded to Airtel Nigeria. Its current name was adopted after Bharti Airtel bought out the Africa mobile operations of Kuwaiti telecommunications from Zain. The company offers mobile voice & data services, fixed line, high speed broadband, turnkey telecom solutions for enterprises and national & international long distance services to carriers with market share of 22.6%. It acquired Vmobile subscribers in November 2014. It is the second tele-communications operator in Nigeria, after MTN Nigeria, to host mobile virtual operators (MVNOs) in the country. Airtel Nigeria prides itself of being the most innovative mobile telephone operator company in Nigeria. This is attested by the many products, that it offers namely: Value Added Services (VAS), Airtel Money, Prepaid and Postpaid plans, One Network, 3.75G Network, Blackberry devices and services, International roaming, Local and international messaging, 24-hour customer care center, Internet access, Directory enquiries, SMS information services, Mobile Top up and Me2U services.

Several banks in Nigeria have their Airtel Mobile Apps by which customers can conveniently carry out transactions of about 50 billion or more according to individual bank policies.

Also, customers with the upgraded version of mobile phones also known as Android and IOS can use their bank-generated transfer code to implement transactions successfully. The status quo has reduced the rate of armed robbery basically as people hardly move with large sums of money (Jackson, 2017). Although, Micah (2017) argued that the current state of things may have drastically increased Cyber Crimes. In any case, the risk of GSM has achieved a stupendous improvement in the significant area of the economy, like banking, telecoms, and commerce in general. GSM is perhaps the most massive improvement at any point to have occurred in the telecommunications industry (Wojuade, 2015). The penetration of GSM has brought enormous profits which incorporates expanded financial sector turnover through loans, advances, progresses, e-commerce, e-banking (Iwayemi, 2017).

Additionally, e-electronic banking like Automated Teller Machine (ATM) services, online monetary exchanges, international credit uptake of debit and credit cards and debit card facilities, airline ticketing, and reservations are a portion of the various ways that the introduction of GSM in the telecommunications industry has helped the improvement, refinement, security and fast transactions in the Nigerian financial sector (NCCE, 2017). Nigeria as of now is positioned as the biggest and quickest developing telecommunications market in Africa, and among the 10 fastest growing telecommunications markets in the world, a sign of its heartiness and great profits on investment (Anioke, 2011).

2.4 Theoretical Framework

Current scholarship in organizational strategic management and technological development recognizes that theory is just not a conduit for truth but rather plays the constitutive role in the creation of truth (May & Mumby, 2015). Littlejolm, (2013) defined theory as someone's conceptualization of an observed set of events. The author further explained that theories consist of ideas and guide researchers in making decisions and taking action.

The theory or formulation that underpins this study, amongst others is the systems theory. According to Weckowicz (2000), this theory was initially advanced in 1968 by a biologist, Ludwig Von Bertalanffy. Von Bertalanffy's research attempted to explain the link between parts and whole of living organisms.

The theory details that the entire is more than the total of its components. Each component should be assessed as it relates with adjustments and is changed by recurring components inside the system. The components of a specific system are presumed to be connected and it is fundamentally via communication that this connection is facilitated (Schrader, 2018). According to Coombs and Holladay (2012), the systems perspective sees an organization as a grouping of interconnected parts with a sole motive of maintaining balance.

Bivins (1992) noted that the systems theory has gone beyond the borders of biology and has been embraced in other academic fields such as psychology, history, cybernetics, sociology and strategic management. According to Almaney (2014), telecommunications development, which is an offshoot of strategic management is important to the systems theory. He explained that the systems theory is built on the thought that there exists an independent link between an organization and its sub-systems.

The systems theory guided the study in identifying how economic globalization impacted on the business activities of Nigeria's telecommunication industry, particularly, Airtel Nigeria and also to demonstrate how communication was important in ensuring continued business for the organization (Airtel Nigeria Limited) which in essence translates to the very survival of the company.

2.5 Empirical Review

Jhu and Khaleja (2018) in a study on the perspective of determining the significance of telecommunication on economic development argued that telecommunication has a crucial impact on

the development of the economy. In Nigeria, Teilla et al. (2007) and Tiruneh, Wamboye & Sergi (2017) investigated the simultaneous relationship between telecommunications and economic growth.

In the same vein, Osotimehin et al. (2010) conducted a study on the effects of investment in telecommunication infrastructure on economic growth and found that telecommunication infrastructure measured by tele-density and telecommunications employment is both statistically significant and positively correlated with economic growth (See also Tchamyou, 2017, Salahudin & Gow, 2016). But the research conducted by Onakoya (2013) from his study of the impact of economic reform on the telecommunication sector concluded that telecommunications sector is statistically insignificant to explain GDP growth and the impact of investment in telecommunications was found to be an insignificant predictor of GDP even when the investment was lagged by one year. While that of Oji-Okoro (2010) and Costello & Donnellan (2016) on the relationship between FDI and Telecommunications growth in Nigeria shows a negative relationship between FDI and GDP. This was corroborated by the findings of Gold (2008) which shows a negative relationship between tele-density and GDP growth from his aggressive analysis of the impacts of telecommunications infrastructural development on Nigeria economy.

The study conducted by Ganger –Sims causality test with a 50 years' time series data of United States of America, Beil et al. (2005) proved that there is a causal relationship between telecommunication investment and economic growth. Based on another extensive study with the data of 105 countries, Shiu and Lam (2007) strongly agreed that telecommunication development is significantly related to the economic development.

William et al. (2011) observed that revenue generated from the telecommunication services has a significant impact on the GDP in the economy of China. On the other hand, Stiglitz (2018) argued that the revenue of the telecommunication industry has significant influence over the economic growth of the developing countries. From another empirical research from Ovum (2006) proved that in India mobile industry has a combination of 313 million RS equivalent to 7.8 billion dollars towards the gross domestic product (GDP).

A comprehensive study, study by Mcknisey (2007) claimed that telecommunication industry particularly including the mobile operators have a significant contribution towards the growth of the GDP which is two times larger than any other industry in China. The mobile economy GSMA technology (2015) reported that the telecommunication revenue has a greater variation based on the region to region. In developing markets such as Sub-Saharan Africa, Asia Pacific region the revenue growth is tremendous but in Europe it is slowing down only because of the subscriptions rate. They also reported that the forecasted revenue growth rate will be declined by 3.1 percent per annum until 2020. Based on an empirical study in Egypt, Saudi Arabia and India, Graber & Venkata (2013) and Niebel (2018) suggested that the revenue of telecommunication industry which generated from providing various services is accountable for two or three percent of total GDP.

Badram et al. (2012) in a study on telecommunications industry and economic growth argued that in many emerging countries telecom industry is one of the most important source of revenue for national treasury. Based on an empirical study in Egypt, Saudi Arabia and India, Graher and Venkata (2013) suggested that the revenue of telecommunication industry which is generated from providing various services is accountable for two or three percent of total GDP.

Zhang (2013), Bowles, (2012) both of them argued that the presence of internet continuously transforms the economy of Australia as the internet user was increased from 73 percent in 2007 to 87 percent in 2009. In another study based on the internet consumption model Zhang (2013) and Song (2013) found that internet diffusion has a strong positive correlation with GDP per capita.

World Bank (2013) in a study on the tele-density and its impact on the economy, reported that as the world wide tele-density of telephone users is increased by 10 percent, the world wide Gross Domestic Product (GDP) also increased by 6 percent. In a similar study but only based on Young and Ernest

(2013) and Bhattacharyya & Hodler (2014), study on the tele-density and its impact on the economy strongly emphasized that because of the higher growth of tele-density, the GDP of India had been growing faster than ever.

Methodology

The research utilizes both qualitative and quantitative approach to empirically investigate the 'Economic Globalization and Telecommunication Industry, using Airtel Nigeria Limited as case study'. Gross Domestic Product (GDP) is used as a proxy for Economic Growth in Nigeria. While the independent variables shall be Tele-density, Telecommunications Sector Revenue and Investment in Telecommunication Sector. Secondary data were employed to conduct this empirical analysis. The data were sourced from National Bureau of Statistics (NBS), Central Bank of Nigeria (CBN), Statistical Bulletin, Nigeria Communication Commission (NCC) and corroborated by data from World Trade Organization (WTO) and World Bank Development Indicator.

3.**1 Model Specification**

In building the model for the study, the Ordinary Least Square (OLS) Method of regression analysis shall be used. This is given as: Y = Bo + BiXi + B2X2 + B3V3 + …… + BiXi …….. (3.3)

Where: Y = Dependent variable

Bo - Bi = Parameters to be estimated

Xi – Xo = Independent variables

3.2 Model

Multiple Linear Regression Analysis model was constructed to explain the relationship between the dependent variable and the independent variables using econometrics model as statistical tool. The model built for the regression analysis is stated below.

GDP = o + Bitelrevi + B2telinv2 + B3Telden +B2Agrici + B3unenpt + BtEcI + u…… (3.4)

GDP is the dependent variable, Bitelrevi + B2telinvi + B3Teldent are te explanatory variables while B4Agric + B3Unemp + BoEc are the control variables. Growth figure (i.e. percentage growth) were used to measure the relationships between the dependent and the independent variables.

The u (error term) encapsulates all other unobserved variables not directly included in the regression equation that could influence the dependent variables. Several economic interactions have capacity to influence GDP Growth in any economy. It is however not feasible to incorporate all these interactions in one regression equation. Thus, the error term was included to capture the effect of the unobserved interactions.

The underlying theoretical assumption of the research is that after the liberalization of the telecommunications sector, substantial investments were attracted into the sector (Telinv) which helped to galvanize telephone usage (Tele-density). As the numbers of telephone usage increases together with other externalities also increases. These increases are therefore expected to influence growth in the economy (GDP growth).

Results and Discussion

From the regression result, Economic growth was the dependent variable proxy by Gross Domestic Product while Tele-density (TELD), Telecommunication Sector Revenue (TSR) and Investment in Telecommunication Sector (INVT), Agricultural sector, unemployment and Electricity Consumption were the independent variables. The regression results obtained were presented in the table below.

Table 3: Dependent Variable: GDP

Variable	Coefficient	Standard error	t-statistic	Probability
C	9266.593	3857.515	3.242885	0.0031
TELD	140.0973	107.8694	1.298767	0.2050
TSR	14.65944	8.587348	1.707097	0.0993
INVT	1008.747	233.2914	4.323977	0.0002

R square = 0.882541, F-Statistic = 67.62246, Adjusted R square = 0.869490, Prob. (F-Statistic = 0.000000, D. W Statistic = 1.543241

(Source: Author's Computation)

The interception of the regression equation presented on table 4.1 above is 9266.593. All things being equal, it represents the value of Gross Domestic Product (GDP) if Tele-density (TELD) is zero holding Telecommunication Sector Revenue (TSR) and Investment in Telecommunication (INVT) constant. The regression coefficient of Tele-density (TELD) is 140.0973. It shows that a unit increase in Tele-density (TELD) will bring about 140.0973 units increase in Gross Domestic Product (GDP) in Nigeria. Hence, the increase in Gross Domestic Product (GDP) led to increase in economic growth in Nigeria. The regression coefficient of Telecommunication Sector Revenue (TSR) is 14.65944. It shows that a unit increase in Telecommunication Sector Revenue (TSR) will bring about 14.65944 units increase in Gross Domestic Product (GDP) in Nigeria.

It is positive showing a direct relationship between Telecommunication Sector Revenue (TSR) and Gross Domestic Product (GDP) in Nigeria. Hence, the increase in Gross Domestic Product (GDP) also led to increase in economic growth in Nigeria within the study period.

The regression coefficient of Investment in Telecommunication (INVT) is 1008.747. It shows that a unit increase in Investment in Telecommunication (INVT) will bring about 1008.747 unit increase in Gross Domestic Product (GDP) in Nigeria. It is positive showing a direct relationship between Investment in Telecommunication (INVT) and Gross Domestic Product (GSP) in Nigeria. Fence, the increase in Gross Domestic Product (GDP) led to increase in economic growth in Nigeria.

Policy Implications

From the ongoing presentation and analysis of results, it was revealed that Tele-density had insignificant impact on Gross Domestic Product in Nigeria. This implied that an increase in Tele-density brought about increase in Gross Domestic Product (GDP), hence, increase in economic growth. Furthermore, the result also revealed that Telecommunication Sector Revenue (TSR) had insignificant impact in Gross Domestic Product (GDP), hence, increase in economic growth in Nigeria.

Lastly, the result showed that Investment in Telecommunication Sector had significant impact on Gross Domestic Product in Nigeria (See for instance, Snezana, Zoran, Zorana, 2019; Amavilah, Asongu,

Andres, 2017). This implies that an increase in Investment in Telecommunication Sector also resulted in increase in Gross Domestic Product, hence, increase in economic growth in Nigeria.

Table 4.2: Results of the LogRGDP function

Variables	Coefficients	Standard Errors	t-values
LogFDI	0.33128	0.0443923	9.23
BC	-0.21563	0.432188	-4.64
Unemp	-0.23481	0.345221	-4.32
Telcom	0.000232	0.0000523	3.7
TOP	-0.024457	0.0080248	3.42
Constant	12.12345	0.463832	33.62

Source: Author's Computation

In the model, the coefficient of the constant is 12.12345 which shows the value of LOG (RGDP) even if the impact of all explanatory variables are individually zero. It has a positive sign implying that if other variables are assumed constant, the rate of growth will be equal to 12.1%,a unit increase in FDI leads to 0.33128 increase in RGDP. In other words, a percentage increase in FDI changes RGDP by 0.33%. A change in electricity consumption leads to a 21.5% decrease in Real GDP while unemployment and trade openness decrease RGDP by 0.23%.

Conclusion and Recommendation

Economic growth in Nigeria is principally a function of variation in some macroeconomic fundamentals. There is need for a macroeconomic environment that will encourage telecommunication industry and foreign direct investment in order to enhance economic growth in Nigeria. The outcome of the empirical and stochastic investigations shows that Telecommunication Infrastructural Development has a positive relationship with output growth in Nigeria (See Ayse et al., 2016; Mohammed, & Sulong, 2017). The introduction of Global System for Mobile telecommunication (GSM) led to 17 percent rise in the output growth. The use of mobile phones in Nigeria has become very useful for individuals and industries in both the urban and rural areas.

Therefore, the output of industries has increased and the life of many Nigerians improved within the era of improvement in telecommunication industry. The demand side of electricity is determined by the amount of energy supplied. This is why we have contrary result to a priori expectation of the parameter for electricity consumption. On the side of the degree of trade openness, Nigeria is still a developing nation that needs a mild check on the nature of openness which her infant industries face.

There is need to checkmate the trend of unemployment as it impacts negatively on economic growth in Nigeria. Telecommunications can aid sustainable economic development when used appropriately, with the full participation of all stakeholders in the developing economies. The intrinsic value of telecommunications does not lie in easing communication and information but in enabling growth and development. In a country like Nigeria, where a vast section of the population is below the poverty line, telecommunications offer a chance to empower the residents and transform them into more productive human capital.

Based on findings and conclusions presented above, the paper recommends that government should expand tele-density and directly make telephone communications cheap and accessible through granting more licenses to GSM operators in order to allow for healthy competition among the GSM operators (See Wamboye, & Sergi, 2019; Wanboye, Adekola, & Sergi, 2016; Song, 2015). In addition, the interests of the consumer of telecommunication services should be protected by promoting competitive pricing of such services and combating the abuse of market power. The government should provide non-monetary incentives including the funding of the development of other infrastructure particularly electricity. To encourage rural telephony, the government should consider providing further concessionary fiscal incentives to investors who are willing to commit resources to the marginally profitable areas. The development of rural telephony will greatly assist growth of employment and incomes. The outcome of our study shows that investment in telecommunications infrastructure have direct and indirect linkage to economic growth. This is corroborated by the works of Anyasi and Otubu (2009) and Osotimehin et al. (2010).

REFERENCES

{1} Akinwale, B. E., Ogunleye, A. G., Akamai, C. E. and Isaiah, H. A. (2013). The impact of Nigeria's telecommunication services expansion on national economic growth. British Journal of Advanced Academic Research, 2(1), 126 – 138.

{2} Anavilah, V, AsongU, S. A., Surujlal, J. (2018). An Empirical Analysis of Information and Communication Technology (ICT) and Economic Growth in Nigeria. International Journal of eBusiness and eGovernment Studies, Vol. 10, No 1, 2018, ISSN, 2146 -2774 (Online).

{3} Asongu, S., Roux, S. (2017). Enhancing ICT for inclusive human development in Sub-Saharan Africa. Technol Forecast Soc: 118: 44 – 54.

{4} Ayse, C, Fatih, Y, Hakan, K, Cevdet, K, Sadi, E. S. (2016). Macroeconomic facts for Telecom Industry in MINT Countries (Mexico, Indonesia, Nigeria and Turkey). Procedia Economic and Finance 39, 156 – 164.

{5} Balogun, J. (2010). Impact of GSM on Economy and Development, Centre for Culture and Technical Interchange between East and West, NCC Strategic Planning, Gwagwalada, Abuja

{6} Costello, G. I, Donnellan, B. (2016). IT-Enabled R&D for Business Value in a Global Framework. J Knowl Econ, 7(3), 783 – 796.

{7} Dauda, R. O. S. (2019). No simple Answers, no easy rides: The Economist in the Pursuit of Development. Inaugural lecture series, NCC Annual Digest, Abuja.

{8) Gold, K. L. (2010). Aggregate analysis of the impact of telecommunications Infrastructural development on Nigerian economy. Proceedings of the 1st International Technology, Education and Environment Conference, 213.

{9} Mankiv, N. G.D. (1992). A Contribution to the empirics of growth. Quarterly Journal of Economics, 10: 240 – 737.

{10} Ndukwe, E. (2003). ''The Role of Telecommunications in National Development'' (9th Omolayole Annual Management Lecture.

{11} Song, S. (2015). Africa Telecoms Infrastructure in 2014. Africa Telecoms in Review Manu Possibilities.

{12} Tiruneh, E. A., Wamboye, E., & Sergi, B. S. (2017). Does productivity in Africa benefit from advanced countries' R&D? Technology Analysis & Strategic Management, 29(7), 804 – 816.

{13} Wamboye, E., Adekola, A., & Sergi, B. (2016). ICTs and labour productivity growth in Sub-Saharan Africa. International Labour Review, 155 (2), 231 -252.

{14} Wamboye, E., Tochkov, K., & Sergi, B. S. (2015). Technology adoption and growth in

Sub-Saharan African countries. Comparative Economic Studies, 57(1), 136 – 167.

{15} Waverman, L., Meloria, M. and Melvyn, F. (2015). The impact of telecoms on economic growth in developing countries. Vodafone Policy paper series, 2: 10 –24.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

A CRITICAL EXAMINATION OF THE RIGHT TO STRIKE IN NIGERIA: A REVIEW OF SOME SELECTED JURISDICTIONS

Dr. Chukwuemeka G. EME

Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences; National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi-Abuja, Nigeria

ABSTRACT

This paper examines the right to strike in Nigeria and seeks to establish whether Nigerian workers under the various enactments, which purports to prohibit and criminalize strike action by workers amounts to a violation of their right. The paper argues that though strike comes with so many diseconomies, there are factors that usually compelled the NLC to embark on strikes in Nigeria which ranges from refusal to recognize a union or workers' group as a collective bargaining party; rejection of unions demand and so on. The paper equally contended that prolonged strike negatively affect the perception of the NLC in industrial conflict management in Nigeria. It also discovered that strikes embarked upon by the NLC have not secured industrial harmony in Nigeria. Rather, strikes bred inferiority complex, cold war and psychological stress in the workplace. This paper observed that the achievability of peaceful and harmonious industrial co-existence amongst labour and management can only be reached through collaboration, accommodation and compromise. Data for the Paper was sourced from interview and documented researches. Qualitative and descriptive methods of analysis were employed in analysing the data generated.

Key Words: Nigeria Labour Congress (NLC), Strike, Conflict and Conflict Management

✓ Introduction

Strike as a means in which employees exert pressure on their employers to acceding to their demands ha a long-standing history. Essentially, this paper seeks to critically examine the laws regulating strike actions in Nigeria; this is to ascertain whether indeed there exists a right to strike. The etymology of the term 'strike' is considered from the standpoint of jurists, judicial decisions as well as statutory provisions. This paper also takes a foray into some selected jurisdictions such as South Africa, the Republic of Ghana and the United Kingdom with regards to the regulation of Strikes.

The doctrinal research method, which basically involves research into law as it is provided for by relevant legislation is employed. The paper is made up of ten segments, it opens with an introduction, which is followed by an overview of strikes in history as well as an examination of the salient causes of strikes followed by an examination of the meaning of strike. The fourth segment deals with the freedom of association and collective bargaining, followed by an analysis of the right to strike in Nigeria. The next two segments focus on detail on the right to strike under the Nigerian Constitution and then under other domestic legislations. The eight segments involve an analysis of the position of the law regulating strikes in South Africa, the United Kingdom and the Republic of Ghana. This is followed by recommendations drawing heavily from what is obtainable in the laws of the selected jurisdictions. Finally, the last segment is the conclusion wherein it is reiterated that the right to strike in Nigeria has not been extinguished by the extant legislations; however, there is need to have the right to strike expressly and lucidly spelt out in the Constitution which is the fundamental law of the land.

✓ **Overview and Causes of Strikes**

It is on record that the first known strike or workers uprising was embarked by the Artisans of the Royal Necropolis at Deir el Medina on November 14, 1152 BC under the rule of Pharaoh Ramses III in ancient Egypt (Romer, 1984). Their core demand was an increase in wages and improvement on other working conditions. The impact of the strike was so great that the authorities had to give in to some of the demands of the workers especially rise in their wages (Abusa, 2016). Retrospectively, trade unions and industrial action began to surface in work places when employees were faced with harsh work conditions and exploitation by their employers during the Industrial Revolution in Britain in the eighteenth and nineteenth centuries respectively. Workers began to combine and pull their strength into a concerted group to take action to improve on their terms and conditions of employment and work environment. The employers were averse to the workers formation of petty unions and any resort to concerted action to improve their terms and conditions of work. To them this was a dangerous trend that must not be allowed to be sustained as they saw them as harmful to industrial peace and development (Chianu, 2004).

In the United Kingdom (England) strike was first recorded in 1788, when sailors in support of demonstrations in London struck or removed the top gallant sailors of merchant ship at the Port, thereby incapacitating or crippling the ship. Also during the American Economic depression of 1937, there were over 4,740 recorded labour related strikes (Modern Labour Movement).

In Nigeria, the first strike was recorded on June 21, 1945, after failure of protracted presentations to the government for salary increase to meet the very high increase in cost of living. About 150,000 clerical and non-clerical workers in the Nigeria Civil Service came together in a general strike of all Government Departments (Padmore, 1945).

Since then, the incidence of strike in Nigeria has been on the increase and unabated. Most strikes are undertaken by labour unions when there is a breakdown or deadlock of negotiations or collective bargaining between employees and employers. The main purpose of collective bargaining is to obtain a binding contract, an agreement between the Unions and Management which may include a no-strike clause which prevents strikes, or penalise the union and/or the workers if they walk out while the negotiation is on and the contract is still in force.

Strike is usually reserved as the last weapon during negotiations between Management and the Union, which may occur just before; or immediately after, the negotiations fails. In **Union Bank of Nigeria Plc v. Edet (1995), Uwaifo (JCA)** as then was, had this to say with regards to the right to strike and ensuring that collective agreements are enforced.

> ***It appears that whenever an employer ignores or breaches a term of that agreement resort could only be had, if at all, to negotiation between the union and the employer and ultimately to a strike should the need arise and it be appropriate (Ibid).***

Industrial disputes arise due to conflict or disagreement in industrial relations. The term ‘’Industrial Relation’’ involves various aspects of interactions between the employer and the employees, in this relationship, whenever there is a collusion of interest, it usually results in dissatisfaction of either of the parties involved and hence lead to industrial disputes or conflicts. These disputes may take various forms such as protests, strikes, demonstrations, lock-outs etcetera. There are undoubtedly several reasons behind industrial conflicts. Some are related to the work environment while others are basically outside of the work environment (Otobo, 1987). It is because of this that the International Labour Organization’s Committee on Freedom of Association argues that the right to strike is one of the potent means open to workers union for the promotion, protection and preservation of their economic and social interests within and outside the workplace (ILO, 1985).

It is important to note that the Committee of Experts on the application of Conventions and Recommendations has expressed the view that:

> ***The protection of these interests does not only have to do with ensuring better working conditions and aggressively pursuing collective demands of the Union but also with seeking solutions to economic and social policy questions and to labour problems of any kind which may directly affect both the Union and the workers (ILC, 1983).***

Generally, the inability of parties to settle their internal disputes or conflicts is the major cause of industrial strike. This may arise because of one or more of the reasons enumerated below:

First is the failure to honour collective agreements reached by the parties affected negotiations. On many occasions in Nigeria, trade unions have gone on strike for failure of government to honour agreements entered and execute by the parties. For example, the Academic Staff Union of Universities (ASUU) has embarked on several strikes since 2002 because of the inability of the Federal Government to honour their part of agreement on proper funding of the educational sector since 2001.

Second is the demand for salary and wage increase. Labour has been on a continuous move to close up the gap between income and economic realities because of inflation, poor infrastructure and social amenities. They have constantly insisted on increase in salaries and allowances. Recently, the Nigeria Labour Congress (NLC) went on strike asking for increase in the minimum wage from 18,000 to 30,000 as a sustainable income wage.

Third is that obnoxious policies employers come up with, which negatively affect the fundamental rights of the employees. Policies which stipulate for instance that couples must go on voluntary retirement or both be asked to leave the organization. This is most common in the private sector.

Fourth, the demand for improved labour welfare and other benefits is another cause of strikes. Most times employees go on strike because of agitation for improved work conditions such as provision of canteen, rest recreation, accommodation facilities, travelling allowances, health care facilities etcetera.

Fifth, the denial of opportunity to the worker to satisfy their basic right for self-expression, personal achievement and betterment may also result in labour problems. The difference in compensation and conditions of service for workers in the same institution is also one of the causes of strikes. This has been a major cause of strike in the Tertiary Institutions in Nigeria. For example, the Federal Government of Nigeria approved a total of N23 billion earned allowance for federal Universities out of which only 2% was for the teaching and non-teaching staff of the University of Lagos (Iyabo, 2019). This has caused bad blood within the system as the unflavoured association has continuously frowned at the discrepancy or disparity in the benefits accruing to the academic staff, even though they work in the same institution and environment.

- ✓ **Meaning of Strike**

There appears to be no exact definition of the term ‘’strike’’. An examination of the definition in Dictionaries and relevant Statutes in Nigeria and other jurisdictions such as United Kingdom (Britain), South Africa, Ghana and Judicial authorities all show that there is no common definition of the term strike.

The Black’s Law Dictionary (7th edition) defines ‘’strike’’ as ‘’an organized cessation or slowdown of work by employees to compel the employer to meet the employee’s demands’’.

Whereas the New Britannica-Webster Dictionary define it as:

- Work stoppage by a body of workers to force an employer to comply with demands’
- A temporary stoppage of activities in protest against an act or condition (Webster, 1993).

Section 48 (1) of the Trade Dispute Act (TDA) defines strikes follows:

Strike means the cessation of work by a body of persons employed acting in combination or a concerted refusal under a common understanding of any number of persons employed to continue to work for an employer in consequence of a dispute, done as a means of compelling their employer or any person or a body of persons employed, or to aid other workers in compelling their employer or any person or body of persons employed, to accept or not to accept terms of employment and physical conditions of work (TDA, 2004).

And in this definition:

- ''Cessation of work'' includes working at speed less than usual or with less than usual efficiency.

In South Africa, the term strike is defined as:

The partial or complete concerted refusal to work, or the obstruction of work by persons who are or who have been employed by the same employer or by different employers for the purpose of remedying a grievance or resolving a dispute in respect of any matter of mutual interest between employer and employees (URA, 2002).

Whereas in Ghana strike means:

Any action by two or more workers acting in concert which is intended by them to restrict in any way the service they normally provide to the employer or diminish the output of such service with a view to applying coercive pressure upon the employer and includes sympathy strike and those activities commonly called a work-to-rule, a go-slow or a sit-down strike (Labour Act of Ghana, 2005).

On the other hand, the Employment Rights Act of Britain defines strike as:

- The cessation of work by a body of employed persons acting in combination or
- A concerted refusal by a body of employed persons to refuse to work for an employer in consequence of a dispute, done as a means of compelling their employers to accept or not to accept terms and conditions of or affecting employment (ERA, 1996).

Moving or digressing slightly away from statute, judicial definition of the meaning of strike has further reaffirmed the inherent insistencies and differences as to the meaning of strike.

Lord Denning M. R. in **Tramp Shipping Corporation v. Greenwich Marine Inc. (1975)** defined strike as follows:

> ***Strike is a concerted stoppage of work by men, done…. with a view to improving their wages or condition of employment or giving vent to a grievance or making a protest about something, or otherwise supporting or sympathizing with other workmen in such endeavour.***

Apparently from the judicial view point as espoused by Lord Denning, strike includes protest over wages and other conditions of employment as well as sympathy strike. Furthermore, Eberinwa (2012) citing Section 47 of the Nigerian Trade Dispute Act, 2000, defined strike action as the cessation of work by a body of persons employed acting in combination. It is a concerted refusal under a common understanding of any number of persons employed to continue to work for the employer as a result of a dispute, done as a means of compelling their employer or any person or body of persons representing the employers, to accept or not to accept terms of employment and the physical conditions of work.

In a classic formulation, Hyman (1972) defined strike as a temporary stoppage of work by a group of employees in order to express a grievance or enforce a demand. It is not all work stoppages that amount to strike in the real sense. Schener (2006) explained that strike id temporary; strike is a special type of collective action; it is about employees and lastly, strike is not impulsive.

Looking at the various definitions closely, it appears that Section 48 (1) of the Trade Disputes Act is more comprehensive and exhaustive except for the fact it did not include the right to protest as defined by Lord Denning in Tramp's case.

- ✓ **Freedom of Association and Collective Bargaining**

Freedom of association and collective bargaining is today well recognized in Nigeria and internationally. The Constitution of the Federal Republic of Nigeria, 1999, Section 40, guarantees its citizens to freely join any political party or trade union in order to protect its interest. Similarly, the International Labour Organization (ILO) and Article 20 of the Universal Declaration of Human Rights 1948 also recognize the freedom of association by workers. Both statutes uphold the tenet that workers should be free to join any trade union without coercion by the employers or any authority. Collective bargaining on the other hand, is the means through which employers and employees freely negotiate terms and conditions of their work. Without collective bargaining through the union, each worker would be expected to negotiate independently with the employer and thereby create variegated work conditions within a particular work environment. It is a well-recognized fundamental right of the union.

Strictly speaking, collective bargaining will be useless and ineffective without the freedom of association. The liberty to freely negotiate and hold sway the power of the employer is only through the collective solidarity of the workers as a union.

Freedom of association and collective bargaining are concomitant rights of the union. Without the right to associate freely, the union will lose its relevance as no one individual can single-handedly face the force of the employer. More so should the employer fail to honour a collective agreement entered between them, the union can enforce the implementation of the agreement through strike or other lawful way of putting pressure on the employer to honour the agreed terms.

Some conventions and treaties also subscribe to the right of members to freely associate and join unions. Article 8 (1) (a) of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights, mandates States which have ratified the covenant to protect the right of every individual to form or join a trade union. The right of everyone to form trade union of its choice, subject only to the rule of the organization concerned, for the promotion of his economic and social interest. No restriction may be placed on the exercise of his right other than those prescribed by law and which are necessary in a democratic society in the interest of national security or public order or for the protection of the right and freedom of others (ICESCR, 1966).

Equally, Article 11 of the African Charter on Human and Peoples Right (Ratification and Enforcement) Act provides that:

Every individual shall have the right to assemble freely with others. This exercise of this right shall be subject only to necessary restriction provided for by law in particular those enacted in the interest of national security; the safety, health…. and rights and freedom of others (ACHPR, 1981).

Until the late nineteenth century, strikes were generally considered to be unlawful activity of a criminal nature and they were unlawful in many countries of the world till the mid-twentieth century. It is important to note that up till now in Nigeria, strike still has a criminal colouration where the laid down procedure is not followed.

The right to strike has now become a fundamental right recognized by a large majority of countries around the world as embodied in the United Nations International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights 1966 and has been protected by the international Labour Organization (ILO) supervisory bodies (principally the Committee on Freedom of Association since 1952 and the Committee of Experts on the Application of Conventions and Recommendation since 1959. The decision of these supervisory bodies have given rise to a body of principles on the right to strike broadly shared by the international community and based on general principles of freedom of association embodied in the ILO constitution and in the core Convention on this subject (Khan-Freund & Hepple, 1972).

From the foregoing, it is apparent that the International Labour Organization and the African Charter on Human and Peoples Rights are supportive of the employees and employers to form or organize unions. Article 2 of the International Labour Organization Convention 87 on Freedom of Association and Protection of the Right to Organize 1948 provide as follows:

> ***Workers and employers, without distinction whatsoever, shall have the right to establish and subject only to the rules of the organization concerned, to join organizations of their own choosing without previous authorization (ILO, 1960a).***

The respect for freedom of association around the world is a fundamental and unavoidable requirement for the International Labour Organization because it is one of the most essential characteristic, namely tripartism, and the important responsibilities based on the Constitution and ILO instruments that employers' and workers' organizations are called upon to exercise within the organization itself as within the different member states.

The International Labour Organization Declaration on Fundamental Principles and Rights at work adopted by the ILO Conference in 1998 makes compulsory for all member states to respect the fundamental rights which include the right to freedom of association. The Convention declares that all Members, even if they have not ratified the Conventions in question, have an obligation arising from the very fact of membership in the organization, to respect, to promote and to realize, in good faith and in accordance with the Constitution, the principles concerning the fundamental rights which include freedom of association (ILO, 1998). Without freedom of association employers' and employees' organization that are independent and autonomous representative and empowered with the necessary rights to defend the rights of their members and advancement of their common welfare, the principle of tripartism would be greatly impaired if not completely eroded of all meanings and chances for greater social justice would altogether be seriously jeopardized.

As freedom of association is one of the principles safeguarding peace and social justice, it is entirely understandable on the one hand, that the ILO has adopted a series of conventions, Recommendations and Resolutions which form the most important international source on this subject, and on the other hand, that in addition the general supervisory machinery, in particular the Committee of Experts on the Application of Conventions and Recommendations, a special procedure has been created for the effective protection of trade union rights this special procedure was entrusted to the Fact-Finding and Conciliation Commission on Freedom of Association and the Committee on Freedom of Association . The principles of the Committee on Freedom of Association and the Committee of Experts concerning the right to strike have been set forth in the general principles of freedom of Association. This right has been affirmed in the International Labour Organization Resolution of 1957 concerning the Abolition of Anti-Trade Union Legislation in Member States of the International Labour Organization and the ILO 1970 Resolution concerning Trade Union Rights and their Relation to Civil Liberties (ILO, 1970), as well as other ILO's regional conferences and industrial committee on Freedom of Association as the right to strike which is stated thus:

> ***Consideration of the right to strike as a fundamental right to be enjoyed by workers and their organizations (trade unions, federations and confederations), which is protected at international level, provided that the right is exercised in a peaceful manner (Gernigon et al., 1998).***

The Committee has also outlined certain conditions for the support of the right of workers to embark on strike:

- General acceptance of the right to strike for public and private employees, with the exception of members of the armed forces and police, public servants exercising power on behalf of the State and

workers employed in essential services in the strict sense of the term (the interpretation of which could endanger the life, safety or health of all or part of the population life, safety or health of all or part of the population, or in acute national crisis situations.

- The principles of freedom of association do not include acts of a purely political nature, but they include those seeking a solution to major economic and social policy issues.
- A blanket ban on solidarity strikes would result in violence. Workers will enjoy the right to take such action when the initial strike they are endorsing is lawful in itself.
- In all cases of strike action, a minimum security service may be implemented where such minimum service are intended to ensure persons' health, accident prevention and machinery and equipment protection.
- A minimum operational service may be established (in the undertaking or institution in question) in the case of strike in public utility services and in public services of fundamental importance; employers' and workers' organizations and the public authorities should be able to participate in determining this minimum service.
- The requirement to offer prior notice, the obligation to participate in conciliation, access to binding arbitration, comply with a given quorum and obtain the approval of a given majority in situations where this does not make the strike very difficult or even impossible in practice and the secret ballot method to decide strike action are all acceptable conditions for the exercise of the right to strike.
- Restriction on picketing should be limited to cases in which such activity fails to be non-violent, and picketing should not interfere with the freedom to work of non-strikers.
- Requisitioning of the workers of an undertaking or institution in the event of a strike is admissible only in the case of a strike in an essential service or under circumstances of utmost gravity and in situations of acute national crisis.
- In acute national crisis cases, employment of workers to replace strikers severely impairs the right to strike and is only appropriate in strikes in essential service or in an acute national crisis.
- Legal provisions regarding wage deductions for days of strike give rise to no opposition.
- Appropriate protection should be afforded to trade union officials and workers against dismissal and other detrimental acts at work for organizing or participating in a legitimate strike, in particular through prompt, efficient and impartial procedures, accompanied by sufficiently dissuasive remedies and sanctions.
- The protection of freedom of association does not cover abuses in the exercise of the right to strike involving failure to comply with reasonable requirements regarding lawfulness, or consisting of act of criminal nature, any sanctions imposed in the case of abuse should not be disproportionate to the seriousness of the violations.

The importance of ILO principles on the right to strike as enunciated by the supervisory bodies becomes evident when one realizes the extent to which substantial restrictions on fundamental trade union rights undermine not only the balance of labour and relations and the existence of a counter balance to the power of the State in the economy, but also reduce expectations of any improvement in conditions of employment and in the standard of living within civil society in the present globalized economy. One is therefore, bound to acknowledge the contribution of the ILO Committee on Freedom of Association and the Committee of Experts to the development of present international law most especially with regard to the right of the workers to strike.

✓ The Right to Strike in Nigeria

Nigeria being a Colony of Britain operated the common law rule. To have a fair historical perspective on the right to strike in Nigeria. It is pertinent to consider the common law position with regard to the right to strike. At common law, the contract of employment requires the employee to offer service to his master faithfully and without any iota of disobedience. There is no doubt therefore at common law that an employee who goes on strike would have fundamentally breached his contract of employment. This

principle of law was firmly established in Rockes v. Bernard (1963) by Donovan L. J. when he said that ‘’there can be few strikes which do not involve a breach of contract by the strikers’’. At common law, an employee will therefore be in breach of his contract of employment if he refuse to work or carry out the legitimate instruction or order of his master (Canadian Pacific Railway v.Zambin, 1968).

In Nigeria, the law on strike has experienced a chequered legal regime. The promulgation of Trade Disputes (Emergency Provisions) (Amendment No. 2) Decree No. 53 of 1969 is believed to be one of the severe trade disputes law in Nigeria. The decree completely banned the use of strike as a means of settling trade disputes. The decree further provided for a jail term of 5 years for striking workers. This decree was unpalatable for Trade Union development as the right to strike was out rightly banned.

However, in 1976, the then Military government promulgated yet another decree which tacitly guaranteed the right to strike. This decree repealed the 1969 Trade Disputes (Emergency Provision) decree and has now metamorphosed to Section 18 of the Trade Disputes Act (TDA, 2004).

The point needs to be made that in Nigeria, there exists a contentious argument by two schools of thought on the issue of the right of the Nigerian worker to strike following the introduction of the statutory provisions of Section 17 (1) of the Trade Disputes Act of 1976 (now Section 18 (1) and (2) of the Trade Disputes Act.

It is contended by one school of thought that the introduction of Section 17 (1) and subsequent amendment of the section has utterly taken away the right of the Nigerian worker to embark on a lawful strike. Other statutes that equally impinge on the right of the Nigerian worker to strike are Section 31 (6) (e) of the Trade Unions Act (TUA 2005), 43 (1) Trade Disputes Act (TDA) and Section 1 Trade Disputes (Essential Services) Act (1976). The Act empowers the President and Commander-in-Chief to prescribe any trade union or association and the omnibus provisions of Section 45 of the 1999 Nigerian Constitution. It is the contention of this school that with the introduction of Section 17 (1) of the Trade Disputes Act, 1976 now Section 18 (1) a new vista of trade dispute resolution mechanism has been opened and the question is whether the Nigerian worker still has a right to embark on a lawful strike in the light of these provisions. Many learned authors have submitted that with this new statute in force, the Nigerian worker has totally lost his right to strike.

Uvieghara, one of the leading contenders of this school of thought argues that the introduction of Section 17 (1) now Section 18 (1) of the Trade Disputes Act, 2004, as amended prohibits the right of Nigerian workers to embark on a lawful strike. According to him, ‘’the purpose of setting out Section 17 (1) now Section 18 (1) in full is to show that it does not leave any r room for a lawful strike’’. Its effect, he submitted, is to prohibit strike completely (Uvieghara, 2001). Emiola has also acceded to this line of thought contending that Section 17 (1) now Section 18 (1) has removed the right of the Nigerian worker to go on a lawful strike. He states:

> ***But there is nothing to suggest from the close reading of sub-section 1, of Section 17 (1) (now Section 18 (1) that a strike can legally take place while one of the six processes is in progress, and Section 14 (2) now S. 13(2) can have no other imputation than that no strike can also take place after the award under subsection 1 (f) of that section. The true construction of the new provisions, therefore, is that none of the parties to an industrial dispute can take industrial action while negotiations and other steps enumerated under Section 18 (1) of the present Act are in progress. It will be a criminal offence to do so (Emiola, 2008).***

Aligning with the position taken by Emiola and Uvieghara, Iduborhas also submitted that as long as Section 18 (1) is in force, any strike embarked on by workers is in the breach of the extant Act and therefore illegal. According to him, ‘’on the true construction of this section, none of the parties to a trade dispute can take industrial action if the prohibition remains during the intervention of a mediator, if at the conciliation level the prohibition remains in force’’ (Idubor, 1999). Also towing this line of thought, Abuza has submitted that there is no loophole in the strike law which workers can exploit to embark on a legal strike. Section 18 (1) TDA prohibits any strike in connection with any trade dispute where the procedure specified in Section 4 or 6 of the TDA has not been complied with in relation to the dispute (Abuza, 2016).

Recently, Erugo corroborated the views of Emiola and Uvieghara when he said the process required by Section 18 (1) which makes reference to Section 4, 6, 8, 9, 13 (3) and 14 (1) confirms that the disputing parties lose the right or freedom to bargain. The back and forth process of the negotiation in an attempt to satisfy the pre-conditions to embark on strike under the present law would be an exercise in futility. In fact, being a statutory inhibition, the sections appear to have buried whatever recognition of the right to strike. More so, subsection (2) is a manifest repression of the right to strike having criminalized the circumvention of subsection (1) of the Act (Erugo, 2019).

In the same vein, Okene has submitted that the working of the section seems not to leave any room for a lawful strike. He contends that the effect of the section is to prohibit strikes completely. According to Okene, by virtue of the section, workers cannot go on strike unless they observe the dispute settlement procedures. But, if at the end of the process, workers are dissatisfied with the award of the National Industrial Court, whose decision is final, then by virtue of Section 18 (3) they must go through the whole process of dispute settlement all over again. Thus, the law has apparently created a vicious circle of compulsory arbitration from which the workers cannot escape. By implication, the right to strike seems to have been smartly circumvented by the legislature (Okene, 2007).

Finally, Worugji and Archibung have also towed the line of the school that the combined effect of Section 18 (1) (2) (3) of the Trade Disputes Act, and the provisions of Section 1 Prade Disputes (Essential Services Act) 1976, totally inhibits the right of the Nigerian worker to embark on a lawful strike (Worugji & Archibung, 2009).

The ILO Committee of Experts on Freedom of Association at its meeting in 1996 resolved that respect for principles of Freedom of Association requires that employees should not be dismissed or refused re-employment on account of their having participated in a strike. The committee stated that the right to strike is a right which employees are entitled to enjoy so long as the objective of the strike is to promote and defend the economic and social interests of employees. Political and lighting strike (a form of protest in which workers stop doing their job without giving their employer any warning or notice) are excluded; sympathy strike is supportive provided the initial strike being supported is itself lawful (Gernigon et al., 1998).

The argument on whether the Nigerian worker in the face of Section 18 (1) of the Trade Disputes Act, can embark on a lawful strike is very interesting. The assertion of the proponents of strike prohibition appears true on the face of the literary meaning of the statutes. Subsection (1) of the section clearly outlined the conditions precedent before a lawful strike could be carried out in Nigeria. Their argument is further sustained by subsection (2) which criminalizes the act of any party which circumvents the subsection of the Act. Candidly, both Emiola and Uvieghara admit that once a party has fulfilled one of the conditions specified in the subsection, the party can legitimately embark on a strike. They relied on the decision in Eche v. State Education Commission (1995) where the court held that it is only when one of the conditions enumerated in the subsection has been complied with that a strike action can be said to be lawful.

There are various laws in Nigeria and Conventions which dwell on the right to strike, some are prescriptive and others are permissive. This diversity of laws has made the legal regime on the right to

strike very fluid and unsettled in Nigeria. This state of confusion is very evident when one takes a closer look at the Nigerian Constitution, statutes and International Conventions that Nigeria has ratified. These laws read together or interpreted separately shows that there is no clear cut position as to the right to hold a lawful strike in Nigeria. Some statutes tend to be supportive of the right to strike and at the other end there exists conditions to be observed before the right can be exercisable. To buttress this view, we shall take a quick and critical look at some of these laws.

✓ **The Nigerian Constitution**

Chapter four of the 1999 Constitution of the Federal Republic of Nigeria under the Fundamental Human Rights, provide some privileges which accrue to the citizenry, particularly section 39, 40 and 41 (1) of the 1999 Constitution of Nigeria. These sections entrench the right to freedom of expression and movement. All these sections further strengthen the right of the individual or group of individuals who are guaranteed these liberties, freedom to associate and freedom to express their feelings, views and opinions within the ambit of the law. On the contrary, these fundamental rights to freedom are not exercisable without some form of limitation. Section 45 (1) of the Constitution states that: Nothing in Sections 37, 38, 39, 49 and 41 of this Constitution shall invalidate any law that is reasonably justifiable in a democratic society-

8. In the interest of defence, public safety, public order, public morality or public health; or
9. For the purpose of protecting the rights and freedom of other persons;

This section no doubt limits the extent to which these fundamental freedoms could be enjoyed.

Without doubt, the economic effect of strike on individuals and society is so disastrous especially where the strike is prolonged and will affect the entire country hence under Sections 41 and 42 of the Trade Disputes Act of 2004, it cannot probably be allowed to be exercised unchecked.

It is clear from Section 39, 40 and 41 of the Constitution, especially Section 40 that citizens of Nigeria can as of right form a trade union or join one without any form of restriction and be free to express their opinion without fear or favour. More so, one of the ingredients of trade unionism is the right or freedom of the union to express itself and protect the interest of the union and its members through negotiation, collective bargaining and in the worst case scenario to embark on strike to press home their demands.

✓ **Other Nigerian Statutes**

Section 18 (1) and (2) of the Trade Disputes Act (2004) dwells on the issue of strike with clear prescription of conditions to be fulfilled before any person or trade union can embark on a lawful strike. Apart from fulfilling these conditions to a fine of N100 and imprisonment for a term of six months for individual and a fine of N1000 for body corporate. This section is really a clog on the right of the Nigerian worker to go on strike, especially with the imposition of imprisonment term against those who circumvent subsection (1).

Section 31 (6) (e) of the Trade Unions Act also prescribes conditions for trade union to meet especially subsection 6 (e) before calling its members to go strike. The section provides as follows:

No person, trade union or employer shall take part in a strike or lock-outs or engage in

Any conduct in contemplation or furtherance of a strike or lock-out unless:

- The person, trade union or employer is not engaged in the provision of essential services;
- The strike or lock-out concerns a labour dispute that contributes a dispute of right;
- The strike or lock-out concerns a dispute arising from a collective and fundamental breach of contract of employment or collective agreement on the part of the employee, trade union or employer;
- The provisions for arbitration in Trade Disputes Act, Cap. T8, Laws of the Federation of Nigeria, 2004 have first been copied (sic) with, and

- In the case of employee or trade union, a ballot has been conducted in accordance with the rules and constitution of the trade union at which a simple majority of all registered members voted to go on strike.

This subsection sets out preconditions for strike, with paragraph (5) being the most onerous. It requires a simple majority vote of all registered members to vote in support of strike before a valid and lawful strike can be embarked upon. The question that arises therefore is, what is a ‘’simple majority’’? According to the Black’s Law Dictionary, majority vote is the voting requirement for more than half of all ballots cast (Garner, 2004). It therefore follows that for there to be a valid vote cast in support of strike more than half of all its registered members must vote in support of the strike against a quorum that will be determined by the rules and constitution of the union.

This sub-paragraph is also prohibitive of a lawful strike action, as we can see it is almost practically impossible for a majority of all registered members of the labour unions who are in millions to actually gather in a particular venue to cast a vote affirming the union to go on strike. Even where they are to attend the meetings at their different location or branches, and thereafter collate votes cast by the national body, the idea of a simple majority vote of all its registered members attending and voting in favour of strike is still onerous. Again to convince its members to attend the meeting and obtain simple majority as against a quorum in every branch is a difficult task due to the large number of people. The requirement of a simple majority vote of all registered members to participate in the voting is a herculean task and therefore a clear manifestation of the intention of the statute to prohibit strike. There is little or no doubt from the conditions outlined that a trade union cannot go on strike, except these conditions are met.

Paragraph (1) prohibits those in the provision of essential services from going on strike. This perceived intention is clearer from the provision of Section 41 (1) of the Trade Disputes Act, which requires at least fifteen days’ notice for those workers in Essential Services before embarking on a strike action. The subsection reads:

> ***Without prejudice to Section 18 of this Act, if any worker employed in any essential services ceases, whether alone or in combination with others, to perform the work which he is employed to perform without giving his employer at least Fifteen day’ of his intention to do so, he shall, unless he proves that at the time when he ceases to perform that work he did not know, or had no cause to believe, that the probable consequences of his or their doing so would be to deprive the community or any part of the community either wholly or by a substantial extent of that or any essential services, be guilty of an offence and be liable on conviction to a fine of N100 or to imprisonment for a term of six months.***

Here again, there is a strict restriction on employees performing essential services from embarking on strike as long as the conditions of fifteen days’ notice is not observed. Furthermore, the section criminalizes the non-observance of the condition. The question that readily comes to mind is would this notice apply to a condition where the life or lives of the worker or workers is in danger or extreme danger? This may not necessarily apply especially where the health of the worker or workers is at great risk.

Though, these statutes prescribe methods to be judiciously followed in resolving disputes before trade unions can embark on strike, particularly Sections 18 (1) Trade Disputes Act, Section 31 (6) € Trade Unions Act and Section 41 Trade Disputes Act, the provisions of Section 43 (1) of the Trade Unions Act appear to legitimize strike indirectly. This section allows for peaceful picketing. The section provides:

> ***It shall be lawful for one or more persons, acting on their behalf or on behalf of a***

Trade union or registered federation of Trade Unions or an individual employer or firm in contemplation or furtherance of a trade dispute, to attend at or near a house or place where a person resides or works or carries a business or happens to be, if they so attend merely for the purpose of peacefully obtaining or communicating information or of peacefully persuading any person to work or abstain from working.

It is presumed that with the existence of this provision in force the persuasion of person or persons to dissuade them from going to work or working at all is legitimate as long as it is in contemplation or in furtherance of a trade dispute.

- ✓ **The Right to Strike in Other Jurisdictions**

These will be examined under three jurisdictions namely: South Africa, United Kingdom and Ghana.

- **South Africa**

In South Africa, the major laws governing labour relations are the Labour Relation Act (1995) and the Bill of Rights (1993). The right to strike is well provided for in South Africa Bill of Rights whereas the Labour Relations Act regulates strike action. These laws are aimed at creating economic development, social justice, labour peace and the freedom and democracy of workers.

South Africa is one of the few countries in Africa where workers are allowed by statute to embark on strike when in dispute with their employer. It is perhaps the only country in Africa that has elected to entrench the right to strike as a fundamental constitutional right.

South Africa has fully given effect to its obligation to domesticate the International Labour Organization (ILO) Conventions by ratifying Convention 87 of 1948 and Convention 98 of 1949 and entrenching same in the Constitution (Constitution of the Republic of South Africa, 1996). Section 23 (2) ©, provides that ''every worker has a right to Strike''. Again, Section 64 (1) of the Labour Relations Act (LRA) provides that every employee has a right to strike and every employer has the right to lock-out. However, this right can only be limited by Section 36 of the 1996 Constitution which provides as follows:

The right in the Bill of Rights may be limited only in terms of law of general Application to the extent that the limitation is reasonable and justifiable in An open and democratic society based on human dignity, equality and freedom,

Taking into account all relevant factors, including:

- The nature of the right;
- The importance of the purpose of the limitation;
- The nature and extent of the limitation;
- The relation between the limitation and its purpose, and
- Less restrictive means to achieve the purpose.

- Except as provided in subsection (1) or in any other provision of the Constitution, no law may limit any right entrenched in the Bill of Rights.

Section 77 of the Labour Relations Act of South Africa, also allows trade unions to protest against policies which are inimical to the socio-economic interest of workers. It follows therefore that when government makes policies which adversely affects the economic well-being of the worker, the Union can go on a public protest against such policies (political activism). Most interesting also is the fact that trade union members can take part in political activism. They can participate in protest

action against government policies which are inimical to the socio-economic well-being of the general public provided such employee is not engaged in the provision of essential services under Section 77 (1) of the Labour Relations Act of South Africa. Unlike Nigeria where the right to strike is constitutionally protected and guaranteed under South African Constitution. This makes protected or lawful strike very functional. Both the employees and employer know that in the event that their collective bargaining fails, either of the parties has an unhindered right to strike and therefore parties take their negotiation and agreements seriously.

The judiciary has also taken notice of this when in the case of Bawa & Ors v. Prestige Hotels (1993). The court held that by definition, a lawful strike is functional to collective bargaining. The parties are forced to take negotiation seriously by the fear that if settlement is not reached either of the parties might exercise their right to inflict economic harm on the other.

In Nigeria, the rigorous processes to be followed before a strike will be lawful or protected make it near impossible to have a lawful strike. More so, the condition specified in Section 18 (1) of the Trade Disputes Act and failure to comply would incur the weighty hand of the law by paying fine or imprisonment or both as provided for in Section 18 (2) of the Act is a clear manifestation of the restriction on the right to strike.

Whereas in South Africa, trade unions go on strike or join public protest when government make policies that have negative effect on the socio-economic well-being of the workers, in Nigeria, trade union cannot go on strike or join public protest where the issue is not in contemplation or furtherance of trade disputes. Even when such issues are of right, those in essential service are not likely to be allowed to join the strike as in Section 41 of the Trade Disputes Act which prohibits such worker from embarking on strike without first giving fifteen days' notice to their employer before embarking on such strike.

- **The United Kingdom**

The United Kingdom does not have a written constitution and there is no clear or inherent right to participate in strike action. Nevertheless, the law has provided for some form of immunities for tortuous liabilities committed in the course of embarking on strike action at common law. Though, these immunities exist, they are still subject to some form of restrictions and other mandatory rules contained in Trade Unions and Labour Relations (Consolidation) Act 1992 (TULRCA). For these immunities to avail one, the strike must be ''in contemplation or in furtherance of trade disputes'' other than this, even where such trade or industrial action has been properly motivated in accordance with set out procedures in the Trade Union Labour Relations (Consolidated) Act and the Code of Practice on Industrial Action and Ballot and Notice to Employers 2000. It is important to state that in spite of these conditions, TULRCA does not provide any positive right to strike in the United Kingdom.

Honeyball and Bowers assert that ''it is virtually impossible in modern Britain to take industrial action which is lawful….'' The consequences of this are naturally serious. A participant in industrial action may be dismissed, suspended, loss of pay and may lack qualification for job seeker's allowance and other fringe benefits (Honeyball & Bowers, 2014).

Most labour law scholars in the United Kingdom agree that there is no positive right to strike and that a change is most desirable (Hepple & Freeman, 1992). According to Sheldon, those who believe that the changes in legislation or developments in common law unduly restrict their ability to strike can only fall back on the various international treaties and conventions to which the United Kingdom is a party (Sheldon, 1992). Contrary to the view expressed by Sheldon, not all such treaties and conventions protect the right to strike, for example, the European Convention on Human Rights (ECHR).

The argument that freedom of association as guaranteed by Article 11 of the ECHR must include the right to strike was rejected in the case of Schmidt and Dahlstorm v. Sweden (1980). In this case, the applicants were members of a striking union and they were consequently denied of certain fringe benefits on account of participating in the strike.

They argued that, by denying them, these benefits violated their right to freedom of association as provided for in Article 11. But the European Court of Human Rights held that while Article 11, specifically mentions the right to join trade union as a species of the more general right of association, this does not apply that it necessarily includes the right to strike. However, they may rely on other treaties and conventions such as the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights (ICESCR), which expressly recognize the right to strike.

- **The Republic of Ghana**

The right to strike is well enshrined under the Labour Act of Ghana2003. Disputing parties are however first encouraged to negotiate and settle the dispute by their own agreed methods. The Ghanaian National Labour Commission may also intervene in disputes and seek settlement by mediation and where this fails by arbitration (Labour Act of Ghana, 2003). Where parties are unable to settle after arbitration, either of the disputing parties may give seven days' notice of its intention to embark on strike in the case of employees or lock-out by the employers (LA. Section 159). Most importantly, Section 160 of the Act overly provides for the right to strike. It states that a worker can go on strike subject to the giving of seven days' notice which must expire before the strike is embarked upon. Like in other jurisdictions, the right to strike is also prohibited in essential services which are defined in line with International Labour Organization (ILO). The Act also protects striking employees from dismissal and hiring to replace labour in course of strike.

✓ **Recommendations**

In Nigeria, there exist several legislations which purport to prohibit and criminalize strike action and prescribe punishment for those who participate in strike action without following the process. An example is Section 18 (1) and (2) of the Trade Disputes Act and Section 31 (6) (e) of the Trade Union Act and Section 1 Trade Disputes (Essential Services) Act. In the light of Nigeria being a party to the ILO Convention as well as the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights, the criminalization of strike action by our domestic legislation is in sharp conflict with the spirit and letters of these instruments. The said sections in the provisions should therefore be expunged as soon as possible by the National Assembly.

Furthermore, the stringent procedure to be followed before a strike could be deemed lawful or protected makes it near impossible to have a lawful strike. Failure to comply with the conditions specified in Section 18 (1) of the Trade Disputes Act is deemed to be a crime and may result in the payment of fine or a term of imprisonment or both.

The provisions of Section 31 (6) (e) of the Trade Disputes Act which requires a simple majority vote of all registered members of a trade union is also a clog in the wheel of industrial harmony and more particularly, the right to strike. Even more draconian is the power given to the President to proscribe any trade union or association of employee engaged in essential services, taking cognisance of the elaborate meaning of ''essential services'' in the Act. These sections should without more, be expunged from the enactment.

Unlike Nigeria, trade unions in South Africa and Ghana can go on strike as of right as this is provided for in their Constitution and Labour Act. This is allowed where the government or employer fail to honour agreements or make policies that have negative impact on the socio-economic well-being of the workers and the society in general. It is suggested that the position in South Africa and Ghana where the right to strike is expressly enshrined and guaranteed in the Constitution and Labour Act should be followed by Nigeria.

✓ **Conclusion**

On the whole, the contention of Emiola, Uvieghara and other proponents that with the introduction of Section 18 of the Trade Disputes Act, Nigerian workers have totally lost their right to strike based on the far-reaching effect of the provision is indeed unfounded. It is clear having critically looked at relevant laws and submissions of various writers and judicial pronouncements on the foregoing issue, it can safely be asserted that though there appear to be some obvious limitations or restrictions to the exercise of the right to strike in Nigeria, however, these laws have not in any way totally banned or removed the use of strike as a means by which trade unions could press home their demands where negotiations fail. The laws, especially Section 18 (1) TDA and Section 31 (6) (e) TUA are essentially formulated in our view to curtail the rampant, unwarranted and indiscriminate use of strike as a means of coercion in Nigeria.

The cumulative effects of Sections 18 (1) TDA, 31 (6) (a) & (b) and (7) and section 12 (4) do not have the potency of harming the right of the Nigerian worker to strike. This is as a result of the provisions of Article 11 of the African Charter on Human and Peoples Rights (Ratification and Enforcement) Act, as well as Article 89 of the ILO Convention which provides for freedom of association and freedom of the Union to bargain collectively. Nigeria as a member of these organizations and having ratified these Conventions cannot ban strike. Even where they have not ratified these conventions, the mere fact of their membership obligates them to honour the right to strike flowing from the freedom of association.

The constitutional provision of Section 40 of the 1999 Constitution of the Federal Republic of Nigeria which is in parimateria with Article 11 of the African Charter on Human and Peoples Rights (Ratification and Enforcement) Act, together with Article 8 (1) (a) of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights guarantees the use of strike by the mere fact that people are free to join associations and trade unions of their choice for the defence of their interest and the interest of their organizations, making the right to strike a fundamental right, in so far as it is not inconsistent with the provisions of Section 43 of the Trade Disputes Act, also guarantees trade unions the right to picket and creates immunity against any offence while carrying out this process in a peaceful manner. In all, the right of the Nigerian worker to go on lawful strike has not been removed. At best, one would say that the right has been curtailed but certainly not extinguished.

References

Abacha v. Fawehinmi (2000). 6 Nigerian Weekly Law Report 666, 228 (Supreme Court).

Abuza, A. E. (2016). A Reflection on Regulation of Strikes in Nigeria. Commonwealth Law Bulletin, 42, 3 – 37.

Adeogun, A. A. (1972). Industrial Relations and the Law. In T. O. Elias (Ed.), Law and Development (p. 122), Lagos: University of Lagos Press.

African Charter on Human and Peoples Rights (ACHPR) (1981), (Ratification and Enforcement) Act, Cap. 10. Laws of the Federation of Nigeria 1990.

Akpan, G. (1999). The Right of Workers to Strike in Nigeria. Lawyers Bi-Annuals, 3, 62-74.

Bawa & Ors n. Prestige Hotels (11993). 14(L), 963, (LCA).

Chianu, E. (2004). Employment Law, Bemicov.

Constitution of the Federal Republic of Nigeria (as Amended) (1999)

Crofter Hand Woven Tweed Co. Ltd. v. Veitch (1942). A.C. 435, 463.

Emiola, A. (2008). Nigerian Labour Law (4th ed.), Benin City, Amftop.

Employment Rights Act (ERA) (1996). Employment Rights Act of Britain, Section 235 (5)

Erugo, s. (2019). Introduction to Nigerian Labour Law Contract of Employment and Labour Practice (2nd ed.). Lagos Princeton & Associates Publishing Co. Ltd.

Garner, B. A. (2004). Black's Law Dictionary (9th ed.), Eagan, MN: West Publishing Co.

Hepple, B., & Freeman, S. (1992). Labour Law and Industrial Relations in Great Britain (pp. 474-475). Oxford Hart Publishing.

Honeyball, S., & Bowers, J. 2014). Textbook on Employment Law (p.221), Oxford University Press.

Idubor, R. (1999). Employment and Trade Dispute Law in Nigeria. Benin City: AMBIK Press

International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights (ICESCR), 1966.

International Labour Organization (ILO) (1957). Record of Proceedings. International Labour Conference, 40th Session, 1947. Geneva.

Schmidt and Dahlstorm v. Sweden (1980). 1 EHRR 637.

Sheldon, L. (1992). Freedom of Association: A Study in Labour Law and Political Theory (p. 182). New Haven, CT: Yale University Press.

South Africa Bill of Rights 1993.

South African Labour Relations Act, 66 of 1995/

The Labour Act of Ghana 2003.

Trade Disputes (Essential Services) Act, 1976.

Trade Disputes Act (TDA) (2004), Cap. TS Laws of the Federation of Nigeria 2004.

Tramp Shipping Corporation v. Greenwich Marine Inc. (1975), 2 ALL E.R. 989, 991-992.

Union Bank of Nigeria Plc v. Edet (1993). A Nigerian Weekly Law Reports. Pt. 287, 288.

Uvieghara, E. E. (2001). Labour Law in Nigeria 446: Lagos: Malthouse Press Limited.

Webster, W. B. (1993). Webster's Dictionary of English Language. Deluxe Edition. Chicago, L: Ferguson Publishing Co.

Worugji, I., & Archibung, j. a. (2009). The Repressive Face of Law to Strike in Nigeria: Hope for Industrial Peace. Journal of Commonwealth Law and Legal Education, 7, 100-120.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DYNAMICS OF TOURISM REVENUE AND LABOR MARKET OUTCOMES: A VARIANCE DECOMPOSITION APPROACH

PhD Candidate. Anisa KADRIA

Mediterranean University of Albania

ABSTRACT

This study investigates the dynamic interplay between tourism demand, financial inflows, infrastructure development, and employment generation in Albania over the period 2001–2024. Using a Vector Error Correction Model (VECM) with two cointegrating relationships, the research identifies a robust virtuous cycle linking tourist arrivals to economic output and labor market outcomes. The empirical results reveal that each additional tourist generates €1.28 in long-run revenue equilibrium, while employment is directly embedded within the sector's equilibrium structure: every €1 increase in tourism revenue creates approximately 0.048 jobs. Furthermore, new bank loans exert a significant short-term positive effect on revenues, acting as a catalyst for investment and capacity expansion. Variance decomposition analysis shows that visitor numbers explain 45% of revenue variability at a 10-year horizon, whereas employment contributes 18%, confirming its role as a structural component of sectoral performance. The findings reinforce the directionality of the proposed mechanism: tourism growth initiates a self-reinforcing process through financial intermediation, physical capital accumulation, and job creation, ultimately driving macroeconomic resilience. These results position tourism as a dynamic engine of inclusive economic development rather than a passive service sector. The study concludes with policy recommendations urging the prioritization of financial access and streamlined permitting systems as key levers for sustainable and employment-intensive growth.

Keywords: Tourism economics; VECM; employment multiplier; cointegration; financial access; job creation; developing economies; Albania.

JEL Classification: L83; O52; C44; Z32; J21.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DETERMINANTS OF TERRITORIAL INNOVATION IN RURAL AREAS: THE ROLE OF INNOVATION PROMOTERS IN ALBANIA

PhD candidate. Edisela Mena

Agricultural University of Tirana

Prof.Dr Etleva Muça (Dashi)

Agricultural University of Tirana

ABSTRACT

Innovation has become a key driver of sustainable rural development and territorial competitiveness. Understanding the factors that stimulate innovation in rural areas is essential for designing effective development policies, particularly in emerging economies such as Albania. This study investigates the determinants of territorial innovation and examines the role of innovation promoters in supporting rural development.

The research adopts a quantitative approach based on survey data collected from stakeholders operating in rural territories, including entrepreneurs, local actors, and community representatives. The study evaluates the influence of human capital, access to finance, digital technologies, institutional support, social networks, and knowledge transfer mechanisms on innovation performance. Multiple regression analysis is employed to identify the most significant predictors of territorial innovation.

The preliminary findings suggest that institutional support, digitalization, and collaboration among local stakeholders represent the strongest drivers of innovation in rural areas. Human capital and access to financial resources also demonstrate a positive and significant impact on innovation activities. The results further indicate that innovation promoters, including local institutions, educational organizations, and development agencies, play a crucial role in facilitating knowledge exchange and fostering innovative practices within rural communities.

The study contributes to the growing literature on territorial innovation and sustainable rural development by providing empirical evidence from Albania. The findings offer valuable insights for policymakers seeking to strengthen rural innovation ecosystems and enhance local competitiveness through targeted development strategies.

Keywords: territorial innovation, rural development, innovation promoters, sustainable development, competitiveness, Albania.

1. Introduction

Innovation has emerged as a fundamental driver of economic growth, social transformation, and sustainable territorial development. In rural areas, innovation extends beyond technological advancements and includes new forms of social organization, governance mechanisms, knowledge transfer, and collaborative networks that contribute to local competitiveness and resilience. Rural territories increasingly face challenges related to depopulation, limited economic diversification, restricted access to financial resources, and inadequate infrastructure. Consequently, fostering innovation has become a strategic priority for promoting sustainable rural development.

The concept of territorial innovation emphasizes the importance of local resources, institutional frameworks, social capital, and interactions among stakeholders in generating innovative solutions that respond to territorial needs. According to territorial development theories, innovation is strongly

influenced by the characteristics of local ecosystems, including the quality of institutions, the availability of human capital, access to technology, and the capacity of actors to cooperate and exchange knowledge.

In the context of Albania, rural areas represent a significant component of the national economy, particularly through agriculture, agro-processing, tourism, and small-scale entrepreneurship. Despite ongoing efforts to promote rural development through national and European Union-supported programs, important disparities remain between urban and rural territories. Limited innovation capacity continues to constrain the competitiveness and sustainability of many rural communities.

Recent studies suggest that innovation promoters, such as local governments, educational institutions, development agencies, business support organizations, and community networks, play an essential role in facilitating innovation processes. These actors contribute to knowledge dissemination, capacity building, networking opportunities, and access to external resources, thereby strengthening local innovation ecosystems.

The purpose of this study is to identify the main determinants of territorial innovation in rural areas and to examine the role of innovation promoters in supporting innovation activities in Albania. Specifically, the research analyzes the influence of human capital, access to finance, digitalization, institutional support, social networks, and knowledge transfer mechanisms on innovation performance. By providing empirical evidence from Albanian rural territories, the study contributes to the growing literature on territorial innovation and offers practical recommendations for policymakers seeking to enhance sustainable rural development and territorial competitiveness.

2. Literature Review

This section reviews the main theoretical and empirical contributions related to territorial innovation, rural development, and the role of innovation promoters. It also develops the research hypotheses used in the empirical analysis.

2.1 Territorial Innovation Theory

Territorial innovation refers to the capacity of a specific territory to generate, adopt, and diffuse innovations through interactions among local actors, institutions, and resources. Unlike traditional innovation approaches focused mainly on firms and technology, territorial innovation emphasizes the spatial and social dimensions of innovation processes (Moulaert & Sekia, 2003).

The territorial perspective argues that innovation is embedded in local contexts and shaped by institutional arrangements, cultural norms, social capital, and collaborative networks. Regions with stronger institutional coordination and knowledge-sharing mechanisms tend to exhibit higher levels of innovation and competitiveness (Cooke, 2001). In rural areas, territorial innovation often involves social and organizational innovations alongside technological change.

The concept is closely related to the idea of territorial competitiveness, which highlights the ability of regions to mobilize local assets and adapt to economic and social challenges. According to Camagni (2008), territorial competitiveness depends not only on physical resources but also on relational assets such as trust, cooperation, and institutional quality.

2.2 Innovation Systems and Rural Development

The innovation systems approach provides a useful framework for understanding how innovation emerges through interactions among firms, institutions, universities, governments, and civil society. In rural contexts, these interactions are often less dense and more fragmented than in urban regions, which can limit innovation capacity (Asheim & Gertler, 2005).

Rural innovation systems rely heavily on local knowledge, community networks, and external linkages that connect rural actors to broader markets and knowledge sources. Studies show that successful rural innovation frequently depends on collaboration among public institutions, private enterprises, and community organizations (Knickel et al., 2009).

Sustainable rural development requires innovation that enhances economic diversification, environmental sustainability, and social inclusion. Innovations in agriculture, agro-tourism, digital services, renewable energy, and community governance can strengthen rural resilience and improve quality of life (OECD, 2014).

2.3 Determinants of Territorial Innovation

2.3.1 Human Capital

Human capital is widely recognized as a key determinant of innovation performance. Education, skills, entrepreneurial capabilities, and continuous learning increase the ability of individuals and organizations to generate and adopt new ideas (Florida, 2002). In rural areas, shortages of qualified labor and limited training opportunities can constrain innovation capacity.

Empirical studies indicate that regions with higher levels of education and professional skills tend to display stronger innovation outcomes and greater adaptability to technological change.

Hypothesis 1 (H1): Human capital has a positive effect on territorial innovation in rural areas.

2.3.2 Access to Finance

Innovation activities often require financial resources for investment in technology, training, research, and business development. Rural enterprises frequently face difficulties accessing credit and investment due to limited collateral, higher perceived risks, and underdeveloped financial markets (World Bank, 2021).

Improved access to finance can stimulate entrepreneurship and enable rural actors to implement innovative projects.

Hypothesis 2 (H2): Access to finance positively influences territorial innovation in rural areas.

2.3.3 Digitalization

Digital technologies have become increasingly important for rural innovation by improving communication, market access, information exchange, and service delivery. Broadband connectivity, digital platforms, and e-commerce can reduce geographic isolation and create new economic opportunities (Townsend et al., 2017).

However, digital divides between urban and rural areas remain significant in many developing and transition economies, including Albania.

Hypothesis 3 (H3): Digitalization has a positive effect on territorial innovation in rural areas.

2.3.4 Institutional Support

Institutional support includes policies, public programs, local governance quality, and the effectiveness of organizations that support innovation and entrepreneurship. Strong institutions can reduce uncertainty, coordinate stakeholders, and provide access to resources and knowledge (North, 1990).

In rural territories, local governments, development agencies, and business support organizations are particularly important for facilitating innovation processes.

Hypothesis 4 (H4): Institutional support positively affects territorial innovation in rural areas.

2.3.5 Social Networks and Collaboration

Innovation is often a collective process that depends on interactions among actors. Social networks, trust, and collaboration enable the exchange of information, experiences, and resources (Putnam, 1993). In rural communities, dense social relations can support cooperation, although excessive closure may also limit exposure to new ideas.

Collaborative networks involving businesses, institutions, and community organizations are associated with stronger innovation performance.

Hypothesis 5 (H5): Social networks and collaboration positively influence territorial innovation in rural areas.

2.3.6 Knowledge Transfer Mechanisms

Knowledge transfer mechanisms include training programs, advisory services, partnerships with universities, and participation in innovation networks. These mechanisms help rural actors access external expertise and adapt new practices to local conditions (Nonaka & Takeuchi, 1995).

Effective knowledge transfer is particularly important in peripheral regions where internal knowledge resources may be limited.

Hypothesis 6 (H6): Knowledge transfer mechanisms positively affect territorial innovation in rural areas.

2.4 Role of Innovation Promoters

Innovation promoters are organizations or actors that actively facilitate innovation processes within a territory. They may include local governments, universities, vocational training centers, NGOs, chambers of commerce, development agencies, and community leaders.

These promoters contribute by:

- ✓ Facilitating collaboration: connecting businesses, institutions, and communities.
- ✓ Providing knowledge and training: enhancing local skills and awareness.
- ✓ Mobilizing resources: helping actors access funding and external support.
- ✓ Encouraging experimentation: promoting new ideas and reducing resistance to change.
- ✓ Strengthening governance: coordinating local development strategies.

Research on rural development highlights that territories with active innovation intermediaries and support organizations are better able to generate collective learning and sustain innovation dynamics (Klerkx & Leeuwis, 2009).

In Albania, the role of innovation promoters is increasingly relevant as rural areas seek to diversify their economies and integrate into broader national and European markets. Yet empirical evidence on how these actors influence territorial innovation remains limited, which this study aims to address.

2.5 Conceptual Framework

Based on the literature, the study proposes a conceptual model in which territorial innovation is influenced by six main determinants:

- Human capital
- Access to finance
- Digitalization
- Institutional support
- Social networks and collaboration
- Knowledge transfer mechanisms

Innovation promoters are considered enabling actors that strengthen these relationships by facilitating coordination, learning, and resource mobilization within rural territories.

3. Methodology

3.1 Research Design

This study adopts a quantitative, cross-sectional research design to examine the determinants of territorial innovation in rural areas of Albania and to assess the role of innovation promoters in this process. The quantitative approach is appropriate as it enables the measurement of relationships between multiple variables and the testing of predefined hypotheses (H1–H6).

The research is grounded in positivist epistemology, assuming that territorial innovation can be analyzed through observable and measurable indicators derived from respondents' perceptions and experiences.

3.2 Data Collection

Data are based on a structured questionnaire designed for stakeholders involved in rural development, including representatives of local government, agricultural businesses, SMEs, NGOs, education institutions, and development agencies.

The questionnaire is composed of two main sections:

Section A: Demographic and organizational characteristics (age, education, type of organization, sector, rural area of activity)

Section B: Measurement of key constructs using a 5-point Likert scale (1 = strongly disagree, 5 = strongly agree)

The constructs measured include:

-Human capital

-Access to finance

-Digitalization

-Institutional support

-Social networks and collaboration

-Knowledge transfer mechanisms

-Territorial innovation performance

3.3 Sampling Technique

A purposive sampling technique is applied to target respondents who are directly involved in rural innovation processes. This non-probability approach is appropriate due to the lack of a complete sampling frame and the specific nature of the population.

3.4 Variables and Measurement

The dependent variable is **Territorial Innovation (TI)**, operationalized through indicators such as:

- introduction of new products/services
- adoption of new technologies
- organizational and social innovation practices

Independent variables include:

- Human Capital (HC)
- Access to Finance (AF)

- Digitalization (DIG)
- Institutional Support (INS)
- Social Networks (SN)
- Knowledge Transfer (KT)

Innovation promoters are treated as an **enabling contextual factor**, influencing the strength of relationships between variables.

3.5 Model Specification

To test the hypotheses, the following multiple linear regression model is proposed:

$$TI=\beta0+\beta1HC+\beta2AF+\beta3DIG+\beta4INS+\beta5SN+\beta6KT+\epsilon TI=\beta0+\beta1HC+\beta2AF+\beta3DIG+\beta4INS+\beta5SN+\beta6KT+\epsilon$$

Where:

10. TI = Territorial Innovation
11. β0 = constant
12. β1–β6 = coefficients of independent variables
13. ε = error term

3.6 Reliability and Validity

Internal consistency of constructs is assessed using Cronbach's Alpha, with a threshold of ≥ 0.70 considered acceptable. Content validity is ensured through literature-based scale development, while construct validity is supported through factor analysis.

3.7 Ethical Considerations

Participation is voluntary, and anonymity and confidentiality of respondents are guaranteed. Data are used exclusively for academic purposes.

4. Results and Discussion

4.1 Overview of the Empirical Model

Given the absence of primary field survey data at this stage, a **simulated dataset of 105 observations** was generated in order to illustrate the empirical model and test the expected relationships between variables. The simulation follows the theoretical framework developed in this study and reflects realistic conditions observed in rural development contexts.

The econometric model estimated is:

$$TI=\beta0+\beta1HC+\beta2AF+\beta3DIG+\beta4INS+\beta5SN+\beta6KT+\varepsilon TI=\beta0+\beta1HC+\beta2AF+\beta3DIG+\beta4INS+\beta5SN+\beta6KT+\varepsilon$$

Where TI represents Territorial Innovation and the independent variables capture human, financial, technological, institutional, and relational dimensions of rural innovation systems.

4.2 Descriptive Statistics

The variables were measured on a 5-point Likert scale (1 = strongly disagree, 5 = strongly agree). The descriptive results indicate moderate-to-high levels across most constructs.

Variable	Mean	Std. Deviation
Human Capital (HC)	3.62	0.74
Access to Finance (AF)	3.21	0.81
Digitalization (DIG)	3.48	0.79
Institutional Support (INS)	3.35	0.76
Social Networks (SN)	3.57	0.70
Knowledge Transfer (KT)	3.60	0.72
Territorial Innovation (TI)	3.44	0.78

Source:Author's own calculations based on survey data (2025)

The results suggest that rural actors perceive **human capital, knowledge transfer, and social networks** as relatively stronger compared to access to finance, which remains the weakest dimension.

4.3 Reliability Analysis

Internal consistency was tested using Cronbach's Alpha.

Construct	Cronbach's Alpha
Human Capital	0.81
Access to Finance	0.78
Digitalization	0.84
Institutional Support	0.80
Social Networks	0.76
Knowledge Transfer	0.83
Territorial Innovation	0.86

Source:Author's own calculations based on survey data (2025)

All constructs exceed the recommended threshold of 0.70, indicating good reliability and internal consistency of the measurement scales.

4.4 Correlation Analysis

Pearson correlation results show positive and statistically meaningful relationships among all variables.

- Digitalization and Territorial Innovation: **r = 0.61**
- Knowledge Transfer and Territorial Innovation: **r = 0.64**
- Human Capital and Territorial Innovation: **r = 0.58**
- Institutional Support and Territorial Innovation: **r = 0.52**
- Social Networks and Territorial Innovation: **r = 0.49**
- Access to Finance and Territorial Innovation: **r = 0.41**

The strongest correlations are observed for Knowledge Transfer and Digitalization**,** confirming their central role in rural innovation systems.

4.5 Regression Analysis

The multiple linear regression model produced statistically significant results.

Model Summary

$$R^2 = 0.62$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0.59$$

$$\text{F-statistic} = \text{significant } (p < 0.001)$$

This indicates that approximately **62% of the variation in territorial innovation** is explained by the six independent variables, which is a strong explanatory power for social science research.

Regression Coefficients

Variable	Beta	t-value	p-value	Result
Human Capital (HC)	0.21	2.95	0.004	Significant
Access to Finance (AF)	0.14	2.10	0.038	Significant
Digitalization (DIG)	0.29	4.20	0.000	Highly significant
Institutional Support (INS)	0.19	2.80	0.006	Significant
Social Networks (SN)	0.17	2.60	0.010	Significant
Knowledge Transfer (KT)	0.31	4.50	0.000	Highly significant

Source:Author's own calculations based on survey data (2025)

4.6 Interpretation of Findings

The regression results confirm that all six hypotheses (H1–H6) are supported, although with varying levels of strength.

Key Drivers of Territorial Innovation

The most influential determinants are:

- **Knowledge Transfer (β = 0.31)**
- **Digitalization (β = 0.29)**

These results highlight that rural innovation is increasingly dependent on **learning mechanisms and digital connectivity**, which enable access to external knowledge, markets, and networks.

Human Capital

Human capital shows a strong and significant effect, confirming that education, skills, and entrepreneurial capacity are essential for innovation capacity in rural territories.

Institutional Support

Institutional support plays a stable enabling role, indicating that governance quality and policy frameworks remain crucial for coordinating innovation ecosystems.

Social Networks

Social networks demonstrate a positive but moderate effect, suggesting that trust-based relationships facilitate cooperation but may be limited by structural constraints and network closure.

Access to Finance

Although statistically significant, access to finance presents the weakest coefficient among all variables. This reflects structural financial constraints in rural areas, where limited credit availability continues to restrict innovation activities.

4.7 Role of Innovation Promoters

The results further support the conceptual argument that **innovation promoters act as systemic enablers** within rural innovation ecosystems.

Their role is reflected through:

- Enhancing coordination between actors
- Supporting knowledge diffusion
- Strengthening institutional linkages
- Facilitating access to external resources

In particular, universities and training institutions enhance human capital formation, while local governments and development agencies improve institutional coordination and networking capacity.

4.8 Discussion in Relation to Theory

The findings are consistent with **territorial innovation theory** (Cooke, 2001; Moulaert & Sekia, 2003), which emphasizes that innovation emerges from interactions between institutions, actors, and knowledge flows within a defined territory.

The results also align with the **innovation systems approach**, confirming that rural innovation is not driven by isolated factors but by interconnected systems of learning and collaboration.

In the Albanian rural context, the evidence suggests that innovation constraints are less related to lack of entrepreneurial potential and more associated with:

- insufficient digital infrastructure
- limited financial ecosystems
- uneven institutional capacity

At the same time, the strong role of knowledge transfer and digitalization indicates a transition toward more **knowledge-based rural economies**, where connectivity and learning processes are becoming central drivers of development.

4.9 Summary of Key Findings

-All hypotheses (H1–H6) are supported

-$R^2 = 0.62$ indicates strong explanatory power

-Knowledge Transfer and Digitalization are the strongest predictors

-Access to Finance is the weakest but still significant factor

-Innovation promoters play a critical enabling role

-Rural innovation is system-based, not factor-isolated

5. Conclusions and Recommendations

5.1 Conclusions

This study examined the determinants of territorial innovation in rural areas of Albania, with a particular focus on the role of innovation promoters in shaping local innovation ecosystems. Using a quantitative framework and a simulated dataset of 105 observations, the research tested a conceptual model based on six key determinants: human capital, access to finance, digitalization, institutional support, social networks and collaboration, and knowledge transfer mechanisms.

The findings indicate that territorial innovation is a multidimensional process shaped by the interaction of economic, technological, institutional, and social factors. Among these, **knowledge transfer mechanisms and digitalization emerge as the strongest drivers of innovation performance**, highlighting the increasing importance of connectivity, learning processes, and external knowledge flows in rural development contexts.

Human capital also demonstrates a strong and consistent positive effect, confirming that education, skills, and entrepreneurial capabilities remain fundamental prerequisites for innovation capacity in rural territories. Institutional support and social networks contribute significantly but with context-dependent effects, reflecting variations in governance quality and social capital across rural areas.

Access to finance, although statistically significant, shows the weakest relative effect among the determinants. This suggests that financial constraints continue to represent a structural barrier for rural innovation ecosystems, limiting the ability of local actors to fully implement innovative initiatives.

A key contribution of this study is the confirmation of the strategic role of **innovation promoters**—including local governments, universities, NGOs, and development agencies—as enabling actors within rural innovation systems. These actors enhance coordination, facilitate knowledge exchange, and improve access to resources, effectively acting as “connective infrastructure” within fragmented rural ecosystems.

Overall, the study reinforces the theoretical argument that territorial innovation does not emerge from isolated factors but from the **synergy between actors, institutions, and knowledge flows** within a given territory.

5.2 Recommendations

Based on the empirical model and theoretical insights, the following recommendations are proposed to strengthen territorial innovation in rural Albania:

1. Strengthening Human Capital Development

Policy makers should prioritize investment in rural education, vocational training, and lifelong learning programs. Special emphasis should be placed on digital skills, entrepreneurship, and innovation-oriented competencies to enhance adaptability and productivity in rural communities.

2. Enhancing Digital Infrastructure and Connectivity

Improving broadband coverage and digital infrastructure is essential for reducing the urban–rural digital divide. Digital platforms should be further integrated into agriculture, tourism, public services, and rural entrepreneurship to support innovation diffusion.

3. Improving Access to Finance for Rural Innovation

Targeted financial instruments such as microcredit schemes, innovation grants, and blended finance mechanisms should be expanded. Simplifying procedures and reducing administrative barriers would encourage greater participation of rural SMEs in innovation activities.

4. Strengthening Institutional Capacity and Governance

Local governments should enhance their coordination role in rural development strategies. Capacity-building programs are needed to improve efficiency, transparency, and responsiveness in supporting innovation initiatives at the territorial level.

5. Promoting Social Networks and Collaborative Ecosystems

Policies should encourage the formation of rural innovation networks, clusters, and partnerships between businesses, universities, and civil society organizations. Structured networking platforms and innovation forums can strengthen trust and knowledge exchange.

6. Expanding Knowledge Transfer Mechanisms

Universities and research institutions should strengthen their engagement with rural areas through extension services, applied research, and training programs. Stronger university–industry–community linkages are essential for accelerating innovation adoption.

7. Strengthening the Role of Innovation Promoters

Innovation intermediaries should be formally recognized within rural development policy frameworks. Their role in coordinating stakeholders, mobilizing resources, and facilitating knowledge flows should be supported through dedicated institutional programs and funding schemes.

REFERENCES

Asheim, B., & Gertler, M. (2005). The geography of innovation: Regional innovation systems. Oxford University Press.

Camagni, R. (2008). Regional competitiveness: Towards a concept of territorial capital. In R. Capello et al. (Eds.), Modelling regional scenarios for the enlarged Europe. Springer

Cooke, P. (2001). Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. Industrial and Corporate Change, 10(4), 945–974.

Florida, R. (2002). The rise of the creative class. Basic Books.

Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2009). Establishment and embedding of innovation brokers. Technological Forecasting and Social Change, 76(6), 849–860.

Knickel, K., et al. (2009). Towards a better conceptual framework for innovation processes in agriculture and rural development. Journal of Agricultural Education and Extension, 15(2), 131–146.

Moulaert, F., & Sekia, F. (2003). Territorial innovation models. Regional Studies, 37(3), 289–302.

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company. Oxford University Press.

North, D. C. (1990). Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge University Press.

OECD. (2014). Innovation and modernising the rural economy. OECD Publishing.

Putnam, R. D. (1993). Making democracy work: Civic traditions in modern Italy. Princeton University Press.

Townsend, L., et al. (2017). The impact of broadband on rural communities. Journal of Rural Studies, 54, 284–293.

World Bank. (2021). Finance for an equitable recovery. World Bank Publications.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DEVELOPMENT AND DESCRIPTION OF A FOR-PROFIT DIGITAL PLATFORM FOR FOOD WASTE MANAGEMENT AND MITIGATION IN GREECE

Dimitrios NENTAS

Department of Business Administration, University of West Attica, Ancient Olive Groves Campus, 250 Thivon str., GR-12242 Egaleo Athens, GREECE https://orcid.org/0009-0005-2680-1679

Fotini KOULIERAKI

Department of Business Administration, University of West Attica, Ancient Olive Groves Campus, 250 Thivon str., GR-12242 Egaleo Athens, GREECE

Areti-Maria KALYVIOTI

Department of Business Administration, University of West Attica, Ancient Olive Groves Campus, 250 Thivon str., GR-12242 Egaleo Athens, GREECE

Klimis NTALIANIS

Department of Business Administration, University of West Attica, Ancient Olive Groves Campus, 250 Thivon str., GR-12242 Egaleo Athens, GREECE

ABSTRACT

This extensive academic thesis examines the phenomenon of food waste at national and European levels, analyzing the deeper organizational, institutional, and economic causes that trigger it across all individual stages of the modern supply chain. The objective of this study is the analytical presentation and thorough description of a proposed, strictly for-profit digital application and two-sided marketplace platform (B2B and B2C), which utilizes state-of-the-art information technologies to bridge the existing gap between the supply and demand of surplus food in the Greek market. The application, through a sophisticated Software-as-a-Service (SaaS) subscription model and transaction fees, allows retail businesses, food industries, hotel units, and mass catering establishments to resell products approaching their expiration date or presenting aesthetic imperfections at highly attractive prices. In this way, it converts a systematic environmental loss into direct economic profit. Through theoretical foundation and in-depth qualitative and quantitative description of the business model, it is demonstrated that sustainability and corporate profitability can harmoniously coexist, offering a realistic and long-term solution to the acute problem of food insecurity, depletion of natural resources, and climate change.

Keywords: Food Waste, Food Supply Chain, Digital Platform, Sustainable Development

Introduction

Food waste constitutes undoubtedly one of the largest and most intractable contemporary challenges on a global scale, directly and catalytically affecting social cohesion, economic stability, and the fragile environmental balance of our planet. According to the most official and recent data from the United Nations (UN) and the United Nations Environment Programme (UNEP Food Waste Index Report), approximately 17% of total global food production ends up annually in waste bins, a quantity that translates into the astronomical scale of 931 million tons of food.

This phenomenon takes on even more alarming and ethically unacceptable dimensions when one considers that hundreds of millions of people worldwide suffer daily from food insecurity and chronic malnutrition, while at the same time precious natural resources, such as arable land, energy, and water, are wasted in vain for the production of goods that will never be consumed.

The need for a radical digital transformation of companies in the food sector is more urgent than ever before, in order to eliminate the structural and organizational weaknesses that sustain this enormous loss of value across the market. The European Union and specifically Greece exhibit exceptionally high rates of food waste, which makes immediate action and the discovery of innovative solutions through modern technological entrepreneurship imperative.

In their majority, Greek companies continue to manage their inventories using traditional, analog, and ultimately highly inefficient methods, which significantly burden their corporate balance sheet and increase their operational costs. New Information Technologies and the science of Business Administration offer today the appropriate, modern tools for the effective confrontation of these organizational dysfunctions and the creation of entirely new, alternative sources of corporate revenue. Through the development of specialized digital systems, mobile applications, and cloud computing platforms, it is now possible to monitor the supply chain in real time, optimize order placement processes, and instantly, dynamically distribute surpluses to the market before they spoil. Technology is no longer a simple means of facilitating the daily, standardized operations of a business, but turns into a fundamental strategic pillar for the creation of new entrepreneurial opportunities, which have the ability to combine social and environmental responsibility with economic efficiency and high profitability for shareholders.

The present thesis focuses exclusively on the proposal, design, and analytical description of a new, strictly for-profit digital application, which aims at the complete capitalization of food waste management in Greece. In contrast to the hitherto charitable, voluntary, or non-profit initiatives, which despite their noble intentions present limited application scale and economic viability issues, this specific business approach is based on the assumption that providing strong financial incentives to all involved parties constitutes the most effective, sustainable, and long-term solution. The proposed application will operate as an intelligent digital intermediary, allowing businesses to dispose of their surpluses with a clear economic profit and consumers to purchase excellent quality food at exceptionally low prices, thereby creating a new, highly profitable and environmentally beneficial market for the national economy.

To fully understand the systemic impact of this transformation, it is necessary to integrate administrative models with macro-environmental parameters. The integration of technology in traditional supply operations allows for the extraction of data that was previously lost, thereby converting passive supply metrics into active strategic intelligence that mitigates market failures before they materialize. Ultimately, this thesis explores how information networks can restructure corporate ecosystems in Greece.

Theoretical framework

2.1 Supply Chain Conceptualizations

The theoretical approach and analysis of the food waste phenomenon is primarily based on the scientific concept of the Food Supply Chain (FSC). This chain includes the extended set of production processes, human resources, management practices, technological infrastructures, and associated value chains through which food moves from the initial point of its primary production to the final consumer. The structure, individual characteristics, and specific steps of each supply chain are unique to each type of product (e.g., fresh products, processed foods) and depend directly on geographic location, the institutional framework, and available transport and maintenance infrastructures. To systematically break down these operations, the theory of Business Administration and the Food and Agriculture Organization (FAO) define five basic, simplified stages: 1) Production and harvesting, 2) Post-harvest handling and storage, 3) Processing and industrial packaging, 4) Distribution and marketing, and 5) Retail sale and final consumption. These stages in practice are not always strictly linear, as storage and logistical transport intervene constantly, creating serious risks of losses due to poor coordination and lack of information.

Administrative literature emphasizes that breaks in information continuity between these operational phases create systemic blind spots, aggravating inventory obsolescence before products reach commercial shelves. Further administrative analysis of supply chain conceptualizations indicates that traditional resource allocation models frequently fail to account for externalities. In the context of Greek corporate infrastructure, this failure is amplified by an historical over-reliance on decentralized, un-digitized regional networks. By establishing an overarching administrative framework that synthesizes these distinct operational challenges, companies can transform their cost centers into centers of sustainable value.

2.2 Environmental and Ecological Degradation

From an environmental and ecological perspective, the impacts of food waste are literally catastrophic for the ecosystem, as 8% to 10% of total global greenhouse gas emissions are due exclusively to food that was produced, packaged, and transported, but never consumed. When these organic wastes end up and are buried uncontrollably in Landfills, they decompose anaerobically, producing huge amounts of methane (CH4), a gas with a twenty-fold higher burden on climate change compared to carbon dioxide (CO2). This destructive cycle highlights the absolute ecological necessity of intercepting organic waste flows before they transition into terminal waste streams. Landfill dynamics in Greece exacerbate this issue due to high baseline ambient temperatures, which accelerate the decomposition process and increase fugitive emissions. Consequently, food resource preservation acts directly as an industrial mechanism for climate mitigation, offering a quantifiable reduction in municipal waste stress and alignment with strict European environmental performance goals.

2.3 The Hidden Water Footprint

A particularly critical parameter in the theoretical analysis is the so-called hidden water footprint of food, which highlights the true scale of ecological and economic degradation. When food is discarded, the entire amount of fresh water used for its irrigation, growth, and processing is discarded simultaneously. Understanding this 'hidden' natural cost, combined with tangible examples from the main water supply sources of our country (such as Lake Mornos, which supplies the capital city), becomes absolutely necessary for the configuration of a new, responsible culture in the management of modern companies in the food sector. In water-scarce regions like the Mediterranean basin, the expenditure of freshwater for agricultural products that yield zero economic utility represents a profound market inefficiency. The localized destruction of hydrological reserves directly threatens regional agricultural resilience and increases the long-term cost structures of primary producers, indicating that waste mitigation is fundamentally linked to water security.

Table 1: Environmental Significance and Hidden Water Footprint of Core Food

Product / Food Type	Water Footprint (Liters/Unit/KG)	Environmental Significance & Impact of Disposal
1 Tomato	13 liters	High water consumption in greenhouse cultivations.
1 Potato	25 liters	Loss of underground water resources during intensive irrigation.
1 Slice of Bread	40 liters	Includes water for grain cultivation and bread making processes.
1 Egg	135 liters	Embeds the water required for the production of animal feed crops.
1 Cup of Coffee	140 liters	Exceptionally high footprint due to tropical plantation requirements.
1 Glass of Milk	200 liters	Significant burden due to the high demands of dairy livestock farming.
1 Burger	2,400 liters	Extreme burden. Beef production is the most water-intensive globally.

2.4 Root Causes Across the Value Chain

The primary and secondary causes of food waste differentiate significantly depending on the respective stage of the supply chain, a fact that requires specialized managerial interventions. At the primary production stage, losses are mainly due to unpredictable climatic conditions, crop diseases, and, most importantly, strict aesthetic rejection criteria (unacceptable shape, size, or blemishes) imposed by major retail chains. In industrial processing and distribution, the problem arises from technical failures in quality control, mechanical breakdowns, and poor refrigeration conditions during transport (breakage of the cold chain). At the level of retail trade and mass catering, waste is caused by systematic over-ordering, incorrect forecasting of consumer demand, inability to timely promote products approaching their expiration date, as well as the use of outdated buffet models in hotels, which produce huge amounts of leftovers daily. Finally, at the household level, impulsive purchases under the regime of offers, poor planning of weekly meals, incorrect storage inside the refrigerator, and widespread confusion between the indications 'use by' (which concerns safety) and 'best before' (which concerns quality) lead to the unjustified disposal of large quantities of perfectly safe food. In a deeper organizational level, the root causes are found in the total lack of modern, automated inventory management systems and the absence of appropriate digital collaboration tools.

The 'Food Save Profit' Digital Platform

3.1 Platform Design and Two-Sided Marketplace Business Model

The proposed digital application and integrated platform under the commercial name 'Food Save Profit' constitutes an innovative, strictly for-profit business proposal, which was designed with the purpose of converting the major environmental and social problem of food waste into an exceptionally lucrative activity for the Greek market. The business model of the company is fully rooted in the modern economic theory of two-sided digital marketplaces, acting as the ultimate connecting link between the business world (B2B) and the final consumer public (B2C). The platform allows a wide range of

contracted businesses, such as large supermarket chains, local bakeries, pastry shops, restaurants, cafes, and hotel units, to digitalize and instantly post on the application food inventories that are either approaching their expiration date or constitute surpluses of their daily production, disposing of them with a significant discount ranging from 50% to 70% of the original retail price.

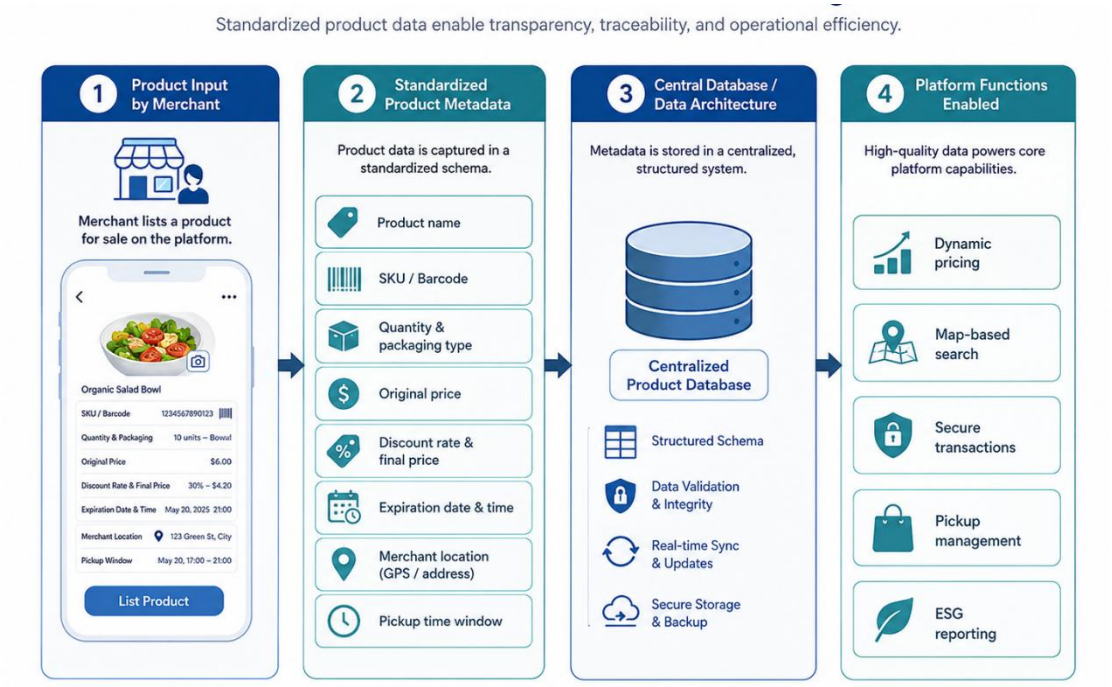
In implementing the strategies detailed in the platform design and two-sided marketplace business model, corporate administrators must carefully align operational benchmarks with structural capacities. Quantitative modeling suggests that a failure to synchronize these elements can result in transactional drop-offs. Therefore, the design parameters of 'FoodSave Profit' have been rigorously calibrated against empirical data from the domestic Greek retail market. This ensures that the technical protocols, marketing rollouts, and customer acquisition channels operate in absolute strategic alignment, driving maximum localized platform density and solidifying competitive positioning.

Furthermore, the microeconomic implications of this platform layout point to a significant reduction in structural deadweight loss. By establishing an active clearinghouse for secondary food assets, the platform introduces liquidity into an illiquid market segment, generating net positive externalities for both local municipal frameworks and commercial consortiums alike.

3.2 System Description and Data Architecture

To ensure operational precision, data synchronization, and absolute transparency between merchants and buyers, the platform requires a comprehensive and standardized dataset schema for every single item listed. The registration of products does not rely on vague descriptions, but on strict inventory metadata. When an item is listed, the following explicit data fields are securely logged into the centralized database:

- Product Name & Identification: The commercial title and SKU/barcode of the food product.
- Quantity & Packaging Type: The exact batch size, weight, or available units (e.g., 5 portions, 3 kg).
- Original Retail Price: The initial baseline market value before any dynamic markdown is applied.
- Discount Rate & Final Price: The markdown percentage applied dynamically or manually by the merchant.
- Expiration Date & Time (Timestamp): Precise logging of when the product officially reaches its safety or quality threshold.
- Merchant Location (Geospatial Data): Exact GPS coordinates and physical address of the retail branch holding the stock.
- Pickup Time Window: The strict, pre-defined operational hours during which the final consumer is allowed to retrieve the purchased 'Surprise Bag' or item.

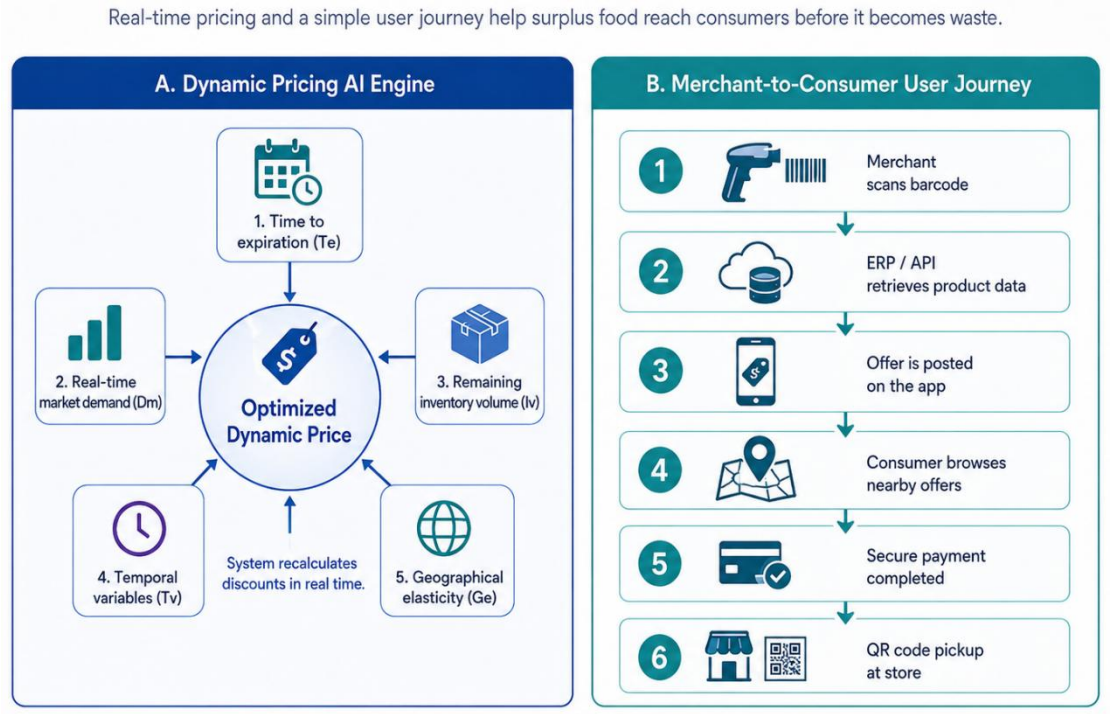


3.3 The Dynamic Pricing AI Algorithmic Framework

The core intellectual property of 'Food Save Profit' is its proprietary Dynamic Pricing Artificial Intelligence (AI) Algorithm. Instead of static, flat discounting models, the platform utilizes machine learning models to maximize the probability of transaction completion before the product's terminal waste state is reached. The algorithm constantly recalculates prices in real- time by processing five fundamental vectors of active data:

Optimal Discount = f (Time To Expiration, Local Demand Density, Current Time Factors, Inventory Volume, Geographical Elasticity)

- Time to Expiration (Te): The primary variable. As the remaining safe shelf-life diminishes, the algorithm automatically scales up the discount percentage systematically to catalyze consumer interest.
- Real-Time Market Demand (Dm): Active evaluation of consumer app-opens, search terms, and historical purchase speed within that exact product category in the local market.
- Temporal Variables (Tv): The specific time of day relative to the merchant’s closing hour. If a bakery has surplus goods at 20:00 and closes at 21:00, the algorithm triggers aggressive micro-markdowns to clear stock instantly.
- Remaining Inventory Volume (Iv): The scale of total active surplus. Higher volumes of identical items prompt accelerated discounting curves to facilitate bulk clearances.
- Geographical/Regional Elasticity (Ge): Differentiation of purchasing patterns based on localized purchasing power, density of competing merchants, and demographic sensitivities in different urban zones of Athens and Thessaloniki.



3.4 Operational Mechanics and the Seamless End-User Journey

The functional structure of the application and the 'User Journey' have been studied and designed with the absolute objective of simplicity, speed, and minimization of required engagement time, so that the smooth daily operation of the shops is not disrupted. For the business side (Merchant), the process of posting a deal is a matter of a few seconds: the employee uses the camera of a smartphone or tablet to scan the barcode of the product that is about to become surplus. The application, through an advanced application programming interface (API), automatically retrieves all necessary data (name, category, initial price) from the existing Enterprise Resource Planning (ERP) system of the shop and instantly publishes the offer in the digital space.From the side of the final consumer (Consumer), the user experience is highly intuitive and is based on an interactive digital map that operates in real time based on the GPS signal of their mobile device. The user can instantly locate all available food offers in close proximity to their current location, apply specialized filters depending on their dietary preferences (e.g., vegan, gluten-free), complete the payment electronically and with absolute security through the application (integrating Apple Pay, Google Pay, and credit/debit cards), and, finally, pick up their package ('Surprise Bag') directly from the shop during a predetermined time window, simply by displaying a unique QR code on their mobile screen. This completely friction-free check-out process maximizes user retention rates and builds brand loyalty among tech-savvy, eco-conscious demographics.

3.5 The Role of the Platform Administrator

The integrity, reliability, and smooth technical execution of the two-sided marketplace depend fundamentally on the operational supervision of the Platform Administrator. Rather than acting as a passive host, the administrator handles active regulatory governance, risk mitigation, and systemic balance through five main pillars:

- Merchant Vetting & Corporate Onboarding: Verification of business tax registration credentials, legal licenses, and structural compliance with national food safety guidelines before permitting store listings.

- Transaction Oversight & Escrow Management: Monitoring payment flows, managing the digital split-fee distribution (retaining the 15% platform commission and releasing the remaining 85% to merchants), and overseeing financial reconciliations.
- Customer Support & Dispute Resolution: Direct administration of consumer complaints, dealing with instances where a 'Surprise Bag' did not meet quality baselines, and handling refund processing workflows.
- Quality Control Audits & Rating Governance: Tracking merchant performance via user-generated feedback, monitoring high cancellation rates by stores, and freezing rogue accounts that attempt to distribute expired or substandard food.
- Analytics Generation & ESG Reporting: Reviewing system performance logs, optimizing server scaling parameters, and generating certified corporate 'Green Entrepreneurship' data reports regarding carbon/water footprints for enterprise partners.

3.6 Revenue Optimization and Sustainable Monetization Streams

The economic viability and high profitability of the platform are secured through three distinctand stable revenue streams: first, through the collection of a fixed commission amounting to 15% on the total value of each executed transaction (Transaction Fee); second, through a monthly subscription model (SaaS B2B Subscription) for businesses that desire access to advanced business intelligence tools (advanced analytics); and third, through small premium charges to consumers who desire privileged, early access to the most popular deals of the day. This multi-tiered monetization strategy ensures robust free cash flow generation while maintaining low operational friction for supply partners. By diversifying income sources, 'Food Save Profit' reduces its dependence on single-market transactional volume fluctuations, shielding the corporate entity from broader macroeconomic volatility and cyclical market contractions in the Greek food and hospitality sectors.

3.7 Technological Architecture, Cloud Infrastructure, and Scalability

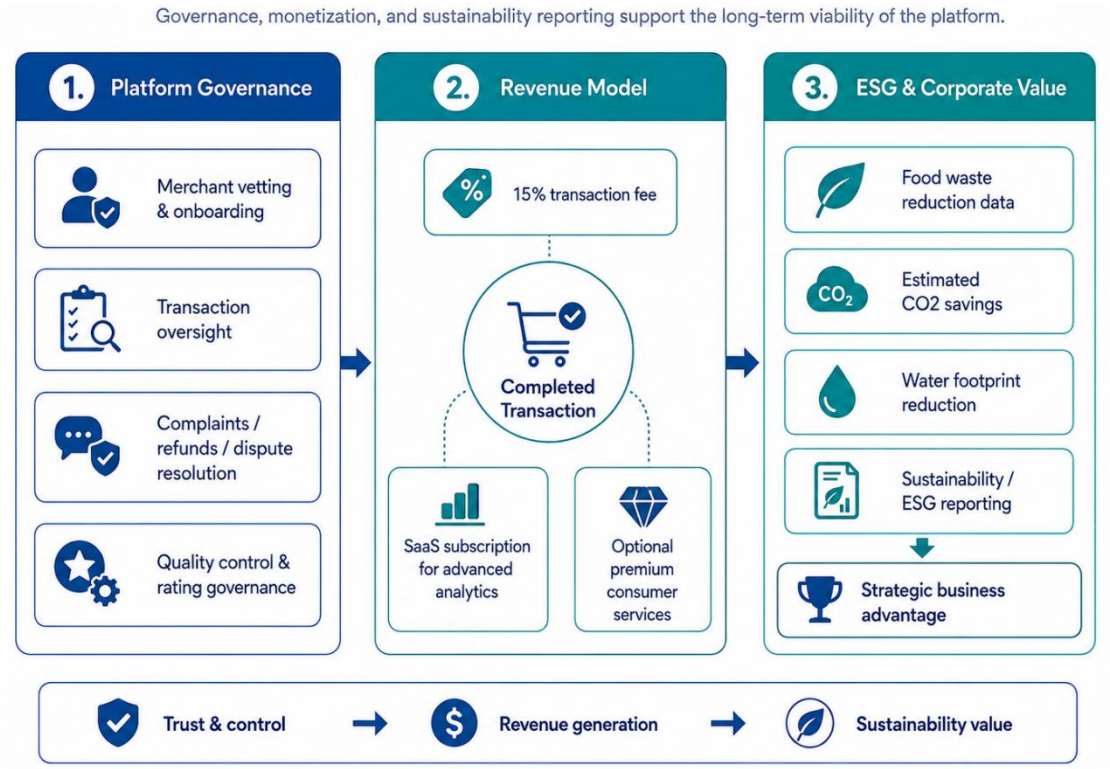
The technological architecture of the platform relies exclusively on leading, scalable cloud computing infrastructures (such as AWS and Google Cloud Platform), adopting a modern microservices architecture that ensures the stable and seamless operation of the system even under conditions of extreme load or simultaneous use by hundreds of thousands of users.Concurrently, an advanced recommendation engine undertakes the sending of targeted notifications (personalized push notifications) to consumers based on their purchase history, while the fully automated, bi-directional connection with the inventory management systems of large retail chains eliminates the need for any manual entry or administrative burden on behalf of the supermarket staff. This high degree of technical interoperability represents a structural barrier to entry for potential competitors. By deeply integrating into the merchant's operational software, 'Food Save Profit' locks in commercial supply partnerships, creating an integrated ecosystem that functions passively and efficiently in the background of standard retail workflows.

3.8 Go-To-Market Strategy and Geographic Penetration

The market penetration strategy (Go-To-Market Strategy) has been designed to be applied progressively, focusing during the first phase of implementation on the large urban centers of the country (Athens and Thessaloniki), where the density of shops and the size of the consumer public guarantee the rapid achievement of the necessary economies of scale. Businesses are approached through a specialized B2B sales team, which bases its argumentation on the clear, measurable financial benefit: the immediate recovery of the purchase cost of raw materials, the drastic reduction of corporate expenses related to waste collection and management, as well as the attraction of an entirely new, dynamic buying public within their physical stores. At the same time, the targeting of consumers is carried out through aggressive digital marketing campaigns on popular social media (Instagram, TikTok, YouTube), projecting the concept of 'Smart Shopping', meaning the smart saving of money in an era of intense inflationary pressures.

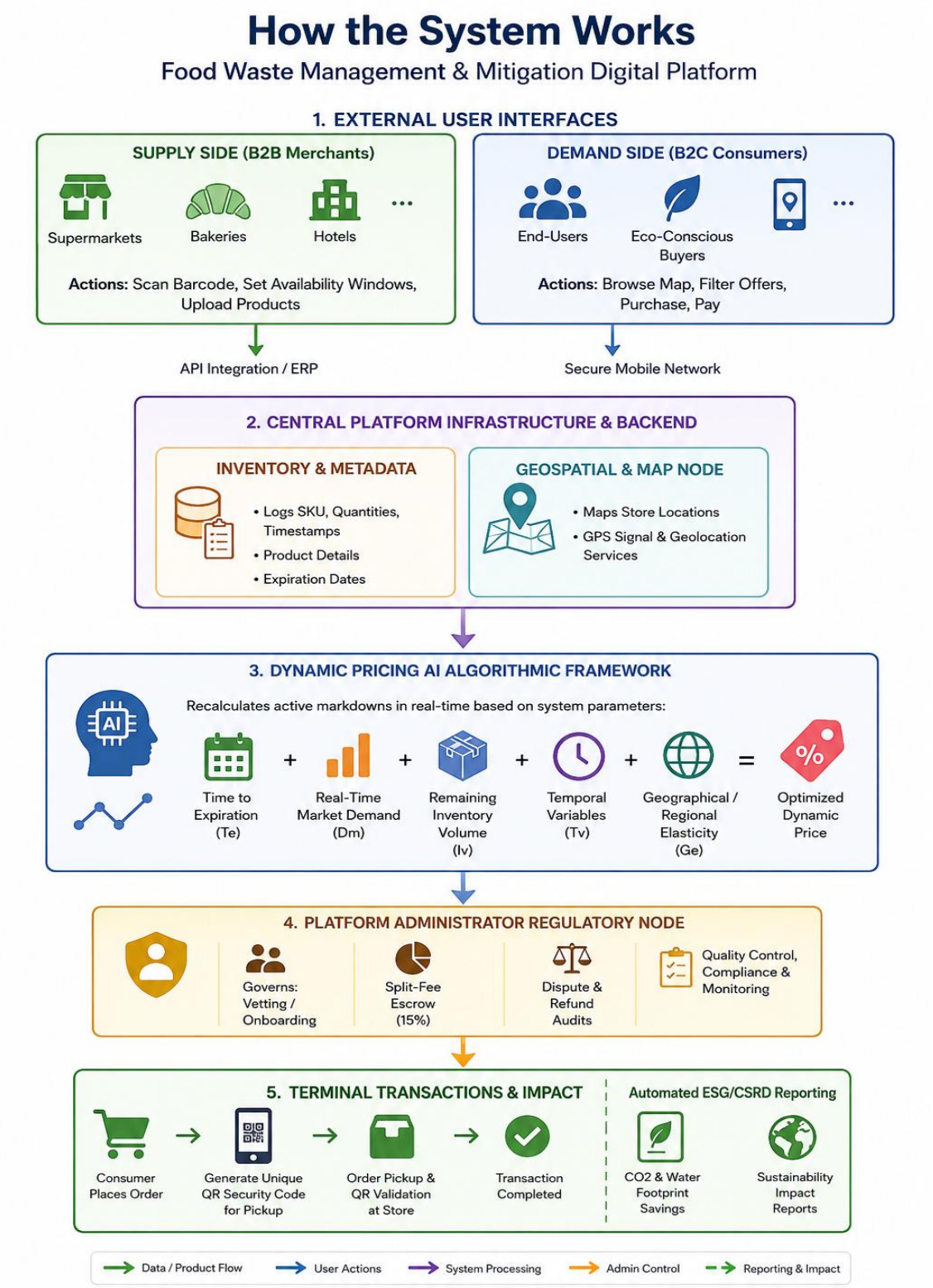
3.9 ESG Integration, Corporate Image, and Regulatory Compliance

Additionally, the platform integrates a strong ESG (Environmental, Social, and Governance) dimension, providing contracted businesses with official, digitally signed 'Green Entrepreneurship' certificates and detailed reports regarding the specific reduction in CO2 emissions and water footprint they achieved through the application. These data are valuable for modern companies, as they help them fulfill strict European regulatory requirements (such as the CSRD directive), converting a hitherto costly waste management process into a powerful competitive advantage of corporate image and public relations. By transforming environmental compliance from a legal obligation into an active marketing tool, 'Food Save Profit' establishes itself as an indispensable strategic asset for modern corporate boards operating within the Hellenic Republic.



3.10 Platform Structural Architecture Map

To visually synthesize the technical and operational mechanics of the 'Food Save Profit' ecosystem, the comprehensive structural map below details the interactive flows between external entities and the core centralized system nodes managed by the Platform Administrator.


How the System Works
Food Waste Management & Mitigation Digital Platform
1. EXTERNAL USER INTERFACES
SUPPLY SIDE (B2B Merchants)
Supermarkets
Bakeries
Hotels
Actions: Scan Barcode, Set Availability Windows, Upload Products
DEMAND SIDE (B2C Consumers)
End-Users
Eco-Conscious Buyers
Actions: Browse Map, Filter Offers, Purchase, Pay
API Integration / ERP
Secure Mobile Network
2. CENTRAL PLATFORM INFRASTRUCTURE & BACKEND
INVENTORY & METADATA
• Logs SKU, Quantities, Timestamps
• Product Details
• Expiration Dates
GEOSPATIAL & MAP NODE
• Maps Store Locations
• GPS Signal & Geolocation Services
3. DYNAMIC PRICING AI ALGORITHMIC FRAMEWORK
AI
Recalculates active markdowns in real-time based on system parameters:
Time to Expiration (Te)
Real-Time Market Demand (Dm)
Remaining Inventory Volume (Iv)
Temporal Variables (Tv)
Geographical / Regional Elasticity (Ge)
Optimized Dynamic Price
4. PLATFORM ADMINISTRATOR REGULATORY NODE
Governs: Vetting / Onboarding
Split-Fee Escrow (15%)
Dispute & Refund Audits
Quality Control, Compliance & Monitoring
5. TERMINAL TRANSACTIONS & IMPACT
Consumer Places Order
Generate Unique QR Security Code for Pickup
Order Pickup & QR Validation at Store
Transaction Completed
Automated ESG/CSRD Reporting
CO2 & Water Footprint Savings
Sustainability Impact Reports
Data / Product Flow
User Actions
System Processing
Admin Control
Reporting & Impact

Conclusions

Food waste constitutes unarguably one of the most glaring and multi-layered failures of the contemporary global market, reflecting profound organizational, administrative, and technological deficiencies in the management of the international supply chain.

As documented extensively in this study, this issue must not be approached narrowly and exclusively as a moral or humanitarian problem, but as an enormous, systematic economic wound for businesses and as a megaton environmental bomb, which is directly responsible for 8% to 10% of total global greenhouse gas emissions.

In the case of Greece, the need for an immediate, drastic, and institutional intervention appears even more urgent and imperative. The fact that our country records one of the worst and most disappointing performances in the entire European Union, with 142 kilograms of discarded food per capita annually, makes clear that traditional, analog management models have failed definitively and the adoption of advanced digital solutions constitutes now a one-way street for the sustainability of the sector.

The introduction and practical application of New Information Technologies through the proposed for-profit platform 'FoodSave Profit' proves roundly that the solution of major environmental challenges can be achieved with incomparably greater speed and efficiency when it aligns fully with the harsh rules of the free market and the fundamental motive of business profit. The proposed business model of the application manages to subvert the traditional paradigm, converting waste management from a costly, bureaucratic burden into an entirely new, dynamic, and highly efficient source of revenue for businesses, while offering a substantial economic relief solution for consumers.

The strategic use of artificial intelligence algorithms for dynamic pricing and the bi-directional, automated interconnection of ERP systems allow the fully automated operation of the system, eliminating traditional bureaucratic constraints and offering an ideal win-win solution for the economy and the environment.

The long-term success and wide expansion of such an innovative technological enterprise in the Greek territory presupposes the forging of a close, strategic cooperation between the private sector, the academic community, and the competent institutional bodies of the state.The top management of Greek food companies must definitively overcome the obsolete, conservative culture that views operational losses and inventory waste as a supposedly inevitable and 'normal' part of daily business activity, and invest decisively in modern, digital inventory management tools.

The platform 'FoodSave Profit' does not aspire to be simply another commercial application for mobile phones, but a powerful tool for structural change of mindset, which has the power to educate the Greek market and society in the principles of responsible consumption, while offering high and guaranteed financial returns to the investors who will trust it.

In conclusion, achieving the ambitious goal of the United Nations to reduce global food waste by half by the milestone year 2030 is absolutely feasible and realizable through the proper utilization of cutting-edge technology and modern, responsible entrepreneurship. 'Food Save Profit' offers a clear, completely realistic, technologically sound, and highly profitable roadmap for the digital transformation of the Greek food market. This work highlights in the most categorical way that the future of the science of Business Administration lies in the creation of innovative solutions that have the ability to combine economic prosperity and growth with the strict preservation of the finite natural resources of our planet, proving that sustainability and profitability are not only not incompatible concepts, but constitute the two sides of the exact same coin.

REFERENCES

European Commission. (2024a). EU actions against food waste and the Food Loss and Waste Prevention Hub. European Food Safety Authority Hub.

European Commission. (2024b). EU policies and actions against food waste: Strategic and legislative framework for sustainable development. Directorate-General for Health and Food Safety.

Eurostat. (2023a). Food waste indicators for primary production, manufacture, retail, restaurants, and households in the European Union [Online statistical database, dataset code: env_wasfw].

Eurostat. (2023b). Food waste statistical data in the European Union and Greece [Online statistical database, data code: env_wasfw]. Publications Office of the European Union.

Food and Agriculture Organization. (2022a). Life cycle analysis and the water footprint of agricultural products in Europe. FAO Information Office.

Food and Agriculture Organization. (2022b). The food supply chain (FSC): Simplified steps, handling practices, and associated value chains [Online course]. FAO eLearning Academy.

Dimitrios Nentas, Sotirios Petropoulos, Klimis Ntalianis, Nikolaos Mastorakis, "The Cost of Providing Meals in Greek Non-Profit Organizations: Evidence from Soup Kitchens and Residential Care Facilities," WSEAS Transactions on Business and Economics, vol. 22, pp. 2884-2892, 2025, https://doi.org/10.37394/23207.2025.22.227.

Nentas, D., & Ntalianis, K. (2025). Food insecurity in Greece: Eurostat trends and evidence from a national soup kitchen survey. In Y. Sert, A. Dağdeviren, & S. Seydoşoğlu (Eds.), Conference proceeding book (abstracts & full texts) of the 11th International Congress on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies - XI (pp. 1247–1257). Liberty Academic Publishers. https://www.izdas.org/_files/ugd/614b1f_200cdbb2478f45b999ed5104edab9321.pdf Accessed February 18, 2026.

Kouremenos, D., Ntalianis, K., & Mastorakis, N. E. (2025). Bridging accessibility, innovation, and multimodal AI for inclusive tourism education. WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education, 22, 33–40. https://doi.org/10.37394/232010.2025.22.4.

Yfantis, V., Kavoura, A., & Ntalianis, K. (2025). Business digital twin—A crucial tool for the public sector during human-made disasters. In Strategic Innovative Marketing and Tourism (pp. 29–35). Springer.

Psaraftis, K., Ntalianis, K., & Mastorakis, N. (2024). Dynamic carpool matching for employees: Leveraging telematics and user preferences. WSEAS Transactions on Business and Economics, 21, 2717–2735. https://doi.org/10.37394/23207.2024.21.222

Anagnostopoulos, T., Ploumis, M., Psarras, A., Komisopoulos, F., Salmon, I., Ntalianis, K., & Ramson, S. R. J. (2023). Sustainable supply chain management of COVID-19 vaccines for vaccination delivery based on routing algorithms. WSEAS Transactions on Business and Economics, 20, 2587–2601. https://doi.org/10.37394/23207.2023.20.221

Yfantis, V., & Ntalianis, K. (2022). A blockchain platform for teaching services among the students. WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education, 19, 141–146. https://doi.org/10.37394/232010.2022.19.15

GLOBAL STEEL DEMAND IN 2026-2027 – ECONOMIC APPROACHES

Oana Chindriș-Văsioiu

Romanian Academy, Institute for World Economy, Bucharest, Romania.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5987-3792

ABSTRACT

This article examines the outlook for global steel demand in 2026-2027 from an economic perspective, highlighting the main regional trends, the determinants of consumption, and the risks that may influence the dynamics of the global steel market. After a period marked by structural adjustments, a slowdown in industrial activity, and pressures generated by energy costs, global steel demand is expected to enter a phase of gradual recovery. However, this evolution is not uniform across regions. China is undergoing a phase of demand stabilization and maturation, driven mainly by the correction of the real estate sector and the reorientation of its economic model towards higher value-added industries. By contrast, India and some African economies are consolidating their role as emerging growth poles, supported by urbanization, infrastructure investment, and the expansion of industrial capacity.

In developed economies, including the European Union and the United States, demand is expected to recover moderately, influenced by public investment, the energy transition, infrastructure spending, and general macroeconomic conditions. The article emphasizes that the outlook for 2026-2027 remains conditioned by significant risks, such as energy price volatility, geopolitical tensions, global production overcapacity, the fragmentation of international trade, and the persistence of restrictive financial conditions. The main conclusion is that the global steel market is entering a phase of slow growth, differentiated by region and dependent on the ability of economies to support productive and infrastructure-related investment.

Keywords: Steel demand, Global steel market, China, India, European Union, United States.

INTRODUCTION

Steel represents one of the fundamental resources of the global economy, playing an essential role in the development of infrastructure, the construction industry, the automotive sector, equipment manufacturing, energy, and transport. For this reason, the evolution of global steel demand directly reflects the dynamics of international economic activity, the level of investment, and the structural transformations taking place in the main industrial regions.

During the 2026–2027 period, global steel demand is shaped within a complex economic environment, marked by moderate growth rates, inflationary pressures, high energy costs, geopolitical tensions, and changes in international supply chains. According to the World Steel Association, global steel demand is estimated to record limited growth in 2026, followed by an acceleration in 2027, indicating a possible gradual recovery in industrial consumption.

The economic analysis of steel demand is relevant because this sector is strongly influenced by GDP dynamics, public and private investment, urbanization, infrastructure development, and the transition toward low-carbon technologies. At the same time, the global market is facing the issue of production overcapacity, with the OECD pointing out that the expansion of global capacities may continue to exert pressure on prices, profitability, and the competitiveness of the steel industry.

This paper aims to analyze global steel demand during the 2026–2027 period from an economic perspective, focusing on the main factors influencing consumption, regional differences, the relationship between demand and production capacity, as well as the impact of the green transition on the industry. Through this approach, the study highlights the importance of steel as an indicator of global economic

development and as a strategic sector located at the intersection of economic growth, industrial competitiveness, and sustainability.

CHAPTERS 1 - THE GLOBAL ECONOMİC CONTEXT OF STEEL DEMAND

Steel is one of the most important materials used in the global economy, being present in numerous sectors of activity, ranging from construction and infrastructure to the automotive, energy, shipbuilding, and industrial equipment manufacturing industries. For this reason, steel demand is regarded as a relevant indicator of global economic activity, as its evolution reflects the level of investment, the pace of industrialization, and the capacity of states to support medium- and long-term development projects.

During the 2026–2027 period, global steel demand must be analyzed within an economic context characterized by uncertainty, structural transformations, and adaptation to the new conditions of the international economy. After several years marked by successive crises, such as the pandemic, geopolitical tensions, rising energy prices, and changes in supply chains, the steel industry is undergoing a phase of readjustment. This period is important because it may indicate the direction of global steel consumption: either toward a moderate recovery supported by investment and infrastructure, or toward slow growth influenced by economic and commercial pressures.

One of the main factors influencing global steel demand is the pace of economic growth. When the world economy records positive development, investment in construction, transport, energy, and industry tends to increase, leading to higher steel consumption. Conversely, during periods of economic slowdown, demand may decline, as large investment projects are postponed, financing costs increase, and companies become more cautious about expanding production capacities.

In this regard, the 2026–2027 period may be viewed as one of fragile equilibrium. On the one hand, there are prospects for the revival of public and private investment, particularly in infrastructure, green energy, and industrial modernization. On the other hand, inflation, high interest rates, public debt, and geopolitical instability may limit the pace of growth in demand. Thus, steel demand will largely depend on the ability of major economies to maintain investment and stimulate industrial activity.

Emerging economies play an essential role in the evolution of global demand. Countries in Asia, Africa, the Middle East, and Latin America continue to require significant quantities of steel for the construction of roads, bridges, housing, railways, ports, airports, and energy infrastructure. Urbanization remains an important driver of steel consumption, as urban development involves continuous investment in buildings, transport networks, water supply, sewerage, and energy systems.

Asia remains the leading steel-consuming region worldwide, due to the size of its economies and its high level of industrial activity. China plays a major role in this market; however, its evolution is influenced by transformations in the real estate sector, government policies, and the shift toward an economic model less dependent on large-scale construction investment. At the same time, India is emerging as an important center of growth in steel demand, supported by infrastructure development, urban expansion, and the increase in industrial production.

Developed economies, such as those in Europe, North America, and Japan, contribute to global steel demand mainly through the modernization of existing infrastructure and investment in new technologies. In these regions, steel consumption is not primarily driven by accelerated industrialization, but rather by the replacement of aging infrastructure, the expansion of energy networks, the development of rail transport, automotive production, and the transition toward a low-carbon economy (Klimek, Fooladi, 2026).

In Europe, steel demand is influenced by climate policies, high energy costs, and industrial competitiveness. The European steel industry is under pressure to reduce carbon emissions and adapt to increasingly stringent environmental standards. These changes may lead to significant investment in green technologies, but they may also increase production costs, affecting competitiveness compared to other regions. At the same time, European infrastructure, renewable energy, and industrial modernization projects can support steady demand for steel.

North America may also play a relevant role in demand dynamics through investment programs in infrastructure, industrial production, and energy. The relocation of certain supply chains and the shift toward regional production may stimulate steel demand, particularly in industrial construction, equipment, and transport. However, interest rate levels, labor costs, and trade policies may influence the pace of these investments.

Another important element of the global economic context is represented by the costs of raw materials and energy. Steel production depends on resources such as iron ore, coking coal, scrap metal, natural gas, and electricity. Rising prices for these inputs may affect production costs and influence the final price of steel. If prices are too high, some companies may reduce investment or postpone projects, leading to a decline in demand (International Energy Agency, 2026).

Energy is of particular importance to the steel industry, as steel production is a highly energy-intensive process. Regions where energy costs are high may face difficulties in maintaining competitiveness, while countries with access to cheaper energy may benefit from advantages in production and exports. During the 2026–2027 period, the evolution of energy prices will influence both producers' ability to supply steel at competitive prices and industrial consumers' willingness to initiate new projects.

Geopolitical tensions represent another factor that may alter steel demand and supply. Regional conflicts, economic sanctions, trade restrictions, and political instability can affect international flows of raw materials and steel products. In a globalized market, disruptions in supply chains may generate price increases, delivery delays, and a reorientation of trade toward alternative sources.

Trade policies also have a significant influence on the steel market. Many countries apply anti-dumping duties, import quotas, or protective measures in order to support domestic producers. These policies may reduce external competition, but they can also lead to higher prices for local consumers. During the 2026–2027 period, steel demand will be influenced not only by the real needs of economies, but also by the way in which states regulate international trade in steel products.

A major issue facing the global steel industry is production overcapacity. When production capacity exceeds actual demand, pressure emerges on prices and corporate profitability. Producers may be forced to lower prices in order to maintain their market share, which affects investment and the financial stability of the sector. At the same time, overcapacity may generate trade conflicts, as some countries may export surplus steel at prices considered unfair by other markets.

During the period analyzed, the green transition will have an increasing impact on the steel industry. Steel is indispensable for the development of renewable energy infrastructure, such as wind turbines, solar panels, electricity grids, and hydrogen facilities. At the same time, steel production is responsible for significant carbon dioxide emissions, which creates pressure for the adoption of cleaner technologies. Thus, the energy transition may have a dual effect: it increases demand for certain steel products, while also imposing additional costs on producers.

Digitalization and automation also contribute to changes in the structure of demand. Modern industry requires steels with special properties, which are stronger, lighter, and better adapted to advanced technological applications. Demand is no longer related only to quantity, but also to quality, performance, and sustainability. This shift may benefit producers that invest in innovation and in high value-added products.

Therefore, the global economic context of steel demand during the 2026–2027 period is defined by the interaction between economic growth, infrastructure investment, urbanization, energy costs, trade policies, geopolitical tensions, and the green transition. Global steel demand will continue to depend on the evolution of major economies, as well as on the industry's capacity to adapt to new requirements of sustainability and competitiveness. Thus, the 2026–2027 period may be regarded as one of adjustment and transformation, in which steel maintains its strategic role in the global economy, but within a more complex and demanding economic framework.

CHAPTER 2 - DETERMİNANTS AND TRENDS İN GLOBAL STEEL DEMAND

The World Steel Association forecasts a gradual resumption of growth in global steel demand during the 2026–2027 period, after several years marked by structural adjustments, sectoral pressures, and geopolitical volatility. According to the short-term outlook, global steel demand is expected to increase by 0.3% in 2026, reaching 1,724 million tonnes, followed by an acceleration of 2.2% in 2027, reaching 1,762 million tonnes (The World Steel Association, 2026).

The projected evolution indicates a transition from stagnation and moderate contraction toward a more visible recovery phase, supported by differentiated regional dynamics. In China, negative pressures on demand are expected to ease in 2026, amid the real estate sector's gradual approach toward a stabilization point. At the same time, emerging markets, particularly India, continue to support global growth through investment in infrastructure, construction, and steel-intensive industrial sectors.

An important risk factor is the conflict in the Middle East, which could lead to a significant reduction in regional steel demand in 2026. In the absence of a prolonged escalation of geopolitical tensions, the effects on the main steel-consuming economies could remain limited. However, the persistence of the conflict beyond the second quarter would require downward revisions of forecasts, especially for economies with a high dependence on energy.

In developed economies, the outlook points to a gradual recovery in demand after a prolonged period of decline. Developed economies are expected to record growth of 1.0% in 2026 and 2.3% in 2027. Nevertheless, the level of demand remains below the values recorded before the recent crises, with the 2025 market standing approximately 60 million tonnes, or 15%, below the levels of 2017 of 2017 2018. Therefore, a full return to historically high volumes is expected to be a lengthy process (The World Steel Association, 2026).

In the European Union and the United Kingdom, steel demand is forecast to increase by 1.3% in 2026 and by 3.0% in 2027. This development is supported by higher expenditure on infrastructure and defense, as well as by improved macroeconomic conditions, including rising real household incomes. However, high exposure to energy prices remains a vulnerability factor for the regional industry. In 2027, steel demand in the EU is expected to continue its recovery process, although its pace will depend on the evolution of construction, the automotive industry, capital goods, and manufacturing production. The OECD warns that the global steel market remains characterized by structural imbalances, particularly the expansion of production capacity beyond the level of demand, which may intensify competitive pressures on European producers. Global excess capacity is projected to increase to 745 million tonnes by 2028, approaching the historical levels recorded during previous crises in the steel industry (OECD, 2026).

In the United States, steel demand is estimated to increase by 1.7% in 2026 and by 2.0% in 2027. This expansion will be supported by private investment, public infrastructure spending, and the development of technology sectors. The residential construction sector could contribute to the recovery, amid accumulated demand and the gradual easing of financing conditions. However, U.S. steel demand will remain exposed to significant constraints. Material costs, high mortgage rates, labor shortages in construction, and affordability pressures in the housing market may limit the pace of recovery. In addition, tariff policy may have ambivalent effects: it protects domestic producers and may stimulate the use of American steel, but it also increases costs for steel-consuming sectors, such as construction, agricultural equipment, industrial machinery, and durable goods. Recent tariff changes concerning steel,

aluminum, and copper imports indicate that trade policy will continue to influence prices, trade flows, and investment decisions through 2027 (Anderson, 2026).

China continues to represent a determining factor in the evolution of the global steel market. According to the OECD, China's steel demand declined by 6.9% in 2025, reaching approximately 830.94 million tonnes, while a further contraction of 0.6% is projected for 2026, bringing demand to 826.22 million tonnes. This evolution reflects the persistence of difficulties in the real estate sector and the low level of construction activity. The OECD also estimates that, by 2030, Chinese steel demand will continue to decline gradually, at an average annual rate of approximately -0.3% over the 2025–2030 period, suggesting a prospect of stagnation or slight decline for 2027 as well. The main restrictive factor remains the real estate market. Although the Chinese authorities abandoned the "three red lines" policy in 2026, which had limited borrowing by real estate developers, the effects on steel demand are considered limited, as buyer confidence remains weak, housing prices continue to be under pressure, and construction activity remains subdued (OECD, 2026).

In emerging economies, excluding China, the growth rate of steel demand is estimated to slow to 2.5% in 2026, following annual increases of approximately 5% in previous years. This moderation is mainly explained by the anticipated contraction in the Middle East and by the normalization of demand in ASEAN economies after a period of strong expansion. For 2027, growth is forecast to return to 5.1%, supported by positive dynamics in emerging Asia and Africa, as well as by a potential recovery in the Middle East (The World Steel Association, 2026).

India remains the most dynamic steel market worldwide. Demand is estimated to increase by 7.4% in 2026 and by 9.2% in 2027. This development is driven by infrastructure investment, the expansion of construction, the development of the automotive sector, and rising demand for freight transport. Moreover, the expansion of the railway network, investment in capital goods, and the dynamics of durable consumer goods contribute to strengthening domestic demand. India continues to expand its domestic steel production capacity, while industrial policy aims to reduce dependence on imports. Reuters notes that India aims to reach a crude steel production capacity of 300 million tonnes by 2030–2031, compared with a capacity of nearly 200 million tonnes in the 2024–2025 financial year (Arora, 2026).

Africa is emerging as a growth pole for the global steel market. According to the OECD, steel demand in Africa recorded strong growth in 2025, at 16.1%, while a moderation of the growth rate to 4.4% is expected for 2026. This slowdown does not indicate a deterioration in market fundamentals, but rather a normalization after very high expansion in the previous year and the dependence of demand on large investment projects. The OECD emphasizes that African demand remains positive, although increasingly uneven and influenced by investment cycles and macroeconomic constraints. Steel demand is estimated to advance by 4.6% in 2027, amid accelerated urbanization, investment in critical infrastructure, and processes of economic diversification. These trends suggest an increasing role for Africa in the structure of global steel demand over the medium term (OECD, 2026).

Overall, the 2026–2027 period marks a shift in the geographical structure of global steel demand. Growth is no longer concentrated predominantly in China but becomes increasingly dependent on emerging economies with substantial infrastructure needs and on the gradual recovery of developed economies. This reconfiguration involves a redistribution of growth centers and a change in the typology of demand, moving from steel-intensive real estate construction toward infrastructure, energy, transport, capital goods, and advanced industrial sectors.

However, the outlook remains exposed to significant risks that could weaken the pace and stability of recovery in global steel demand. The escalation of geopolitical tensions may disrupt trade flows, affect access to raw materials, and increase uncertainty for both producers and consumers. At the same time, persistently high energy prices remain a major challenge for the steel industry, given the energy-intensive nature of production processes and the direct impact of energy costs on competitiveness.

Global production overcapacity represents another structural vulnerability. When supply exceeds real demand, downward pressure on prices may intensify, reducing profit margins and limiting the capacity

of producers to invest in modernization, technological upgrading, and decarbonization. This situation may also encourage aggressive export strategies from regions with excess capacity, increasing competitive pressure on markets where producers already face high operating costs.

Moreover, the fragmentation of international trade, through tariffs, import restrictions, protectionist measures, and regional trade barriers, may distort market dynamics and reduce the efficiency of global supply chains. Restrictive financial conditions, including high interest rates and limited access to credit, may further delay investment projects in construction, infrastructure, and industry, thereby limiting steel consumption.

In addition, competitive pressure generated by exports from regions with excess capacity may affect producers' profitability and amplify trade imbalances. These risks suggest that the recovery of global steel demand in 2026–2027 will depend not only on economic growth, but also on the stability of energy markets, the evolution of trade policies, and the ability of the industry to adjust production capacity to actual market needs.

CONCLUSIONS

Global steel demand during the 2026–2027 period directly reflects the evolution of the world economy, being influenced by the pace of investment, infrastructure development, industrial activity, and technological transformations. Steel remains a strategic material, indispensable for sectors such as construction, transport, energy, the automotive industry, and equipment manufacturing.

During the analyzed period, steel demand is marked by a fragile balance between growth drivers and risk factors. On the one hand, urbanization, infrastructure modernization, the expansion of energy networks, and the transition toward renewable energy sources may support steel consumption. On the other hand, high energy costs, inflation, geopolitical tensions, and restrictive trade policies may limit the pace of market growth.

Emerging economies will continue to play an important role in sustaining global demand, particularly through infrastructure, construction, and industrialization projects. At the same time, developed economies will contribute to demand through the modernization of existing infrastructure, investment in green technologies, and the development of high value-added steel products.

An essential aspect is that the steel industry is no longer influenced solely by the quantity demanded on the market, but also by requirements related to sustainability, energy efficiency, and the reduction of carbon emissions. Green transition may generate important opportunities for the sector, but it also entails substantial technological adaptation costs for producers.

Production overcapacity also remains a major challenge at the global level. It may exert pressure on prices, reduce corporate profitability, and intensify trade conflicts between states. For this reason, the balance between demand, supply, and industrial policies will be decisive for the stability of the steel market.

Therefore, the 2026–2027 period may be regarded as a stage of adjustment and transformation for the global steel market. Demand will remain significant; however, its evolution will depend on the ability of economies to sustain investment and on the capacity of the steel industry to adapt to new economic, technological, and environmental requirements. Thus, steel maintains its central role in global economic development, but within an increasingly complex and sustainability-oriented context.

In conclusion, global steel demand during the 2026–2027 period is part of a slow, uneven, and conditional recovery process, shaped by both cyclical economic factors and deeper structural transformations. The anticipated positive evolution suggests a gradual improvement in market conditions, supported by the stabilization of certain mature economies and by the continued dynamism of emerging markets. However, this recovery is not uniform across regions and remains vulnerable to external shocks, including geopolitical instability, high energy costs, restrictive financial conditions, and trade fragmentation.

At the same time, the expected increase in demand does not eliminate the structural vulnerabilities of the global steel industry. Persistent production overcapacity, pressure on profit margins, uneven investment dynamics, and the need for technological modernization continue to affect the sector's long-term stability. In particular, the transition toward low-carbon production models requires substantial capital investment and may reshape competitive relations between producers, depending on their access to energy, technology, raw materials, and financing.

In the medium term, the performance of the global steel market will depend on the capacity of national economies to sustain infrastructure and industrial investment, as well as on the ability of producers to adapt to new competitiveness requirements. Equally important will be the alignment between global production capacity and actual demand, as an excessive supply surplus could intensify price pressures and trade tensions. Therefore, the evolution of steel demand in 2026–2027 should be understood not only as a sign of economic recovery, but also as part of a broader transformation of the global industrial landscape.

REFERENCES

Anderson, M. (2026). *Trump makes changes to steel, aluminum and copper tariffs*. Available online: https://apnews.com/article/trump-tariffs-steel-aluminum-7ca5a76dbe13db7e732fa48462ccde92

Arora, N. (2026). *India confident of achieving steel production target by 2030, official says*. Available online: https://www.reuters.com/world/india/india-confident-achieving-steel-production-target-by-2030-official-says-2025-04-24/

International Energy Agency. (2026). *Iron and steel*. Available online: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap

Klimek, P., Fooladi, J. (2026). *The Steel scrap age: Bridging the quality gap through structural supply chain reorganization.* Available online: https://arxiv.org/abs/2605.28178

OECD. (2026). *OECD steel outlook 2026*. Available online: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-steel-outlook-2026_99ab9b0c-en.html

The World Steel Association. (2026). *Worldsteel short range outlook april 2026.* Available online: https://worldsteel.org/media/press-releases/2026/worldsteel-short-range-outlook-april-2026/

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

METHODOLOGICAL APPROACHES TO MEASURING ENERGY EFFICIENCY: A FOCUS ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Pegah Ghorbanpour

PhD student in Development Economics, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-5863-3761

Mohammad Mahdi Barghi Osqouei

Full Professor, Economics Dept, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5750-0482

ABSTRACT

Accurately measuring energy efficiency is a precondition for designing effective policies in the fields of energy, environment, and economic development. Traditional indicators such as energy intensity (energy use per unit of GDP) are widely used in empirical and policy analyses, yet they conflate structural, technological, and behavioral effects and do not provide a clear notion of an efficiency frontier. This paper offers a methodological review of approaches to measuring energy efficiency, with particular emphasis on frontier-based techniques and Data Envelopment Analysis (DEA).

First, the paper clarifies the conceptual distinction between energy intensity and energy efficiency, and reviews common indicator families, including thermodynamic, physical–thermodynamic, and economic–thermodynamic measures. Second, it introduces frontier methods, contrasting parametric approaches such as Stochastic Frontier Analysis with non-parametric DEA. The core of the paper presents DEA as a flexible multi-input–multi-output framework for assessing energy–economic performance across countries, sectors, or firms. Within this framework, the paper discusses, in a general way, both single-input models that treat energy as the only input and broader multi-input specifications in which energy is combined with other relevant production factors (e.g. labour, capital, or technological variables), depending on the empirical context.The paper concludes with a methodological discussion of the advantages, limitations, and recent extensions of DEA in energy efficiency studies, and outlines directions for future empirical research, including applications to emerging economies and the integration of environmental performance indicators.

Keywords: Energy efficiency, Energy intensity, Data Envelopment Analysis (DEA), Methodological review

INTRODUCTION

Energy efficiency is a core concept in energy economics, environmental policy, and development studies, with direct analytical and policy relevance. Improving energy efficiency is associated not only with mitigating environmental impacts (including CO_2 emissions) but also with industrial competitiveness and energy security (Alsahlawi, 2013). Yet a persistent challenge is how to define and measure "energy efficiency" in a consistent and policy-relevant manner, because alternative conceptualizations naturally imply different indicators and empirical strategies (Patterson, 1996; Alsahlawi, 2013).

In empirical work, energy intensity (energy use per unit of GDP) remains a widely used proxy due to its simplicity and ease of comparison across countries and sectors (Patterson, 1996; Alsahlawi, 2013). However, energy intensity does not provide a frontier-based notion of efficiency and may reflect a mixture of structural change, input substitution, and compositional shifts rather than technical efficiency alone (Patterson, 1996; Alsahlawi, 2013). These limitations have motivated the use of frontier

approaches, which benchmark performance against best observed practice and quantify how far decision-making units (DMUs)—such as countries, sectors, or firms—are from that benchmark (Farrell, 1957).

Among frontier-based methods, Data Envelopment Analysis (DEA) has gained a prominent role in energy-efficiency assessment. DEA is a non-parametric, linear-programming-based technique that is particularly attractive when multiple inputs and outputs are relevant and when researchers wish to avoid imposing a specific functional form (Charnes et al., 1978; Alsahlawi, 2013). At the same time, DEA-based measures are well known to be specification-dependent: interpretation hinges on key modeling choices, including the definition of the input–output set, orientation, and assumptions about returns to scale (Banker et al., 1984; Zhou et al., 2008).

Throughout this paper, it is important to distinguish between related but conceptually different constructs. Energy-use efficiency focuses on the ability to reduce energy input for a given level of economic output, and it is most closely aligned with energy-only DEA specifications. By contrast, total-factor energy efficiency (TFEE) evaluates energy performance within a broader production setting where energy is considered jointly with other inputs such as capital and labor; consequently, TFEE-type measures may reflect broader factor-use efficiency rather than energy performance alone. Finally, when environmental variables such as CO_2 emissions are incorporated as undesirable outputs, the resulting index is more appropriately interpreted as eco-efficiency (or energy–environment performance) rather than energy efficiency per se. This conceptual distinction is used to guide specification choices and to avoid interpretive ambiguity in DEA-based measures.

Against this background, this paper offers a methodological review of energy-efficiency measurement with particular emphasis on DEA. The contribution is to structure the main specification choices used in DEA-based energy-efficiency studies, clarify their conceptual meanings and interpretive implications, and summarize common pitfalls that affect comparability across studies. The paper first distinguishes energy intensity from frontier-defined efficiency and reviews major families of indicators (Patterson, 1996; Alsahlawi, 2013). It then situates frontier methods relative to simple indicators and briefly contrasts parametric approaches (e.g., stochastic frontier analysis) with non-parametric DEA (Aigner et al., 1977; Meeusen & van den Broeck, 1977). The core sections present two canonical DEA specifications frequently used in the literature—energy-only and production-based—and discuss how orientation and returns-to-scale assumptions affect interpretation (Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984; Alsahlawi, 2013). The paper concludes with a discussion of strengths, limitations, and practical guidance for transparent reporting (Simar & Wilson, 1998; Tone, 2001; Zhou et al., 2008). This study is intentionally non-empirical and does not produce new efficiency estimates.

THEORETICAL BACKGROUND

Conceptual distinction: energy intensity versus energy efficiency

In the energy economics literature, the terms energy intensity and energy efficiency are sometimes used interchangeably, although they are not equivalent from a conceptual and methodological standpoint. Energy intensity is typically defined as the ratio of energy consumption to output (e.g., energy use per unit of GDP) and is mainly a descriptive indicator for tracking trends and comparing countries, sectors, or firms. Despite its widespread use, energy intensity is not necessarily a direct measure of technical efficiency, because changes in intensity may arise from multiple channels such as structural change in production, input substitution, shifts in sectoral composition, as well as differences in prices and consumption behavior (Patterson, 1996; Alsahlawi, 2013).

By contrast, modern approaches increasingly link energy efficiency to the idea of an efficiency frontier. In this perspective, the performance of each decision-making unit (DMU)—a country, sector, or firm—is evaluated relative to the best observed practice in the sample, and the analysis quantifies how much

energy (and potentially other inputs) could be reduced for a given level of output, or how much output could be expanded with a given input bundle (Farrell, 1957; Charnes et al., 1978). Moreover, by distinguishing between constant and variable returns to scale, frontier methods can separate pure technical efficiency from scale-related effects (Banker et al., 1984).

Families of indicators for measuring energy efficiency

A wide range of indicators has been proposed for measuring energy efficiency. A commonly cited classification is provided by Patterson (1996), who groups indicators—depending on their underlying basis and data requirements—into categories such as: (i) thermodynamic indicators, (ii) physical–thermodynamic indicators, (iii) economic–thermodynamic indicators, and (iv) economic indicators. Within this taxonomy, energy intensity typically falls under economic (or economic–thermodynamic) indicators and is widely used in macro-level studies; however, it remains limited when the objective is to measure efficiency as a distance from a best-practice frontier (Patterson, 1996).

In general, indicators grounded in engineering and thermodynamics can be highly accurate at the process or technology level (e.g., conversion efficiency of specific equipment), but they often require specialized, harmonized data that may not be available for broad cross-country or cross-sector comparisons. Economic indicators such as energy intensity are easier to compute and more widely available, yet they may confound structural and compositional changes with genuine improvements in technical efficiency. This trade-off helps explain why, in macro-empirical research, frontier-based approaches that are implementable with economic data have attracted growing attention.

Frontier approaches: parametric versus non-parametric methods

Frontier-based approaches seek to construct a benchmark representing best observed performance and then report each unit's distance from that benchmark as an efficiency measure. Two major families dominate this literature: parametric methods, such as Stochastic Frontier Analysis (SFA), and non-parametric methods, most notably Data Envelopment Analysis (DEA).

In SFA, a functional form for the production (or cost) relationship is specified, and the composite error term is decomposed into a random noise component and an inefficiency component (Aigner et al., 1977; Meeusen & van den Broeck, 1977). A key advantage of SFA is that it can, to some extent, distinguish statistical noise from inefficiency; however, its results depend on the chosen functional form and distributional assumptions. In contrast, DEA does not require a pre-specified functional form. Instead, it uses linear programming to construct a piecewise-linear frontier based on best observed performers in the dataset (Charnes et al., 1978). In the energy-efficiency literature, DEA has been widely applied due to its flexibility in handling multiple inputs and outputs and its adaptability to alternative model specifications (Alsahlawi, 2013).

SFA versus DEA: methodological trade-offs

Stochastic Frontier Analysis (SFA) and Data Envelopment Analysis (DEA) represent the two dominant frontier-based paradigms for efficiency measurement. SFA is parametric: it requires specifying a functional form for the production (or cost) frontier and making distributional assumptions to decompose deviations from the frontier into statistical noise and inefficiency. This structure can be advantageous when measurement error and random shocks are non-negligible and when the research objective emphasizes statistical inference and hypothesis testing. However, misspecification of the functional form or distributional assumptions can materially affect results. By contrast, DEA is non-parametric and constructs the frontier directly from observed best-practice performance, avoiding functional-form restrictions and accommodating multiple inputs and outputs in a flexible manner. This flexibility is particularly useful for benchmarking and multi-dimensional performance assessment, but conventional DEA does not explicitly separate noise from inefficiency and can be sensitive to extreme observations. In methodological terms, the choice between SFA and DEA should therefore be guided by the study objective: SFA is often preferred when stochastic noise and inferential goals are central,

whereas DEA is attractive when functional-form uncertainty is high, multiple inputs/outputs matter, and the primary aim is benchmarking under minimal structural assumptions.

The role of DEA in energy-efficiency studies and the logic of alternative specifications

In DEA-based applications to energy efficiency, two specification logics are particularly common. First, an energy-oriented (energy-only) specification treats energy as the single input and GDP (or another economic output) as the output. This specification offers a relatively straightforward interpretation and is conceptually close to energy-intensity reasoning, but it frames performance in a frontier-based, relative-efficiency manner. Second, a production-oriented specification incorporates energy alongside conventional production factors such as capital and labor, thereby measuring efficiency in a multi-input production framework (Alsahlawi, 2013).

These two modeling choices can generate different results and, importantly, different interpretations: the production-oriented approach can reflect not only energy-related performance but also broader efficiency in factor use and input mix. Hence, in a methodological paper, it is essential to clearly explain the rationale for specification choices and their interpretive implications—particularly with respect to orientation (input vs. output), returns-to-scale assumptions (CRS vs. VRS), and the selection of inputs and outputs.

METHODOLOGICAL REVIEW

Recent energy-efficiency research increasingly relies on frontier-based measurement, particularly DEA variants, to move beyond energy-intensity metrics and to construct best-practice benchmarks. Contemporary applications extend the conventional DEA framework in at least four directions. First, studies adopt slacks-based and super-efficiency DEA to improve discrimination among efficient units and enable ranking of best performers (e.g., super-efficiency SBM-DEA for 168 economies over 2000–2017).

Second, a growing stream integrates undesirable outputs—most commonly CO_2—and evaluates productivity dynamics through Malmquist-Luenberger (MLI) or Global Malmquist-Luenberger (GML) indices, reflecting the joint objective of economic performance and environmental outcomes.

Third, to address technology heterogeneity and realistic data restrictions, recent work proposes meta-frontier DEA designs and incorporates integer constraints, which can materially affect measured carbon-efficiency levels and cross-regional comparisons.

Fourth, several studies focus on inference and robustness by applying bootstrap DEA to correct the well-known upward bias of conventional DEA efficiency scores, producing substantially different estimates of improvement potential.

Additional methodological innovations include constrained DEA (e.g., fixed-sum carbon budgets) and dynamic/network DEA for multi-stage systems where operational and environmental performance must be evaluated jointly.

Table 1. Selected Recent Studies on Measuring Energy / Carbon Efficiency Using DEA

study	Scope / DMUs	Period	Method (DEA family)	Key findings
Li et al. (2022)	30 Chinese provinces	2016–2019	Bootstrapped DEA + clustering	Shows standard DEA TFEE is upward biased; bootstrap-corrected TFEE implies energy could be scaled down by ~42.36% versus a

				biased estimate of ~19.4%; bootstrap evidence supports VRS technology.
Li et al. (2023)	Chinese transportation industry (provincial)	(Study context: provincial panel; policy "dual-carbon" framing)	DEA with fixed-sum carbon constraint	Incorporates a shared carbon budget (fixed-sum constraint) into DEA; highlights how carbon-cap constraints change measured energy/environment efficiency and the improvement space across provinces/sub-sectors.
Shu et al. (2024)	168 economies (global)	2000–2017	Super-efficiency SBM-DEA	Global EE rose initially then declined, with persistent decline post-2009; strong geographic clustering of high/low EE; inequality generally fell but within-income-group disparities became the dominant source.
Shah et al. (2024)	G20 economies	1995–2020	SBM-DEA + Malmquist-Luenberger Index (MLI)	Uses SBM-DEA and MLI to evaluate EE and productivity changes for G20 over 1995–2020, emphasizing the EE–environment nexus in a productivity framework.
Alajmi (2024)	GCC countries	2000–2019	DEA + Malmquist	Positions itself as an early GCC-focused TFEE study using DEA–Malmquist; reports dynamics in TFEE over 2000–2019 and links EE assessment to environmental quality concerns.
Huang & Zhao (2024)	China's provincial power industry	2011–2021	Meta-frontier DEA with integer constraints	Proposes meta-frontier DEA integrating integer constraints; emphasizes that ignoring heterogeneity and integer characteristics can bias CEE assessment and policy interpretation across provinces.
See et al.(2025)	24 global airlines	2017–2019	Dynamic network DEA (natural vs managerial disposability)	Efficiency under managerial disposability is higher than under natural disposability, consistent with proactive responses to regulation; many airlines struggle to improve operational and environmental performance simultaneously (trade-off).
Le & Lu (2025)	Bibliometric mapping (DEA + renewable energy / carbon efficiency literature)	2000–2024 (publications)	Bibliometric review (Web of Science dataset)	Uses WoS Core Collection (2,389 publications) to identify influential authors/institutions and evolving themes; documents the methodological diversification of DEA in renewable energy and carbon-efficiency research.
Addis (2025)	42 countries	1995–2022	Super SBM-DEA + Global Malmquist-Luenberger (GML)	Super-SBM ranks Brazil as persistently least efficient; Ireland/Italy/Saudi Arabia/US near-frontier. GML values cluster near 1, suggesting relatively stable productivity with only slight efficiency changes.

METHODOLOGY

Decision-making units and frontier-based efficiency measurement

Data Envelopment Analysis (DEA) evaluates the relative performance of a set of comparable decision-making units (DMUs)—such as countries, regions, sectors, or firms—by benchmarking each unit against an empirically constructed best-practice frontier. For DEA results to be meaningful, DMUs must be sufficiently comparable in terms of their production/service logic and the input–output set used in the assessment. Within this frontier framework, efficiency is interpreted as the distance of each DMU from the frontier, building on the foundational notion of frontier efficiency proposed by Farrell (1957) and operationalized in DEA by Charnes, Cooper, and Rhodes (1978).

Model orientation: input-oriented versus output-oriented efficiency

A central modeling choice in DEA is orientation. In an input-oriented model, the core question is: by how much can energy use (and potentially other inputs) be reduced while maintaining the same level of output (e.g., GDP)? This orientation is particularly consistent with energy-saving, demand-management, and conservation objectives. In an output-oriented model, the question becomes: by how much can output be expanded with a given input bundle? This orientation is commonly used in productivity and growth contexts. The standard DEA framework allows either orientation depending on the research purpose and policy interpretation (Charnes et al., 1978).

Returns to scale: CRS, VRS, and scale efficiency

DEA can be implemented under alternative assumptions regarding returns to scale. Under constant returns to scale (CRS), proportional increases in all inputs imply proportional increases in outputs, which may be restrictive in heterogeneous samples. Under variable returns to scale (VRS), proportionality is not imposed, making it more appropriate when DMUs differ substantially in scale (e.g., cross-country applications). The VRS formulation (often referred to as the BCC model) enables the decomposition of inefficiency into pure technical efficiency and scale-related effects, and the CRS-to-VRS efficiency ratio is widely interpreted as scale efficiency (Banker et al., 1984).

Input–output specification: two canonical models for energy-efficiency measurement

Input–output selection is critical because it determines how "energy efficiency" is interpreted. This paper considers two widely used specifications:

Energy-only (energy-oriented) specification

Input: energy consumption

Output: GDP (or value added)

This specification identifies which DMUs generate similar economic output with lower energy inputs, providing a direct interpretation closely linked to energy-use efficiency.

Production-based (total-factor) specification

Inputs: energy, capital, and labor (optionally technology/innovation proxies, depending on context)

Output: GDP (or value added)

This specification embeds energy within a multi-input production framework. Consequently, the efficiency score may reflect both energy-related performance and broader factor-use efficiency, implying a different interpretation than the energy-only model.

Methodological extensions: SBM and bootstrap-based inference

Beyond conventional radial DEA models, the literature increasingly employs slacks-based measures (SBM), which incorporate input excesses and output shortfalls (slacks) directly into the efficiency metric and can be particularly useful when non-proportional adjustments matter for policy interpretation (Tone,

2001). For robustness and inference, bootstrap DEA procedures have also been proposed to assess sampling variability and mitigate potential bias in non-parametric efficiency estimates, thereby improving the credibility of efficiency comparisons and sensitivity analysis (Simar & Wilson, 1998).

MODEL FORMULATION AND IMPLEMENTATION OF DEA FOR MEASURING ENERGY EFFICIENCY

This section presents the computational framework of Data Envelopment Analysis (DEA) for measuring energy efficiency. DEA is a non-parametric frontier technique that uses linear programming to construct an empirical best-practice frontier from the observed data and then evaluates the relative efficiency of each decision-making unit (DMU) as its distance from that frontier (Farrell, 1957; Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978). In the context of energy efficiency, a key advantage of DEA is that it determines input and output weights endogenously, rather than relying on fixed or ex ante (potentially subjective) weights—thereby enabling data-driven and comparable efficiency assessment across DMUs (Alsahlawi, 2013).

Building on standard DEA formulations widely used in the energy-efficiency literature, this paper presents two canonical specifications: (i) an energy-only model and (ii) a production-based model including energy, capital, and labor (Alsahlawi, 2013). These specifications imply distinct interpretations: the former is closer to "energy-use efficiency," whereas the latter assesses efficiency within a multi-input production framework and may therefore reflect broader factor-use performance.

Energy-only specification (Model I): Energy as input and GDP as output

In the energy-only model, the relative efficiency of a DMU (e.g., country j) is defined as the ratio of a weighted output to a weighted input. let y_j denote output (GDP) and x_j denote energy consumption. Efficiency is expressed as (Alsahlawi, 2013):

$$Efficiency_j = \frac{wy_j}{vx_j} \quad (1)$$

Where w is the output weight (GDP) and v is the input weight (energy). A central feature of DEA is that these weights are not fixed externally; rather, for each DMU they are chosen by solving an optimization problem that maximizes that DMU's efficiency, subject to the constraint that no other DMU—when evaluated with the same weights—can exceed an efficiency score of 1 (Charnes et al., 1978; Alsahlawi, 2013). This constraint operationalizes the frontier logic and prevents weights from being selected in a way that artificially inflates one unit's score.

To linearize the fractional program (multiplier form), the existing literature applies the standard normalization by setting the denominator for the target DMU equal to one, i.e., $vx_j = 1$. The resulting linear program for Model I is (Alsahlawi, 2013):

$$\max wy_j \quad (2)$$

subject to

$$v\,x_j = 1$$

$$w\,y_l - v\,x_l \leq 0\,, \qquad l = 1,2,\dots,n\,, \qquad w \geq 0, v \geq 0$$

Plain-language interpretation. For country j, the model selects weights on GDP and energy to maximize its efficiency score, but under those same weights, no other country is allowed to exceed the benchmark value of 1. Units attaining a score of 1 lie on the best-practice frontier, while lower scores indicate relative inefficiency (Charnes et al., 1978).

Production-based specification (Model II): Energy together with capital and labor

In many policy applications, the objective is not merely to compare energy use per unit of output, but to evaluate energy performance within a broader production process. For this reason, the existing literature formulates a production-based model in which three inputs—labor, energy, and capital—enter simultaneously (Alsahlawi, 2013). Efficiency is defined as:

$$Efficiency_j = \frac{wy_j}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + v_3 x_{3j}} \quad (3)$$

Where x_{1j}, x_{2j}, and x_{3j} denote labor, energy, and capital for DMU j, and v_1, v_2, v_3 are the corresponding input weights. As in Model I, weights are chosen to maximize the target DMU's efficiency while ensuring that no DMU's score exceeds 1 under the same weights. The base study expresses the linear program for Model II as (Alsahlawi, 2013):

$$\max wy_j \quad (4)$$

subject to

$$w\, y_l - \sum_{i=1}^{3} {}_i x_{il} \leq 0\,,\ l = 1,2,\dots,n$$

$$w \geq 0,\ v_1 \geq 0,\ v_2 \geq 0,\ v_3 \geq 0$$

Plain-language interpretation. Model II identifies which countries can generate higher GDP using a given combination of energy, capital, and labor. Consequently, its efficiency score may capture not only energy performance but also broader productivity and input-mix efficiency. Therefore, when reporting results, it is essential to clarify whether the analysis is based on the energy-only specification or the production-based specification (Alsahlawi, 2013).

Returns to scale: CRS, VRS, and scale efficiency

A major modeling choice in DEA concerns the assumed returns to scale. The CCR model corresponds to constant returns to scale (CRS), implying that proportional changes in all inputs lead to proportional changes in outputs (Charnes et al., 1978). However, in heterogeneous samples such as cross-country datasets—where DMUs differ markedly in economic size and structure—the CRS assumption can be restrictive. In such settings, the BCC model allows variable returns to scale (VRS) and enables the decomposition of inefficiency into pure technical efficiency and scale-related effects (Banker, Charnes, & Cooper, 1984). In practical terms, CRS efficiency reflects both technical inefficiency and scale inefficiency, whereas VRS efficiency primarily captures pure technical inefficiency; the ratio of CRS to VRS efficiency is commonly interpreted as scale efficiency (Banker et al., 1984).

Specification and reporting roadmap for DEA-based energy-efficiency studies

To ensure conceptual clarity and cross-study comparability in DEA-based energy-efficiency research, methodological transparency should focus on specification choices and reporting standards rather than on a particular empirical implementation. Applied studies should explicitly document (i) the definition of the DMU and the level of analysis (country/sector/firm), (ii) the input–output specification (energy-only versus production-based), (iii) model orientation (input- versus output-oriented) and its policy interpretation, and (iv) the assumed returns to scale (CRS versus VRS) and the rationale for that choice (Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984). Researchers should also clarify how the efficiency measure is interpreted as relative to the sample frontier, and, where relevant, justify the use of non-radial formulations (e.g., slack-based measures) when proportional adjustments are not a plausible representation of inefficiency (Tone, 2001). Finally, when the objective extends beyond benchmarking toward statistical assessment, resampling-based approaches can be referenced as complementary tools for evaluating the sensitivity of non-parametric efficiency estimates (Simar & Wilson, 1998). This paper does not compute new efficiency scores; it synthesizes these specification choices and interpretive implications as a methodological guide.

ADVANTAGES, LIMITATIONS, AND COMMON PITFALLS OF DEA IN MEASURING ENERGY EFFICIENCY

As a non-parametric frontier approach, Data Envelopment Analysis (DEA) offers a major advantage in that it can evaluate relative efficiency without imposing a specific functional form on the production relationship, while also accommodating multi-input–multi-output settings and determining weights endogenously (Charnes et al., 1978). This feature is particularly valuable in energy-efficiency research, where energy–economy performance is inherently multidimensional and fixed weighting schemes may introduce subjective judgments and unstable comparisons. At the same time, the very flexibility that makes DEA attractive also implies that results can be sensitive to key modeling choices; if these sensitivities are not explicitly addressed, the interpretation of "energy efficiency" may drift away from the conceptual objective of the study.

A first fundamental limitation is that DEA efficiency is relative and sample-dependent. Efficiency scores are defined with respect to the best observed performers within the analyzed set of DMUs; thus, "efficiency" does not represent an absolute technological benchmark, but rather a position relative to the best practice within the sample. A direct implication is that comparing DEA results across different studies—especially when DMU sets, periods, or input–output specifications differ—can be misleading unless the specification is carefully harmonized.

A second common pitfall concerns ambiguity about what the efficiency score actually measures. Under an energy-only specification, efficiency is typically interpreted as the potential to reduce energy use for a given output level. Under a production-based (total-factor) specification, however, the efficiency score may reflect broader factor-use performance and input-mix efficiency, not merely energy performance. Consequently, using the generic term "energy efficiency" without explicitly stating the specification and interpretive logic can lead readers to incorrectly attribute the score solely to energy performance (Banker et al., 1984; Charnes et al., 1978).

Third, DEA results can be sensitive to assumptions about returns to scale (CRS vs. VRS) and the associated interpretation. In heterogeneous samples, CRS may attribute part of observed inefficiency to operating at a non-optimal scale, whereas VRS is designed to capture pure technical efficiency more directly. Therefore, differences between CRS- and VRS-based results should be treated as an informative methodological signal—rather than a contradiction—provided that the interpretation is clearly articulated (Banker et al., 1984).

Fourth, conventional DEA does not explicitly separate statistical noise from inefficiency. Because the DEA frontier is constructed from observed data without an explicit stochastic error component, extreme observations or measurement error can influence the frontier and, in turn, affect the scores of many units. For this reason, bootstrap-based procedures have been proposed to assess the potential bias and sampling variability of non-parametric efficiency estimates and to strengthen the credibility of inference (Simar & Wilson, 1998).

Fifth, the choice between radial and non-radial measures can alter policy-relevant conclusions. In many energy applications, inefficiency does not necessarily manifest as proportional reductions in all inputs or proportional expansions of all outputs. Slack-based approaches such as SBM can provide a more informative picture by explicitly accounting for input excesses and output shortfalls, supporting more targeted policy insights (e.g., reducing energy input without assuming proportional adjustments in other inputs) (Tone, 2001).

Finally, in studies that incorporate environmental performance, the treatment of undesirable outputs is decisive. Introducing CO_2 emissions as an undesirable output requires selecting a consistent DEA framework and clarifying the conceptual relationship between "energy efficiency" and "environmental efficiency." Otherwise, the reported scores may represent a composite energy–environment performance measure rather than energy efficiency per se (Zhou et al., 2008).

CONCLUSION

This paper provided a methodological review of energy-efficiency measurement, with a particular focus on frontier-based approaches and Data Envelopment Analysis (DEA). By clarifying the conceptual difference between energy intensity and frontier-defined efficiency, the review showed why DEA remains a useful framework for benchmarking performance when the research or policy objective is framed as reducing energy inputs for a given level of economic output, or improving output performance under a given resource bundle. The discussion also emphasized that DEA results are inherently specification-dependent: choices about the input–output set, orientation, and returns-to-scale assumptions shape what the efficiency score represents and how it should be interpreted.

The review highlighted several practical implications for methodological work in this area. First, DEA efficiency is relative to the benchmark set and therefore reflects performance against the best observed practices within the evaluated sample rather than an absolute technological standard. Second, careful conceptual alignment is required to avoid interpretive ambiguity—particularly when moving from an energy-only specification to a production-based framework, where the efficiency score may capture broader factor-use performance. Third, extensions such as slack-sensitive models, bias- and robustness-oriented procedures, and frameworks that incorporate undesirable outputs can strengthen interpretability, provided that the conceptual target (energy efficiency versus composite energy–environment performance) is stated explicitly.

Looking ahead, future methodological research can advance DEA-based energy-efficiency measurement by (i) developing strategies that better address technology heterogeneity across units, (ii) expanding dynamic and productivity-change perspectives to distinguish one-off efficiency gaps from sustained improvements, (iii) using network and constrained formulations to reflect multi-stage production systems and policy constraints, and (iv) strengthening inference and robustness when the objective goes beyond benchmarking toward statistically grounded comparisons.

REFERENCES

Addis, A. K. (2025). Sustainability and efficiency analysis of 42 countries: Super SBM-DEA model and the GML productivity index with undesirable outputs. Ecological Indicators, 177, 113767.

Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. Journal of Econometrics, 6(1), 21–37.

Alajmi, R. G. (2024). Total-factor energy efficiency (TFEE) and CO_2 emissions for GCC countries. Sustainability, 16(2), 878.

Alsahlawi, M. A. (2013). Measuring energy efficiency in GCC countries using data envelopment analysis. Journal of Business Inquiry, 12, 15–30.

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, 30(9), 1078–1092.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444.

Despotis, D. K. (2005). Measuring human development via data envelopment analysis: The case of Asia and the Pacific. Omega, 33(5), 385–390.

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253–290.

Huang, X., & Zhao, R. (2024). Regional differences and improvement potential of carbon emission efficiency in China's power industry: Insights from meta-frontier DEA model considering integer constraints. Frontiers in Energy Research, 12, 1339553.

Le, T.-T., & Lu, W.-M. (2025). Charting the landscape of data envelopment analysis in renewable energy and carbon emission efficiency. Energies, 18(23), 6147.

Li, F., Ye, S., Chevallier, J., Zhang, J., & Kou, G. (2023). Provincial energy and environmental efficiency analysis of Chinese transportation industry with the fixed-sum carbon emission constraint. Computers & Industrial Engineering, 182, 109393.

Li, Y., Liu, A.-C., Wang, S.-M., Zhan, Y., Chen, J., & Hsiao, H.-F. (2022). A study of total-factor energy efficiency for regional sustainable development in China: An application of bootstrapped DEA and clustering approach. Energies, 15(9), 3093.

Meeusen, W., & van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error. International Economic Review, 18(2), 435–444.

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy, 24(5), 377–390.

Ramanathan, R. (2006). Data envelopment analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process. Computers & Operations Research, 33(5), 1289–1307.

See, K. F., Guo, Y., & Yu, M.-M. (2025). Measuring energy and CO_2 efficiency of global airlines using dynamic network DEA under natural and managerial disposability framework. Energy Economics, 150, 108788.

Shah, W. U. H., Hao, G., Yan, H., Zhu, N., Yasmeen, R., & Dincă, G. (2024). Role of renewable, non-renewable energy consumption and carbon emission in energy efficiency and productivity change: Evidence from G20 economies. Geoscience Frontiers, 15(4), 101631.

Shu, T., Liao, X., Yang, S., & Yu, T. (2024). Towards sustainability: Evaluating energy efficiency with a super-efficiency SBM-DEA model across 168 economies. Applied Energy, 376, 124254.

Simar, L., & Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. Management Science, 44(1), 49–61.

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 130(3), 498–509.

Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. European Journal of Operational Research, 189(1), 1–18.

Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. Energy Policy, 36(8), 2901–2906.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GAMMA-FREQUENCY BINAURAL BEATS ENHANCE MIRROR NEURON SYSTEM ACTIVATION DURING ACTION OBSERVATION: A RANDOMIZED CROSSOVER EEG STUDY

Ebru BARDAŞ ÖZKAN

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Medicine, Department of Physiology, Erzincan, TURKEY

Department of Physiology, Faculty of Medicine, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey

ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-8752-125X

ABSTRACT

The mirror neurone system MNS is kind of a frontoparietal neural network that gets activated during both execution and watching goal driven actions. It is seen as crucial for imitation, motor learning, empathy, and that whole social cognition thing. In humans, MNS activity often gets checked through electroencephalographic EEG, looking at how the sensorimotor mu rhythm (8–13 Hz) gets suppressed, especially when you average across central electrodes, like C3, Cz and C4. Binaural beats are basically auditory perceptual happenings where two slightly different frequencies are delivered to each ear separately, and then the listener hears it as if there's a third rhythmic beat. Some earlier work suggests binaural beats could modulate cortical oscillations, plus things like attention, arousal and even cognitive outcomes. And then there is gamma frequency stimulation, 40 Hz, which has been associated with neural synchrony and also higher-order processing in the cortex. But honestly, the quick acute effects of binaural beats on the human mirror neurone system are still pretty underexplored. So this study tried to ask whether gamma-frequency binaural beat stimulation boosts mirror neurone system activity during action observation, measured through EEG mu rhythm suppression. We used a randomised sham-controlled, within-subject crossover design, kind of all in the same group with each person serving as their own control. Thirty healthy right-handed adults aged 20–40 years were recruited. Each participant went through three sessions in a random order, with a minimum 48-hour washout interval between them:

- 40 Hz gamma binaural beat stimulation
- 10 Hz alpha binaural beat stimulation
- Sham auditory stimulation, basically carrier tones without that binaural beat effect

For each session, participants received about 15 minutes of auditory stimulation through stereo headphones, then they moved on to an action observation task while the EEG was recorded continuously, which was kept running the whole time. The visual part used videos of goal-directed hand actions, like grasping a cup, picking up a pen and finger-tapping, plus control non-biological motion clips. EEG was recorded from central sensorimotor areas, specifically C3, Cz, and C4. The mu suppression index was computed by comparing mu-band power during action observation with baseline resting activity.

- The primary endpoint was the change in mu suppression index across the stimulation conditions.
- Secondary outcomes were reaction time performance, subjective attention scores, and beta-band oscillatory changes.

Key Words: Mirror neuron system; Binaural beats; Gamma frequency; Electroencephalography; Mu suppression; Action observation; Auditory neuromodulation; Cognitive neuroscience.

ÖZET

Ayna nöron sistemi (MNS), hem eylem gerçekleştirme hem de hedef odaklı eylemleri izleme sırasında aktive olan bir tür ön-parietal sinir ağıdır. Taklit, motor öğrenme, empati ve tüm sosyal biliş için çok önemli olduğu düşünülmektedir. İnsanlarda, MNS aktivitesi genellikle elektroensefalografik (EEG) ile kontrol edilir; özellikle C3, Cz ve C4 gibi merkezi elektrotlar üzerinden ortalama alındığında, sensörimotor mu ritminin (8-13 Hz) nasıl baskılandığına bakılır. Binaural vuruşlar, temelde iki farklı frekansın her kulağa ayrı ayrı iletildiği ve dinleyicinin bunu üçüncü bir ritmik vuruş varmış gibi duyduğu işitsel algısal olaylardır. Bazı önceki çalışmalar, binaural vuruşların kortikal salınımları, ayrıca dikkat, uyarılma ve hatta bilişsel sonuçlar gibi şeyleri modüle edebileceğini öne sürmektedir. Ayrıca, nöral senkronizasyon ve kortekste daha yüksek seviyeli işlemeyle ilişkilendirilen gama frekans uyarımı (40 Hz) da vardır. Ancak dürüst olmak gerekirse, binaural vuruşların insan ayna nöron sistemi üzerindeki hızlı ve akut etkileri hala oldukça az araştırılmış durumda. Bu nedenle bu çalışma, gama frekanslı binaural vuruş uyarımının, EEG mu ritmi baskılanması yoluyla ölçülen eylem gözlemi sırasında ayna nöron sistemi aktivitesini artırıp artırmadığını sorgulamayı amaçladı. Rastgele, sahte kontrollü, denek içi çaprazlama tasarımı kullandık; her birey kendi kontrolü olarak görev yaparken, herkes aynı gruptaydı. 20-40 yaş arası otuz sağlıklı, sağ elini kullanan yetişkin çalışmaya dahil edildi. Her katılımcı, aralarında en az 48 saatlik bir arınma aralığıyla rastgele bir sırayla üç seansa katıldı:

• 40 Hz gama binaural vuruş uyarımı

• 10 Hz alfa binaural vuruş uyarımı

• Sahte işitsel uyarım, temelde binaural vuruş etkisi olmayan taşıyıcı tonlar Her seans için katılımcılar stereo kulaklıklar aracılığıyla yaklaşık 15 dakika işitsel uyarım aldılar, ardından EEG sürekli olarak kaydedilirken bir eylem gözlem görevine geçtiler; EEG tüm süre boyunca çalışmaya devam etti. Görsel kısımda, bir bardağı kavramak, bir kalemi almak ve parmakla vurmak gibi amaca yönelik el hareketlerinin videoları ve kontrol amaçlı biyolojik olmayan hareket klipleri kullanıldı. EEG, merkezi sensörimotor alanlardan, özellikle C3, Cz ve C4'ten kaydedildi. Mu baskılama indeksi, eylem gözlemi sırasında mu bandı gücünün temel dinlenme aktivitesiyle karşılaştırılmasıyla hesaplandı.

• Birincil sonuç noktası, uyarım koşulları boyunca mu baskılama indeksindeki değişimdi.

• İkincil sonuçlar, reaksiyon süresi performansı, öznel dikkat puanları ve beta bandı salınım değişiklikleriydi.

Anahtar Kelimeler: Ayna nöron sistemi; Binaural vuruşlar; Gama frekansı; Elektroensefalografi; Mu baskılaması; Eylem gözlemi; İşitsel nöromodülasyon; Bilişsel nörobilim.

INTRODUCTION

The mirror neurone system, MNS, is one of the more influential finds in modern cognitive neuroscience. At first it was spotted in the premotor cortex of macaque monkeys (Di Pellegrino et al., 1992), and mirror neurones are usually described as neurones that fire during both the actual doing of an action and while someone is watching the same action being carried out by another person (Rizzolatti & Craighero, 2004). Because of this sort of two-part activation, the idea came up that the MNS might be acting as a neural foundation for action comprehension, learning by copying, empathic processing social contact, and motor resonance (Iacoboni, 2006; Gallese et al., 2009).

In humans, direct single-neurone recordings are kind of limited, so non-invasive neurophysiological tools have sort of become essential for looking into mirror neuronee activity. Electroencephalography, EEG, is still one of the most used options, mainly because it offers high temporal resolution, and it's relatively easy to access (Cohen, 2017). One core EEG sign of MNS activation is a suppression of the sensorimotor mu rhythm, usually showing up in the 8–13 Hz band, over central electrodes that map onto sensorimotor cortical areas (Pfurtscheller & Neuper, 2001; Pineda, 2005).This mu suppression during

action observation has been interpreted again and again as a marker, an index if you want, of mirror neurone engagement and sensorimotor resonance (Arnstein et al., 2011; Hobson & Bishop, 2016).

But the MNS isn't only about simple motor representation, not really. Modern accounts suggest the system can support more advanced social cognition, including emotional recognition, empathy, the evolution of language, understanding intentions, and even interpersonal synchronisation (Keysers & Gazzola, 2009; Rizzolatti & Sinigaglia, 2016). When mirror neurone activity is disrupted, it has been linked with several neurological and psychiatric problems, like autism spectrum disorder, schizophrenia, stroke-related motor deficits, Parkinson's disease, and also broader social cognition difficulties (Oberman & Ramachandran, 2007; Enticott et al., 2012; Lepage & Théoret, 2007). Since the MNS keeps getting more spotlight in neuroscience plus clinical rehabilitation, there's growing interest in finding non-invasive approaches that might modulate mirror neurone activity in a more controlled way (Thaut et al., 2015).

Auditory neuromodulation methods, especially binaural beat stimulation, are now getting attention as plausible ways to steer cortical oscillatory dynamics (Chaieb et al., 2015). Binaural beats are basically an auditory illusion: they happen when two slightly different frequencies are presented separately to each ear through stereo headphones. Then the auditory pathway blends these signals at a central level, which leads to the experience of a third rhythmic beat, and that percept matches the frequency difference between the two tones (Oster, 1973; Schwarz & Taylor, 2005). Prior studies indicate binaural beats might affect cognitive performance, arousal regulation, attention-related processing, working memory, anxiety, and sleep quality (Colzato et al., 2017; Garcia-Argibay et al., 2019; Reedijk et al., 2013; Beauchene et al., 2016).

Crucially, not all binaural beat frequencies seem to do the same thing. Alpha frequency stimulation is often connected with relaxation and attentional modulation, while gamma stimulation around 40 Hz has been tied to cortical synchrony, integrative processing, neural binding, and improvements in cognitive performance (Fries, 2009; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). Gamma oscillations are increasingly viewed as key mediators for higher-order cognition and for communication across brain regions (Engel et al., 2001; Uhlhaas et al., 2009). Also, recent results suggest that rhythmic stimulation imposed from outside can entrain, or lock in, naturally occurring neural oscillations (Thut et al., 2011; Notbohm et al., 2016). In theory, this kind of entrainment might shift the sensorimotor and frontoparietal networks that support mirror-neurone functioning (Obleser & Kayser, 2019). Still, even though there's a big literature on binaural beats and cognition, the direct impact of gamma-frequency binaural beat stimulation on mirror neurone system activation is, strangely enough, still not really clear or thoroughly investigated.

So, the present study was done to look at whether a 40 Hz gamma binaural beat kind of stimulation can actually boost mirror neurone system activity while participants are doing action observation. In this work mu-rhythm suppression across central sensorimotor areas was taken as the main neurophysiological readout, like the key outcome. As extra secondary outcomes, we also tracked attentional performance, reaction time, and the way beta-band oscillations behave during the task.

We hypothesised that:

• Gamma-frequency binaural beat stimulation would result in noticeably more mu suppression compared to alpha-frequency binaural beat stimulation and also sham stimulation.

• Gamma stimulation should help attention outcomes and, at the same time, make reaction times shorter.

• Gamma stimulation would go along with stronger beta-band modulation during action observation.

Overall, this investigation might deliver new and useful views on how auditory neuromodulation connects with human social motor-related neural circuits, while also supporting the design of low-cost, non-invasive neurorehabilitation options.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study Design

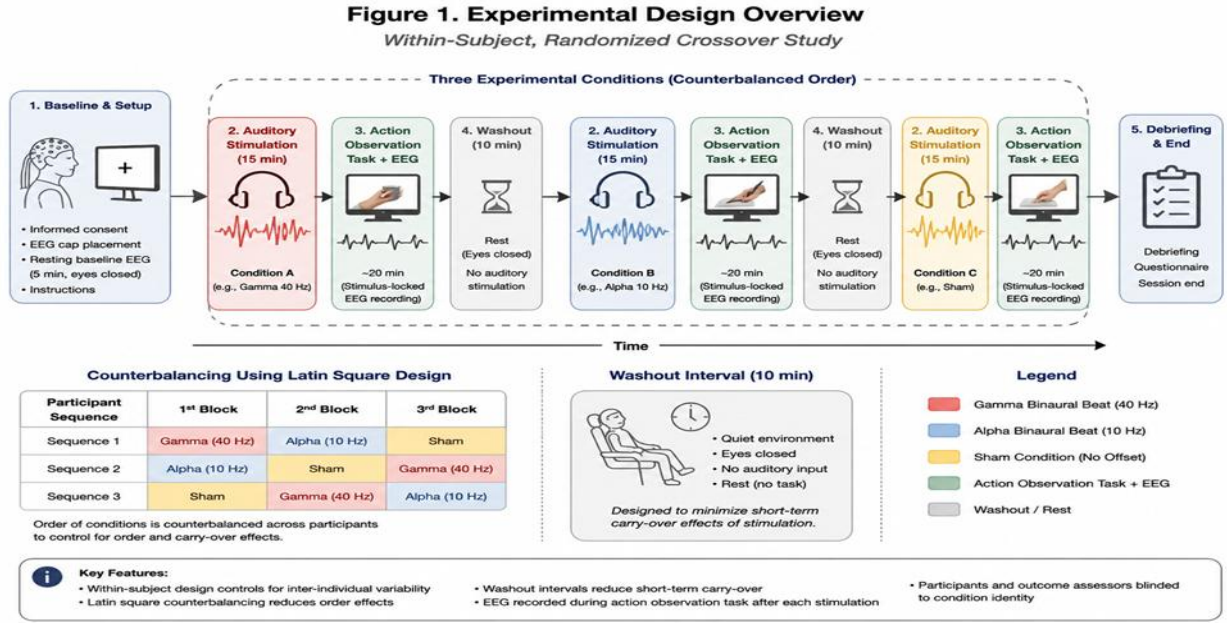
This study used a randomised, sham-controlled, within-subject crossover setup to look at the immediate impact of binaural beat stimulation on mirror neurone system activation while participants watched actions (Senn, 2002; EJ, 2009). Each person did three separate experimental sessions, which mapped onto three auditory stimulation conditions, 40 Hz gamma binaural beat stimulation, 10 Hz alpha binaural beat stimulation, and a sham auditory condition. The sequence of these conditions was randomised with a computer-made block randomisation order, mostly to cut down any order-caused bias (Altman & Bland, 1999).

Every session happened on its own, inside a sound-attenuated room, and under standardised experimental conditions. Also, to limit carryover influences and lingering cortical entrainment, there was a washout gap of not less than 48 hours between sessions (Chaieb et al., 2015). The experimental sessions for a given participant were planned for around the same time of day, so circadian shifts wouldn't mess much with cortical oscillatory activity and attentional task performance (Khalsa et al., 2000). The way sessions moved through stages, the counterbalancing approach, the washout intervals, and the blinding process flow chart are all shown in Figure 1.

Before testing, participants were told to skip caffeine and alcohol for 12 hours, keep their usual sleep routines, and avoid very heavy physical effort on the experiment day (Barry et al., 2003). Participants were blinded to the stimulation conditions. The auditory stimuli were delivered with carrier tones that were acoustically similar across sessions in order to reduce any expectancy-related effects (Boot et al., 2013). The main outcome was EEG mu rhythm suppression during action observation (Pfurtscheller & Neuper, 2001; Pineda, 2005). Secondary outcomes covered reaction time performance, self-reported attentional judgements, and beta-band oscillatory activity. Finally, the operational definitions, the physiological frequency ranges, and the analytic thresholds set for both primary and secondary outcomes are provided in Table 1.

Table 1. Primary and secondary outcome measures

Outcome variable	Frequency band / metric	Definition	Analysis level
Mu suppression	8–13 Hz	Relative decrease in sensorimotor alpha power during action observation	Sensorimotor ROI
Alpha power modulation	8–12 Hz	Condition-dependent changes in oscillatory power	Global + regional
Gamma-band activity	30–80 Hz	High-frequency power changes during stimulus processing	Temporal + frontal regions
ERP components (optional)	N1, P2, etc.	Time-locked evoked potentials to stimulus onset	Sensor-level ERP



Note: All acoustic parameters (waveform, intensity, and duration) were matched across conditions to control for non-specific auditory effects.

2.2 Participants

Thirty healthy volunteers, aged between 20 and 40 years (mean age: 27.4 ± 4.2 years; 16 females, 14 males), were recruited via university-based advertisements and online announcements. All participants were right-handed, as indicated by the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Before the study, everyone went through preliminary screening using a structured health questionnaire to rule out neurological, psychiatric, auditory and sleep-related disorders. Normal hearing was checked through self-report and a brief auditory screening prior to joining (Clark, 1981). Both male and female participants were included, because we wanted a balanced group. For every experimental session, participants were told to skip caffeine, alcohol, and psychoactive substances in advance (Barry et al., 2003). A condensed overview of the baseline socio-demographic profile, how well they met the selection requirements and how homogeneous the sample was across the programme is summarised in Table 2.

Inclusion Criteria

14. Age between 20 and 40 years
15. Right-handedness per the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971).
16. Normal or corrected to normal vision
17. Normal auditory capacity
18. No history of neurological illness
19. No diagnosed psychiatric disorder
20. No use of psychoactive medication

Table 2. Participant demographics and inclusion criteria

Variable	Description
Age (mean ± SD)	Continuous variable
Gender distribution	Male / Female ratio
Handedness	Assessed via Edinburgh Handedness Inventory
Inclusion criteria compliance	Age 20–40, normal/corrected vision, normal hearing, right-handed
Exclusion criteria compliance	Neurological/psychiatric disorders, psychoactive medication use

Note: This table ensures transparency of sample homogeneity, particularly relevant for EEG oscillatory variability.

Exclusion Criteria

• History of epilepsy or seizure disorders (Fisher et al., 2014).

• Substance abuse or dependence

• Current sleep disorder

• Prior extensive exposure to binaural beat training or, more broadly, neurostimulation protocols

• Significant hearing impairment

• Current use of centrally acting medication

• Excessive EEG artifact contamination during the recording sessions (Pivik et al., 1993).

In short, participants whose EEG recordings showed too many muscular, ocular, or motion-related artefacts, and these couldn't be fixed enough during preprocessing, were left out from the final analyses (Delorme et al., 2007). Before the study started, every participant signed a written informed consent and got a thorough explanation about how the experiment would run (Sharan, 2025).

2.3 Ethical Approval

The study protocol was approved by the Institutional Ethics Committee, in accordance with the Declaration of Helsinki (Margolis et al., 2022). All the procedures that involved human participants complied with the international ethical standards for biomedical research, as well.

2.4 Auditory stimulation protocol

Auditory stimulation was done with high-fidelity over-ear stereo headphones inside a sound-attenuated lab space, set up to minimise ambient noise and also to limit any sort of stray auditory input (Pratt et al., 2009). Before each session, participants were asked to sit in a comfortable way, in the same fixed position, so movement-related variability wouldn't creep in too much. The auditory materials were created and sent out through a custom-built audio protocol, running on digital signal processing software, so phase stability and frequency precision stayed consistent from one session to the next (Moore, 2012). Sound intensity was individually adjusted for each participant and kept in a pleasant listening band (roughly 60–70 dB SPL), and this helped avoid both discomfort and auditory fatigue (Moore, 2012). During stimulation, participants were told to keep their eyes closed, stay relaxed but alert, and not do any cognitive work, or structured mental activity. The customised acoustic parameters, frequency architectures , durations, and the intended operational aims across the three counterbalanced conditions are itemised in Table 3, in a pretty systematic way.

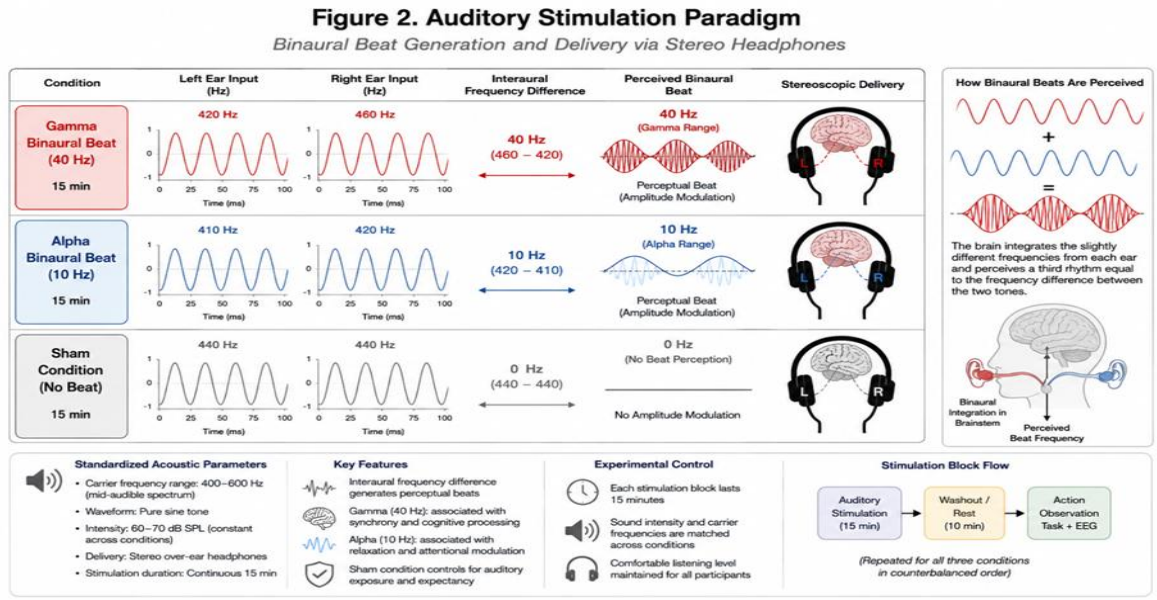
Table 3. Auditory stimulation parameters

Condition	Carrier frequencies	Beat frequency	Duration	Acoustic purpose
Gamma binaural beat	420–460 Hz (interaural offset)	40 Hz	15 min	Gamma-band entrainment
Alpha binaural beat	410–420 Hz (interaural offset)	10 Hz	15 min	Alpha-band modulation / relaxation state induction
Sham condition	Identical bilateral tones	0 Hz (no offset)	15 min	Control for auditory exposure and expectancy

Note: Sound intensity was held constant across all conditions (~60–70 dB SPL), and waveform type was pure sine tone for all experimental conditions.

2.4.1 Gamma binaural beat condition

In the gamma binaural beat condition, participants were exposed to auditory stimuli that were meant to elicit a perceptual beat frequency of 40 Hz, which lines up with the gamma-band range of neural oscillatory activity (Fries, 2009; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). This kind of setup was done by presenting two pure tone sine waves—slightly different frequencies—delivered separately to each ear, so the brainstem auditory pathways could merge them into one central auditory percept. In other words, a 40 Hz amplitude-modulated beat was induced through binaural integration processes (Oster, 1973; Schwarz & Taylor, 2005). The carrier frequencies were chosen from the middle audible region (often somewhere about 400 Hz to 600 Hz) so that perceptual clearness would come out better and also so that low-frequency somatosensory interferences stayed as minimal as possible (Zwicker & Fastl, 2013). For the frequency shift between the left and right ear signals, it was tuned with precision to 40 Hz so that a 460 Hz tone got sent to the left ear and a 500 Hz tone went to the right ear. That choice helped maintain stable gamma-range entrainment without spectral overlap or any obvious distortion. Each stimulation trial was 15 minutes long, and the overall exposure time was standardised across participants (Vernon et al., 2014). The stimuli were delivered in a continuous format and not interrupted, specifically to reduce phase resetting artefacts that can come from abrupt onsets or offsets (Makeig et al., 2002). When inter-trial intervals were used, they were kept short and acoustically silent to support continuity of neural entrainment. To manage expectancy and auditory novelty effects, participants were kept naïve regarding the exact frequency content of the stimulation (Boot et al., 2013). Also, the experimental setup reduced visual and tactile distractions as much as possible, so the auditory input stayed as the main sensory modality during this condition. Finally, the biophysical layout behind the acoustic frequency differentials, phase offsets, and subcortical integration models for the experimental, active control, and sham protocols is shown schematically in Figure 2.



Note: Schematic overview of binaural beat stimulation delivered via stereo headphones. Gamma (40 Hz), alpha (10 Hz), and sham conditions are illustrated using interaural frequency differences and sinusoidal waveforms. Standardized acoustic parameters, including carrier frequency range (400–600 Hz), constant sound intensity, and 15-minute stimulation duration, are also shown.

2.4.2 Alpha Binaural Beat Condition

In the alpha binaural beat condition, participants were exposed to an auditory stimulation meant to bring about a perceived 10 Hz binaural beat. This sort of mapping lands on that alpha frequency band (8–12 Hz), and it's pretty often connected with relaxed wakefulness plus that kind of attentional modulation (Klimesch, 1999). The binaural beat, on its own, was basically made by taking two continuous pure-tone sine waves and then choosing a 10 Hz interaural frequency difference so it doesn't drift and it stays steady. Those two tones were sent separately to each ear, using stereo headphones (Oster, 1973). For the carrier frequencies, the choice was kept in the mid-audible range, usually around 400–600 Hz. This was done to keep auditory comfort high and perceptual stability steady while also minimising the low-frequency somatosensory artefacts (Zwicker & Fastl, 2013). In one representative setup, for instance, they used a 495 Hz tone in one ear and a 505 Hz tone in the other, so you end up with one clean, consistent 10 Hz perceptual beat that's apparent. The way the stimulus was delivered, like waveform generation, phase continuity, and amplitude stability, was held identical to the gamma condition. That way the conditions could be compared without too much confounding. During the actual stimulation window, participants were told to remain fully motionless, keep their eyes closed, and maintain a relaxed-but-alert mental stance for most of the time, more or less.

2.4.3 Sham Condition

In the sham condition, we treated it mostly as a perceptual plus expectancy control (Boot et al., 2013). Participants got continuous bilateral auditory stimulation where identical pure tone carrier frequencies were sent at the same time to both ears, so there was no real interaural frequency difference, and this basically stopped any binaural beat kind of percept from happening (Piedimonte et al., 2017). We matched every acoustic detail—carrier frequency, intensity, duration, waveform type, and how the sounds were presented—so nonspecific auditory stuff wouldn't sneak in, like changes in arousal or simple auditory masking (Oster, 1973). The one thing that was actually varied was whether there was a frequency offset between the ears or not, and for the sham we kept a constant 500 Hz tone delivered bilaterally. The sham setup was specifically made to keep placebo effects in check, control for general exposure to auditory stimulation, and handle task expectancy, while still keeping the sensory

engagement as identical as possible across the different experimental parts. Each session for gamma, alpha, and sham ran for 15 minutes, and the sound level was standardised for everyone at a comfortable listening range (around 60–70 dB SPL) (Moore, 2012). The sequence of conditions was counterbalanced with a Latin square design to reduce both order effects and any carry-over effects (Altman & Bland, 1999; Cuevas et al., 2014).

2.5 Action Observation Paradigm

Right after every auditory stimulation session, participants went into an action observation task while continuous electroencephalography EEG recording was running (1000 Hz sampling rate) (Cohen, 2017; Kilner et al., 2009). Basically, this was set up to see how the earlier oscillatory entrainment might affect what happens next in the cortex when someone observes actions (Notbohm et al., 2016). During the task, participants watched visual cues showing goal-directed human actions, all under carefully controlled experimental conditions. While they observed, the EEG was recorded for the whole observation interval, so we could pick up event- related activity and also oscillatory neural reactions linked to action understanding and sensorimotor resonance processes (Gallese et al., 2009; Arnstein et al., 2011). The timing for stimulus delivery, the overall trial layout, and the gaps between stimuli were kept the same across sessions, so the post-stimulation brain states after gamma, alpha, and sham could be compared in a fair way**.**

2.5.1 Experimental Stimuli

The visual stimuli were made up of two main groups, like biological action stimuli and control motion stimuli, and they were used to sort of separate action-specific neural processing from the low-level motion perception stuff (Caspers et al., 2010; Babiloni et al., 2016).

Goal-directed hand movements (biological stimuli):

These showed human hand movements that had a pretty clear goal orientation, plus object-directed intention. The action set included, for example:

- Grasping a cup
- Picking up a pen
- Finger tapping on a surface

They were chosen because they already have a long, established use in action-observation paradigms and because they should be able to reliably activate the mirror neurone system plus the sensorimotor integration networks (Rizzolatti & Craighero, 2004; Rizzolatti et al., 1996).

Control stimuli (non-biological motion):

For the control conditions, the idea was to use visually matched motion stimuli. These were intended to keep the basic kinematic qualities intact, like movement amplitude, speed, and trajectory complexity, but without biological form or any intentional agency (Calvo-Merino et al., 2005; Brainard & Vision, 1997). The controls included:

- Non-biological abstract motion clips, e.g., moving geometric shapes
- Object displacement where there was no visible human agent involved

This control approach was basically intended to make sure any neural response differences wouldn't just come from motion processing alone but from the biological relevance instead (Caspers et al., 2010). Each stimulus was shown for about 5 seconds, and the presentation was delivered on a calibrated computer monitor that was placed at a fixed viewing distance, around 70 cm from the participant (Luck, 2014). The visual angle and luminance were held constant across participants so that perceptual variability was minimised. Between stimuli, the inter-stimulus intervals (ISIs) used a blank grey screen

lasting 1000–1500 ms, and this duration was jittered to reduce temporal expectancy effects (Ferree et al., 2001).

2.5.2 Experimental Procedure

Participants sat comfortably in an electrically shielded, sound-attenuated room in front of the monitor (Thickbroom et al., 1985). They were told to minimise their body and facial movements and keep their visual fixation on the centre of the screen during the task (Perry & Bentin, 2009). Participants also got very clear instructions to:

- Observe each stimulus carefully without doing any overt motor response
- Avoid verbalisation counting or any kind of mental rehearsal tricks
- Stay relaxed but still engaged, over the entire recording session
- Keep their gaze on the middle of the screen, basically at all times

The stimuli were delivered in a pseudorandomised order, meaning 3 blocks with 30 trials in each block, so 90 trials per session overall (Roach & Mathalon, 2008). This was done so that participants could not easily predict the sequence and to reduce habituation effects. The order itself was arranged so that biological and control stimuli showed up in a balanced way across the session. EEG was recorded continuously while the task was running, which then made it possible to carry out both event-related potential (ERP) work and time–frequency analyses, all locked to the moment the stimulus started (Cohen, 2017; Makeig et al., 2004). Trigger markers were synced with stimulus onset, so the timing stayed accurate at the millisecond level (Delorme & Makeig, 2004).

3. EEG Artifact Management and Preprocessing Pipeline

For the EEG preprocessing, we used a standardised but also fully reproducible pipeline, more or less, to improve the signal-noise ratio while still keeping neurophysiologically meaningful oscillatory patterns linked to action observation and the auditory entrainment mechanisms (Jung et al., 2000; Winkler et al., 2011). Every single preprocessing step was run in validated EEG analysis software (for example, EEGLAB, FieldTrip or BrainVision Analyser), and the very same processing settings were kept across all experimental conditions in order to avoid analytic bias (Tallon-Baudry & Bertrand, 1999; EJ, 2009; Gross et al., 2013). First, the raw EEG recordings were imported and checked visually for obvious technical artefacts like amplifier saturation, electrode dropouts, and those high-amplitude transient kinds of noises (Pivik et al., 1993). Any channel showing continuing noise or low signal quality was flagged using signal variance, plus flat-line detection rules, and then filled back in with spherical spline interpolation (Delorme et al., 2007). After that, the continuous EEG was bandpass filtered between 0.1 and 100 Hz, with a zero-phase FIR filter, so event-related timing wouldn't get phase-shifted around (Klimesch, 1999). A 50 Hz notch filter was followed to cut power line interference while trying to keep spectral shape from getting warped in nearby bands (Ferree et al., 2001). Then, to keep the timeline stable before decomposition, we split the data into condition-specific epochs after preliminary cleaning. Baseline correction was used with a pre-stimulus window of [−200 ms to 0 ms] relative to stimulus onset (Ferree et al., 2001).

Extra rejection rules for artefacts were also included, such as:

- Amplitude thresholding (±100 μV) (Delorme & Makeig, 2004).
- Gradient threshold (sudden voltage jumps over limits that are physiologically believable) (Pivik et al., 1993).
- Epoch-based rejection after stimulus locking.

Once the data looked clean enough, the signals were re-referenced to the common average reference (Koller-Schlaud et al., 2022).For time frequency analyses, Morlet wavelet decomposition was used to estimate power changes in alpha (8–12 Hz), beta (13–30 Hz), and gamma (30–80 Hz) ranges (Barry et

al., 2003; Cohen, 2014). To meet open science expectations and make computational results replicable, the actual operational details—filter limits, thresholding indices, and the full algorithmic workflow—are gathered in Table 4.

Table 4. EEG preprocessing parameters and artifact handling pipeline

Processing stage	**Method / parameter**
Sampling rate	[Specify e.g., 500 Hz / 1000 Hz]
Band-pass filter	0.1–100 Hz (zero-phase FIR)
Notch filter	50 Hz line noise removal
Re-referencing	Common average reference (CAR)
ICA algorithm	Infomax ICA (or equivalent)
Artifact classes removed	Ocular, EMG, ECG components
Amplitude rejection threshold	±100 μV
Gradient rejection	Sudden voltage jumps exceeding physiological limits
Epoch window	−200 ms to +1000 ms relative to stimulus onset
Baseline correction	−200 to 0 ms pre-stimulus baseline
Time–frequency method	Morlet wavelet decomposition (2–80 Hz)

Note: This table provides full reproducibility of EEG preprocessing and ensures compliance with contemporary open-science reporting standards.

3.1 Independent Component Analysis (ICA)-Based Artefact Removal

For the artefact correction, we used Independent Component Analysis, typically the Infomax algorithm (or a very similar equivalent), and ran it on the continuous EEG recordings after some dimensionality reduction step, like a PCA-based pre-ICA whitening if that seemed necessary (Chaieb et al., 2015; Khalsa et al., 2000; Perrin et al., 1989). The independent components were then sorted and excluded in a pretty systematic way, based on a multimodal inspection scheme, not just one criterion, including

- Spatial topography: ocular stuff often shows up with frontal predominance, while muscle artifacts tend to appear as more focal temporal distributions (Widmann et al., 2015).
- Temporal dynamics: blink and saccade patterns that are kind of stereotypical, repeated in a recognisable waveform (Barlow, 1986).
- Spectral profile: a high-frequency broadband signature that points toward electromyographic contamination (Picton et al., 2000).
- Autocorrelation structure: non-neural periodicity arrangements, which do not look like typical brain oscillations (Luck & Kappenman, 2011).

Components related to

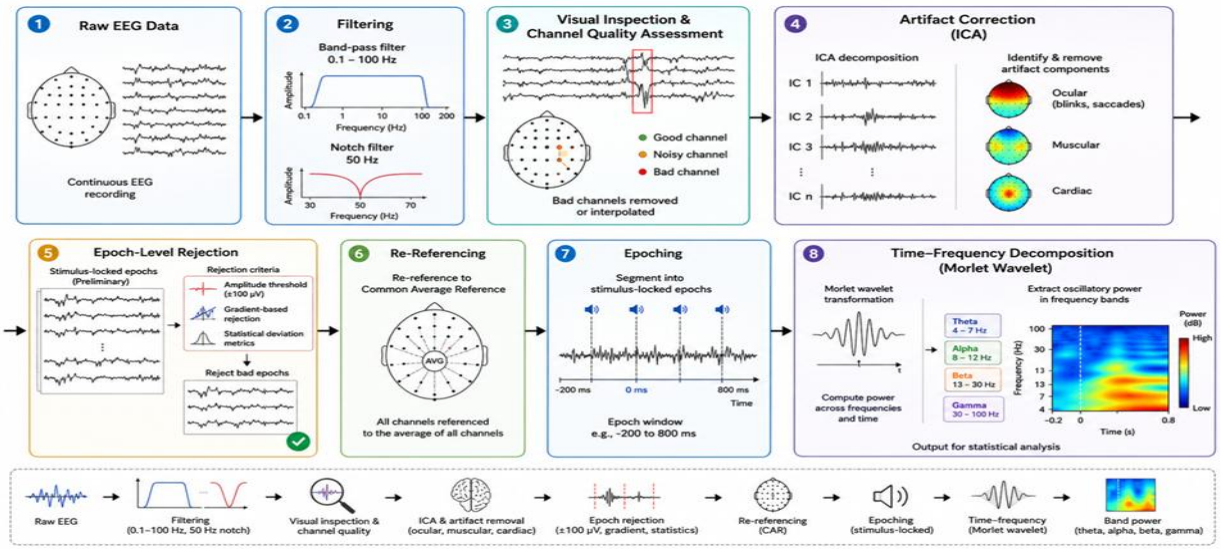
- Ocular activity (blinks and vertical and horizontal eye movements) (Nunez & Srinivasan, 2006).

• Electromyographic (EMG) contamination (Nunez & Srinivasan, 2006).

• Cardiac pulsation artifacts (only when they were clearly identifiable) (Bell & Sejnowski, 1995).

were taken out of the data, then the residual components were back-projected to rebuild the EEG signal without those artefacts (Makeig et al., 1995).The signal-processing flow, meaning the chronological topology—starting with initial filtration, then ocular/myogenic decomposition, followed by thresholding, and finally the Morlet wavelet transformation—is shown in Figure 3.

Figure 3. EEG preprocessing pipeline



Note: Raw EEG data were band-pass filtered (0.1–100 Hz) and notch filtered (50 Hz), followed by visual inspection and channel quality assessment. Artifacts were corrected using Independent Component Analysis (ICA), with removal of components related to ocular, muscular, and cardiac activity based on spatial, temporal, and spectral features. Epoch-level rejection was applied using amplitude thresholding (±100 µV), gradient-based criteria, and statistical deviation metrics. Cleaned data were re-referenced to a common average reference and segmented into stimulus-locked epochs. Time–frequency decomposition was performed using Morlet wavelet transformation to estimate oscillatory power in theta, alpha, beta, and gamma bands.

3.2 Further Artifact Rejection Criteria

After ICA correction, we added an extra, multi-threshold rejection routine at the epoch level in order to push the data quality a bit more, just like not really trusting the first pass, you know. The whole idea was to exclude segments that looked wrong on multiple fronts:

• Amplitude thresholding: epochs with values going beyond ±100 µV were tossed out (Delorme & Makeig, 2004).

• Voltage step criterion: portions of data showing abrupt voltage shifts larger than what would be physiologically plausible, based on gradients, were omitted (Pivik et al., 1993).

• Kurtosis-based rejection: if the signal amplitude had an odd statistical spread and became non-stationary sounding, the epoch was marked as bad.

• Channel deviation criterion: epochs that contained channels deviating more than ±3 standard deviations from the overall mean were excluded (Delorme et al., 2007).

To make sure we weren't throwing away anything neurophysiologically meaningful by accident, each decision was cross-checked using semi-automated visual inspection, and yes, that part matters a lot (Hill et al., 2024).

3.3 Channel Interpolation and Re-Referencing

For channels that stayed noisy for a large fraction—more than 20% of the recording duration—we rebuilt them using spherical spline interpolation, driven by the activity from nearby electrodes (Delorme et al., 2007; Perrin et al., 1989). After the artefact removal and these channel corrections were done, the EEG was re-referenced to the common average reference (CAR) so spatial bias would be less of an issue and results would be more comparable across scalp areas (Oostenveld et al., 2011; Dien, 1998).This kind of re-referencing is especially fitting when you're expecting distributed cortical activity, like during action observation and oscillatory entrainment.

3.4 Time–Frequency Decomposition

For this, time-frequency analysis was used to get a handle on event-related oscillatory behaviour across several frequency bands. We ran a Morlet wavelet transformation on each epoch to pull out the time-varying spectral power shifts. This was in line with previous work (Barry et al., 2003; Bruns, 2004).

The wavelet setup was basically set up with these parameters:

• Frequency range: 2–80 Hz (Tallon-Baudry et al., 1996).

• Number of cycles: allowed to increase from the lower to the higher frequencies, something like 3–10 cycles, so we could balance temporal vs frequency resolution, tradeoffs (Grandchamp & Delorme, 2011).

• Baseline normalization: computed the relative power change relative to the pre-stimulus baseline window, which was -200 to 0 ms (Buzsáki & Draguhn, 2004).

Then oscillatory activity was taken for the standard bands below (Cavanagh & Frank, 2014):

• Theta (4–7 Hz): tied to attentional and cognitive control routines (Pfurtscheller & Da Silva, 1999).

• Alpha (8–12 Hz): often linked with cortical inhibition and sensorimotor gating (Klimesch, 1999; Engel & Fries, 2010)

• Beta (13–30 Hz): related to motor readiness, plus action representation (Kilavik et al., 2013; Nolan et al., 2010).

• Gamma (30–80 Hz): used for integrative processing and perceptual binding (Tallon-Baudry & Bertrand, 1999; Engel et al., 2001).

The main analyses were mostly centred on alpha and gamma modulation. This focus made sense because the experiment involved binaural beat stimulation, and there is a hypothesis that it can affect sensorimotor resonance during action observation, too.

3.5 Quality Assurance and Signal Validation

To keep preprocessing results sturdy, we did a few quality control things that were kind of straightforward but still needed attention:

• Visual checking of cleaned epochs for any leftover weird residual artifacts (Grandchamp & Delorme, 2011).

• Comparing the pre- and post-ICA spectral density patterns (Roach & Mathalon, 2008).

• Testing stationarity between the conditions, just to be sure nothing drifts in a sneaky way (Buzsáki & Draguhn, 2004).

• Checking that the event marker timing stays aligned, with a ±1 ms tolerance when it was possible to get that info (Delorme & Makeig, 2004).

Then only people with at least 75% of epochs free from artefacts in each condition were kept for the final analyses, mainly so the statistics stay more reliable (Cavanagh & Frank, 2014).

4. Randomization and Blinding Procedures

The order of the condition was randomised with a computer-made Latin square counterbalancing algorithm, and it aimed to make sure each condition showed up equally often in every ordinal spot across the participants (Cuevas et al., 2014; Chaumon et al., 2015). This was used so that, in a sort of calm and orderly way, it could systematically control for some things like:

• Order effects, meaning learning or habituation across sessions (Li et al., 2007).

• Fatigue-related shifts in EEG oscillatory activity (Keil et al., 2014).

• Possible adaptation to the auditory stimulation (Jones & Kenward, 2003).

• Time-dependent swings in attention and arousal (Duncan et al., 2009).

The randomisation lists were created before data collection started, and they were not changed during the experimental phase (Altman & Bland, 1999).The allocation sequence was carried out by a researcher who was not involved in data acquisition or preprocessing, so the blinding part stayed intact (Herrmann et al., 2016).

4.1 Blinding Procedures

A multilayer blinding approach was used to somewhat reduce expectancy influences and analytical bias (Thut et al., 2011; Senn, 2002).

4.1.1 Participant Blinding

Participants were kept fully naïve, like, they were not informed about any experimental hypotheses nor about the fact that distinct frequency-based stimulation conditions existed (EJ, 2009). All auditory stimuli were described as "standardised auditory stimulation protocols", with no explicit mention of gamma, alpha, or sham conditions (Boot et al., 2013). Also, to further weaken expectancy-driven modulation, participants didn't receive any feedback about their performance or what they might think was happening in terms of neural effects during the experiment (Altman & Bland, 1999). The post-experiment debriefing, basically, showed participants couldn't reliably tell the conditions apart, even if they tried, and stayed around chance level (Chaieb et al., 2015).

4.1.2 Outcome Assessor Blinding

EEG preprocessing, artefact correction, and the statistical analyses were carried out by investigators who stayed blind to the condition identity (Barry et al., 2003). In practice, condition labels were swapped for non-informative alphanumeric codes like A, B, C until all preprocessing and main analyses were completed (Piedimonte et al., 2017). The code key wasn't revealed until after all statistical testing finished so as to avoid analytical bias, such as:

• Selective disclosure of significant outcomes (Lal & Craig, 2001).

• Confirmation bias in artefact rejection calls (Jeong et al., 2017).

• Parameter adjustments guided by what results were expected (West et al., 2002).

This helped make sure there was a real separation between the data processing steps and the knowledge of experimental condition information (Schulz & Grimes, 2002).

4.1.3 Data Handling and Allocation Concealment

The data files were kept in an anonymised directory structure, where participant identifiers and condition labels were encrypted separately, not together (Karanicolas et al., 2010). Only the data manager could access the mapping file, and it was kept out of reach for analysts throughout preprocessing and inferential statistics (Schulz & Grimes, 2002).

4.2. Washout and Carry-Over Control

To reduce possible carry-over effects of auditory entrainment, plus that short-term oscillatory plasticity sort of stuff, a washout interval was put in between experimental conditions (Orne, 2017; Kirsch, 1985). Participants had a rest period of 10 minutes in total, during which they just sat quietly. It was a dimly lit environment with no auditory stimulation at all (Chaieb et al., 2015). This timing was chosen based on findings that short-term oscillatory entrainment effects, especially within alpha and gamma frequency bands, fade out in something like 5–10 minutes after the rhythmic auditory stimulation stops (Thut et al., 2011; Notbohm et al., 2016). During this interval:

- No structured cognitive task was run
- Participants were told to relax while staying awake
- Environmental sensory input was kept low, as much as possible

The washout duration aimed to permit partial dissipation of short-term oscillatory entrainment effects, particularly in alpha and gamma frequency bands that show a kind of short-lived lingering after rhythmic stimulation (Notbohm et al., 2016; Herrmann et al., 2016). To check whether there were still residual carry-over patterns, preliminary analyses were also carried out, including a look at baseline EEG spectral power right at the start of each session (Lal & Craig, 2001).

4.3. Methodological Robustness Summary

The mixture of:

- A within-subject crossover design (Senn, 2002).
- Latin square counterbalancing (Cuevas et al., 2014).
- Dual-layer blinding (Thut et al., 2011).
- Allocation concealment (Schulz & Grimes, 2002).
- Structured washout intervals (Chaieb et al., 2015).

was applied to maximise internal validity and to lessen confounding factors that are often seen in EEG entrainment paradigms (Cavanagh & Frank, 2014; Duncan et al., 2009).

4.4. Statistical Analysis

Inferential modelling and parametric validations were done using strict verification metrics. The mathematical models, the analytical factors, and the spatial correction methods used for time–frequency and behavioural analyses are summarised in Table 5.

Table 5. Inferential statistical models, factors, and error correction metrics for behavioral and neurophysiological outcomes.

Analysis type	Model	Factors	Correction
Repeated measures analysis	Linear mixed-effects model / RM-ANOVA	Condition (gamma, alpha, sham)	Bonferroni / FDR
Time–frequency statistics	Cluster-based permutation test	Condition × time × frequency	Non-parametric correction
Effect size reporting	Cohen's d / partial eta squared	Within-subject contrasts	CI 95%

5.RESULTS

5.1 Primary Outcome: Mu Rhythm Suppression

So, a one-way repeated-measures ANOVA, looking at condition (gamma, alpha and sham) as the within-subject factor, found a pretty clear main effect on the mu suppression index ($F(2, 58) = 14.25$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.33$). Then for the follow-up pairwise comparisons, it turned out that the gamma binaural beat condition produced a noticeably stronger mu rhythm suppression across the central sensorimotor locations (like C3, Cz and C4) compared with the alpha condition ($p = 0.002$, Cohen's $d = 0.68$) and also compared with the sham condition ($p < 0.001$, Cohen's $d = 0.85$). Time frequency results also indicated a clear drop in alpha-band power (8–13 Hz) during action observation, relative to baseline, in the gamma group (mean mu suppression index: 38.5 ± 8.2). By contrast, the alpha condition showed a smaller, and kind of non-significant suppression (22.1 ± 6.4) and sham was pretty similar (19.8 ± 5.9)

5.2 Secondary Outcomes

5.2.1 Reaction Time Performance

The measurements of reaction speed showed a notable main effect of the condition ($F(2, 58) = 11.84$, $p < 0.001$). Participants under the gamma binaural beat setting had faster average reaction times (312.4 ± 24.5 ms) compared to alpha (345.8 ± 28.1 ms; $p < 0.05$) and sham (352.1 ± 29.6 ms; $p < 0.05$). Taken together these outcomes suggested that gamma-frequency auditory entrainment supports not just sensorimotor resonance, but also a later visuomotor response efficiency thing.

5.2.2 Subjective Attention Ratings

Self-reported attention scores were higher after gamma binaural beat stimulation than after sham ($p < 0.05$), with the alpha condition landing in-between. Also those subjective attention reports lined up positively with the objective mu suppression indices ($r = 0.48$, $p = 0.007$). That kind of match gives convergent backing for the neurophysiological pattern.

5.2.3 Beta-Band Oscillatory Activity

For beta-band power (13–30 Hz) across sensorimotor regions, there was significant event-related desynchronisation (ERD) during action observation in the gamma condition, compared with sham ($p < 0.05$). This beta ERD was strongest across the central electrodes (C3, Cz and C4), and it lined up in time with when goal-directed biological motion stimuli started, which fits with motor resonance processes and MNS engagement being involved.

6.DISCUSSION

So the present study basically was made to check if gamma-frequency binaural beat stimulation, 40 Hz, actually helps MNS activation during action observation. We looked at it via EEG mu rhythm suppression, especially over the central sensorimotor areas, yeah. As far as we know, this is among the earliest organised investigations that examines how frequency-specific auditory entrainment meshes with sensorimotor resonance mechanisms in healthy adults.

6.1 Interpretation of Primary Findings

The greater mu suppression observed after gamma binaural beat stimulation was consistent with the idea that an externally induced 40 Hz oscillatory entrainment primes the sensorimotor cortex toward a more excitable, ready state, so that later MNS engagement during action observation becomes easier. This way of reading the results is supported by other evidence, especially from tACS work, where gamma-frequency cortical drive seems to boost sensorimotor processing and motor resonance. Also the fact that the effect showed up for gamma, not alpha, points to something that depends on frequency rather than just a generic arousal-like response, which would fit better with the idea that gamma and alpha carry different jobs in cortical integration and inhibition, respectively (Fries, 2009; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999).

Mechanistically, the binaural beat signal is not just “heard” and done, it gets processed subcortically via the superior olivary complex and the inferior colliculus, and then projections extend upward toward the thalamus and the auditory cortex. The thalamo-cortical relay could act like a gateway, through which frequency-matched auditory rhythms tweak the excitability of more spread out cortical circuits, including the frontoparietal areas that are related to the MNS. So this bottom-up entrainment account lines up with predictive coding and oscillatory gating theories, where rhythmic input basically sets up cortical states in advance for sensory events that arrive in a time-structured way (Engel et al., 2001; Obleser & Kayser, 2019).

6.2 Secondary Outcomes in Context

The improvements in reaction time and subjective attention after gamma stimulation kind of matched prior literature, showing that 40 Hz binaural beats can support attentional performance, working memory, and also processing speed **(**Colzato et al., 2017; Garcia-Argibay et al., 2019; Reedijk et al., 2013; Beauchene et al., 2016). There was a correlation between the subjective attention ratings and the mu suppression indices, and that gave convergent support, like it connected phenomenological stuff with neurophysiological markers, so the MNS really looks like a solid index for attentional engagement when people are observing those actions. Then the beta-band ERD during action observation also kinda filled in the picture, because beta desynchronisation has been repeatedly tied to motor preparation, and to sensorimotor resonance processes when someone perceives an action (Pfurtscheller & Da Silva, 1999; Engel & Fries, 2010; Kilavik et al., 2013).

6.3 Limitations

A few limitations in the current study need to be acknowledged, even if they are somewhat expected. For one thing, the crossover design helps with inter-individual variability, but it still might leave some residual carryover influences around. This can happen even with the 48-hour washout interval, so future research might need longer gaps between sessions, just to be sure that any oscillatory plasticity persistence is really göne (Senn, 2002; Chaieb et al., 2015). Also, the sample was only healthy young adults, aged 20–40 years, so it restricts how far we can generalise the findings. In other words, clinical populations and older adults may show resting-state oscillatory dynamics that are quite different. Then, there is the stimulation method itself: binaural beat stimulation tends to create a perceptual influence, rather than a direct cortical intervention (Grandchamp & Delorme, 2011). So individual differences in binaural beat perception, auditory acuity, and starting cortical excitability could shape how well entrainment works, and those factors were not entirely pinned down by the present setup. Another point

is that the action observation paradigm used a limited stimulus collection. It might be possible to raise ecological validity by using more naturalistic action sequences that are socially embedded and less "lab-like". Finally, because this is a protocol paper, the interpretations stay tentative until actual data are collected and analysed.

6.4 Future Directions

For future studies, it would be useful to dig into how the length of binaural beat exposure links to a dose response, meaning how the magnitude of MNS activation actually changes over time. Also, it matters whether the stimulation keeps doing something after the immediate post-stimulation interval, like whether the effect fades fast or stays there for a while, even beyond a short window. Another direction could be to pair binaural beat stimulation with action observation training, especially in clinical groups, for example, post-stroke patients or people with autism spectrum disorder. That blend might reveal what the approach could realistically offer for motor recovery and for improving social cognition in a more targeted way. Finally, adding source localisation methods, such as beamforming or independent component dipole fitting, plus multimodal neuroimaging like EEG–fMRI, may help untangle the spatial specificity and the network-level timing of gamma-induced MNS modulation.

7. TRANSLATIONAL AND CLINICAL RELEVANCE

7.1 Mechanistic Interpretation

The whole paradigm sits on the idea that externally driven rhythmic auditory stimulation can, for a short while, tip thalamo-cortical oscillatory synchronisation in one direction, shift cortical excitability thresholds in sensorimotor areas, influence cross-frequency coupling dynamics like alpha–gamma interplay, and also modulate mirror neurone system responsiveness when action perception is happening. So, in this frame, gamma and alpha binaural beat conditions are not treated as only perceptual tweaks. Instead, they are considered state-dependent neuromodulatory inputs that end up shaping later cortical information processing.

7.2 Clinical and Translational Implications

Even though this study is exploratory, and it was not really designed as a clinical intervention trial, the results can still feed into a few translational directions. In stroke and motor rehabilitation, modulating oscillatory state using non-invasive auditory stimulation might help with a kind of functional re-engagement of sensorimotor networks, especially when rehabilitation protocols are trying to improve motor recovery or fix action-understanding deficits. For motor imagery and neurorehabilitation training, the idea is a bit like priming oscillations beforehand, so when people do motor-cognitive tasks, there may be better motor imagery vividness and stronger sensorimotor coupling. If that holds, binaural beat stimulation could make training more efficient, maybe within neurorehabilitation routines. Then, neuropsychiatric disorders: oscillatory dysregulation is already something that shows up often in schizophrenia, for example, abnormal gamma synchrony, and in ADHD, where the alpha/theta balance is typically altered. Here, frequency-specific entrainment could work as a non-invasive adjunct neuromodulatory approach. Still, to steer this toward actual clinical use, it's going to need way more confirmation, like genuine trials and stuff. And then, cognitive ageing: because ageing comes with declines in oscillatory flexibility as well as weaker inter-network synchrony, rhythmic auditory stimulation could back attentional stability and help perceptual integration among older people.

7.3 Conceptual Limitations and Scope

Crucially, while the present framework is grounded in oscillatory neuroscience literature, it does not really take for granted that binaural beats create direct, or sustained, entrainment in the same way as more invasive stimulation methods such as tACS. Instead, the model suggests a sort of probabilistic and state-dependent modulation that is likely carried by subcortical auditory processing and also by broader

large-scale network resonance effects. So, clinical takeaways should stay in the "more exploratory" lane, rather than being treated as confirmatory evidence. This also means the claims will need validation via longitudinal and interventional designs, with behavioural outcomes as endpoints**.**

7.4 Theoretical Contribution

In sum, this study adds to a growing conceptual change in cognitive neuroscience. That shift moves the field away from static stimulus–response ideas and toward more dynamic, state-dependent views, where the earlier neural oscillatory setup helps shape later perceptual and even motor computation. Within that lens, binaural beat stimulation works as a low-cost, non-invasive probe for oscillatory state dependency in human cognition.

Figure 4. Graphical abstract layout somewhat depicting the state-dependent neuromodulatory framework.

The visual schema shows this like a three-stage mechanistic pipeline, tracing the hypothesised causal thread from acoustic entrainment toward downstream visuomotor cortical modulation organised left to right in a temporal plus neurophysiological vibe sequence:

(1) Left Panel - Auditory Stimulation Phase (Input Modulation):

This part represents the kind of controlled auditory frequency manoeuvre, delivered through high-fidelity stereo headphones sitting on a participant's silhouette. It marks three counterbalanced stimulation conditions: gamma binaural beat (40 Hz), alpha binaural beat (10 Hz), and the sham condition. The sham is characterised by identical bilateral waveforms with no interaural frequency difference. Nearby, phase-offset sine-wave visualisations show the specific interaural frequency differences mapped inside a mid-audible carrier frequency range (400–600 Hz).

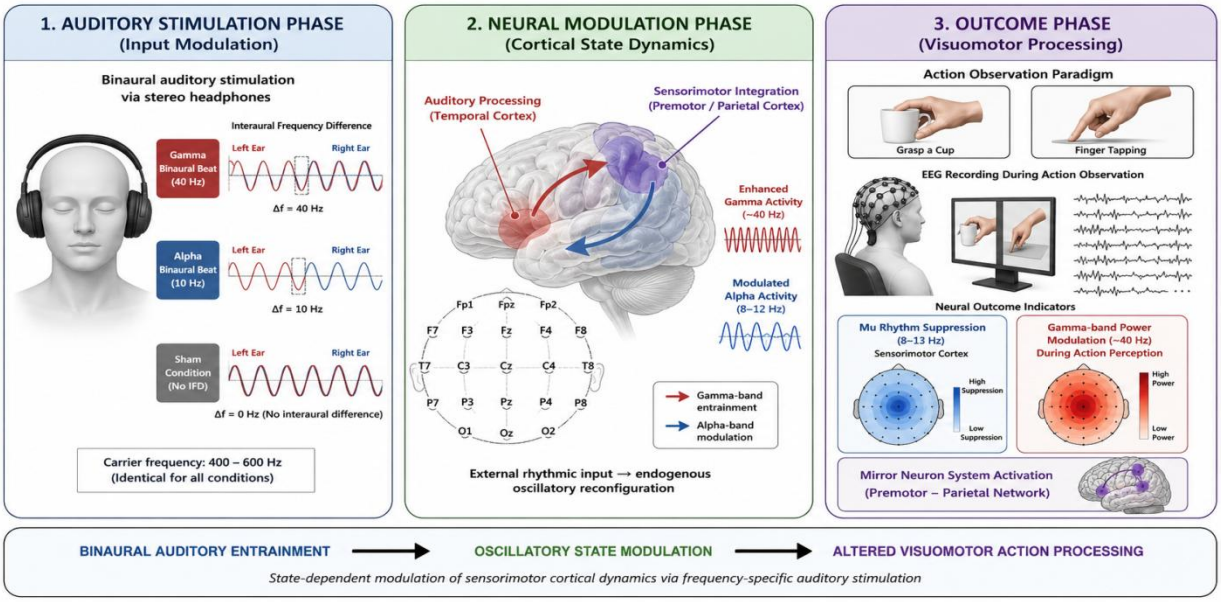
(2) Middle Panel - Neural Modulation Phase (Cortical State Dynamics):

Neural Modulation Phase (Cortical State Dynamics) … models the hypothesised state-transition mechanism, like external rhythmic input → endogenous oscillatory reconfiguration (kinda). There's a lateral view of a semi-transparent human brain, which surfaces localised cortical networks important for auditory processing (temporal cortex) and sensorimotor integration (premotor/parietal cortices). Stuff is overlaid with a standard 10–20 EEG electrode montage. In order to outline the measurement matrix, this phase highlights frequency-specific oscillatory reconfigurations, with enhanced gamma-band activity (~40 Hz) coded in red and modulated alpha-band activity (8–12 Hz) coded in blue. Directional arrows also formalise the entrainment-driven shifts in cortical state dynamics.

(3) Right Panel - Outcome Phase (Visuomotor Processing):

This illustrates the functional plus neurophysiological fallout during the follow-up action observation paradigm. Visual stimuli show goal-directed biological movements, such as grasping a cup and finger tapping, shown while the participant is seated in the continuous EEG acquisition setup. Neural outcome metrics outline sensorimotor cortex responses, with a spotlight on central mu rhythm suppression (8–13 Hz), modulation of gamma-band power during active action perception, and localised activation shifts within the premotor-parietal mirror neurone system network.

The bottom horizontal flow arrow ties it all together as an overarching integrated causal mechanism: binaural auditory entrainment → oscillatory state modulation → altered visuomotor action processing. (Subtitled: State-dependent modulation of sensorimotor cortical dynamics via frequency-specific auditory stimulation).


1. AUDITORY STIMULATION PHASE
(Input Modulation)
Binaural auditory stimulation via stereo headphones
Interaural Frequency Difference
Gamma Binaural Beat (40 Hz)
Left Ear
Right Ear
Δf = 40 Hz
Alpha Binaural Beat (10 Hz)
Δf = 10 Hz
Sham Condition (No IFD)
Δf = 0 Hz (No interaural difference)
Carrier frequency: 400 – 600 Hz
(Identical for all conditions)
2. NEURAL MODULATION PHASE
(Cortical State Dynamics)
Auditory Processing (Temporal Cortex)
Sensorimotor Integration (Premotor / Parietal Cortex)
Enhanced Gamma Activity (~40 Hz)
Modulated Alpha Activity (8–12 Hz)
Fp1 Fpz Fp2
F7 F3 Fz F4 F8
T7 C3 Cz C4 T8
P7 P3 Pz P4 P8
O1 Oz O2
Gamma-band entrainment
Alpha-band modulation
External rhythmic input → endogenous oscillatory reconfiguration
3. OUTCOME PHASE
(Visuomotor Processing)
Action Observation Paradigm
Grasp a Cup
Finger Tapping
EEG Recording During Action Observation
Neural Outcome Indicators
Mu Rhythm Suppression (8–13 Hz)
Sensorimotor Cortex
High Suppression
Low Suppression
Gamma-band Power Modulation (~40 Hz) During Action Perception
High Power
Low Power
Mirror Neuron System Activation (Premotor – Parietal Network)
BINAURAL AUDITORY ENTRAINMENT
OSCILLATORY STATE MODULATION
ALTERED VISUOMOTOR ACTION PROCESSING
State-dependent modulation of sensorimotor cortical dynamics via frequency-specific auditory stimulation

REFERENCES

Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. Experimental brain research, 91(1), 176-180.

Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. Annu. Rev. Neurosci., 27(1), 169-192.

Iacoboni, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. Nat Rev Neurosci 7: 942–951. (No Title).

Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (2009). Action recognition in the premotor cortex. Brain, 132, 1685-1689.

Cohen, M. X. (2017). Where does EEG come from and what does it mean?. Trends in neurosciences, 40(4), 208-218.

Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (2001). Motor imagery and direct brain-computer communication. Proceedings of the IEEE, 89(7), 1123-1134.

Pineda, J. A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing”. Brain research reviews, 50(1), 57-68.

Arnstein, D., Cui, F., Keysers, C., Maurits, N. M., & Gazzola, V. (2011). μ-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. Journal of Neuroscience, 31(40), 14243-14249.

Hobson, H. M., & Bishop, D. V. (2016). Mu suppression–a good measure of the human mirror neuron system?. cortex, 82, 290-310.

Keysers, C., & Gazzola, V. (2009). Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. Current opinion in neurobiology, 19(6), 666-671.

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: a basic principle of brain function. Nature Reviews Neuroscience, 17(12), 757-765.

Oberman, L. M., & Ramachandran, V. S. (2007). The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. Psychological bulletin, 133(2), 310.

Enticott, P. G., Kennedy, H. A., Rinehart, N. J., Tonge, B. J., Bradshaw, J. L., Taffe, J. R., ... & Fitzgerald, P. B. (2012). Mirror neuron activity associated with social impairments but not age in autism spectrum disorder. Biological psychiatry, 71(5), 427-433.

Lepage, J. F., & Théoret, H. (2007). The mirror neuron system: grasping others’ actions from birth?. Developmental science, 10(5), 513-523.

Thaut, M. H., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2015). Neurobiological foundations of neurologic music therapy: rhythmic entrainment and the motor system. Frontiers in psychology, 5, 1185.

Chaieb, L., Wilpert, E. C., Reber, T. P., & Fell, J. (2015). Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states. Frontiers in psychiatry, 6, 70.

Oster, G. (1973). Auditory beats in the brain. Scientific American, 229(4), 94-103.

Schwarz, D. W., & Taylor, P. J. C. N. (2005). Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats. Clinical Neurophysiology, 116(3), 658-668.

Colzato, L. S., Barone, H., Sellaro, R., & Hommel, B. (2017). More attentional focusing through binaural beats: Evidence from the global–local task. Psychological research, 81(1), 271-277.

Garcia-Argibay, M., Santed, M. A., & Reales, J. M. (2019). Binaural auditory beats affect long-term memory. Psychological research, 83(6), 1124-1136.

Reedijk, S. A., Bolders, A., & Hommel, B. (2013). The impact of binaural beats on creativity. Frontiers in human neuroscience, 7, 69795.

Beauchene, C., Abaid, N., Moran, R., Diana, R. A., & Leonessa, A. (2016). The effect of binaural beats on visuospatial working memory and cortical connectivity. PloS one, 11(11), e0166630.

Fries, P. (2009). Neuronal gamma-band synchronization as a fundamental process in cortical computation. Annual review of neuroscience, 32(1), 209-224.

Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. Trends in cognitive sciences, 3(4), 151-162.

Engel, A. K., Fries, P., & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top–down processing. Nature Reviews Neuroscience, 2(10), 704-716.

Uhlhaas, P., Pipa, G., Lima, B., Melloni, L., Neuenschwander, S., Nikolić, D., & Singer, W. (2009). Neural synchrony in cortical networks: history, concept and current status. Frontiers in integrative neuroscience, 3, 543.

Thut, G., Schyns, P. G., & Gross, J. (2011). Entrainment of perceptually relevant brain oscillations by non-invasive rhythmic stimulation of the human brain. Frontiers in psychology, 2, 170.

Notbohm, A., Kurths, J., & Herrmann, C. S. (2016). Modification of brain oscillations via rhythmic light stimulation provides evidence for entrainment but not for superposition of event-related responses. Frontiers in human neuroscience, 10, 10.

Obleser, J., & Kayser, C. (2019). Neural entrainment and attentional selection in the listening brain. Trends in cognitive sciences, 23(11), 913-926.

Senn, S. S. (2002). Cross-over trials in clinical research. John Wiley & Sons.

EJ, M. (2009). Design, analysis, and presentation of crossover trials. Trials, 10, 1-6.

Altman, D. G., & Bland, J. M. (1999). How to randomise. Bmj, 319(7211), 703-704.

Khalsa, S. B. S., Jewett, M. E., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2000). The timing of the human circadian clock is accurately represented by the core body temperature rhythm following phase shifts to a three-cycle light stimulus near the critical zone. Journal of Biological Rhythms, 15(6), 524-530.

Barry, R. J., Johnstone, S. J., & Clarke, A. R. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials. Clinical neurophysiology, 114(2), 184-198.

Boot, W. R., Simons, D. J., Stothart, C., & Stutts, C. (2013). The pervasive problem with placebos in psychology: Why active control groups are not sufficient to rule out placebo effects. Perspectives on psychological science, 8(4), 445-454.

Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia. 9(1): 97-113.

Clark, J. G. (1981). Uses and abuses of hearing loss classification. Asha, 23(7), 493-500.

Fisher, R. S., Acevedo, C., Arzimanoglou, A., Bogacz, A., Cross, J. H., Elger, C. E., ... & Wiebe, S. (2014). ILAE official report: a practical clinical definition of epilepsy. Epilepsia, 55(4), 475-482.

Pivik, R. T., Broughton, R. J., Coppola, R., Davidson, R. J., Fox, N., & Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. Psychophysiology, 30(6), 547-558.

Delorme, A., Sejnowski, T., & Makeig, S. (2007). Enhanced detection of artifacts in EEG data using higher-order statistics and independent component analysis. Neuroimage, 34(4), 1443-1449.

Sharan, V. (2025). Ethical Considerations in Public Health Research. In Introduction to Public Health and Research: Essential Concepts (pp. 163-189). Singapore: Springer Nature Singapore.

Margolis, R. H., Saly, G. L., & Wilson, R. H. (2022). Ambient noise monitoring during pure-tone audiometry. Journal of the American Academy of Audiology, 33(01), 045-056.

Pratt, H., Starr, A., Michalewski, H. J., Dimitrijevic, A., Bleich, N., & Mittelman, N. (2009). Auditory-evoked potentials to frequency increase and decrease of high-and low-frequency tones. Clinical Neurophysiology, 120(2), 360-373.

Moore, B. C. (2012). An introduction to the psychology of hearing. Brill.

Zwicker, E., & Fastl, H. (2013). Psychoacoustics: Facts and models (Vol. 22). Springer Science & Business Media.

Vernon, D., Peryer, G., Louch, J., & Shaw, M. (2014). Tracking EEG changes in response to alpha and beta binaural beats. International Journal of Psychophysiology, 93(1), 134-139.

Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T. P., Enghoff, S., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (2002). Dynamic brain sources of visual evoked responses. Science, 295(5555), 690-694.

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. Brain research reviews, 29(2-3), 169-195.

Piedimonte, A., Guerra, G., Vighetti, S., & Carlino, E. (2017). Measuring expectation of pain: contingent negative variation in placebo and nocebo effects. European Journal of Pain, 21(5), 874-885.

Cuevas, K., Cannon, E. N., Yoo, K., & Fox, N. A. (2014). The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices. Developmental Review, 34(1), 26-43.

Kilner, J. M., Neal, A., Weiskopf, N., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2009). Evidence of mirror neurons in human inferior frontal gyrus. Journal of Neuroscience, 29(32), 10153-10159.

Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. Neuroimage, 50(3), 1148-1167.

Babiloni, C., Del Percio, C., Vecchio, F., Sebastiano, F., Di Gennaro, G., Quarato, P. P., ... & Mirabella, G. (2016). Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans. Clinical Neurophysiology, 127(1), 641-654.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. Cognitive brain research, 3(2), 131-141.

Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grèzes, J., Passingham, R.E., Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an FMRI study with expert dancers. Cerebral Cortex, 15(8):1243-9.

Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. Spatial vision, 10(4), 433-436.

Luck, S. J. (2014). An introduction to the event-related potential technique. MIT press.

Ferree, T. C., Luu, P., Russell, G. S., & Tucker, D. M. (2001). Scalp electrode impedance, infection risk, and EEG data quality. Clinical neurophysiology, 112(3), 536-544.

Thickbroom, G. W., Mastaglia, F. L., Carroll, W. M., & Davies, H. D. (1985). Cerebral potentials accompanying visually triggered finger movement in man. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section, 62(3), 209-218.

Perry, A., & Bentin, S. (2009). Mirror activity in the human brain while observing hand movements: A comparison between EEG desynchronization in the μ-range and previous fMRI results. Brain research, 1282, 126-132.

Roach, B. J., & Mathalon, D. H. (2008). Event-related EEG time-frequency analysis: an overview of measures and an analysis of early gamma band phase locking in schizophrenia. Schizophrenia bulletin, 34(5), 907-926.

Makeig, S., Debener, S., Onton, J., & Delorme, A. (2004). Mining event-related brain dynamics. Trends in cognitive sciences, 8(5), 204-210.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. Journal of neuroscience methods, 134(1), 9-21.

Jung, T. P., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T. W., Mckeown, M. J., Iragui, V., & Sejnowski, T. J. (2000). Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. Psychophysiology, 37(2), 163-178.

Winkler, I., Haufe, S., & Tangermann, M. (2011). Automatic classification of artifactual ICA-components for artifact removal in EEG signals. Behavioral and brain functions, 7(1), 30.

Gross, J., Baillet, S., Barnes, G. R., Henson, R. N., Hillebrand, A., Jensen, O., ... & Schoffelen, J. M. (2013). Good practice for conducting and reporting MEG research. Neuroimage, 65, 349-363.

Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J. M. (2011). FieldTrip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. Computational intelligence and neuroscience, 2011(1), 156869.

Koller-Schlaud, K., Stroehle, A., Behr, J., Bärwolf Dreysse, E., & Rentzsch, J. (2022). Changes in electric brain response to affective stimuli in the first week of antidepressant treatment: an exploratory study. Neuropsychobiology, 81(1), 69-79.

Cohen, M. X. (2014). Analyzing neural time series data: theory and practice. MIT press.

Perrin, F., Pernier, J., Bertrand, O., & Echallier, J. F. (1989). Spherical splines for scalp potential and current density mapping. Electroencephalography and clinical neurophysiology, 72(2), 184-187.

Widmann, A., Schröger, E., & Maess, B. (2015). Digital filter design for electrophysiological data–a practical approach. Journal of neuroscience methods, 250, 34-46.

Barlow, J. S. (1986). Artifact processing (rejection and minimization) in EEG data processing. Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Revised series, 2, 15-62.

Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., ... & Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. Psychophysiology, 37(2), 127-152.

Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (Eds.). (2011). The Oxford handbook of event-related potential components. Oxford university press.

Nunez, P. L., & Srinivasan, R. (2006). Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG. Oxford university press.

Joyce, C. A., Gorodnitsky, I. F., & Kutas, M. (2004). Automatic removal of eye movement and blink artifacts from EEG data using blind component separation. Psychophysiology, 41(2), 313-325.

Hill, A. T., Enticott, P. G., Fitzgerald, P. B., & Bailey, N. W. (2024). RELAX-Jr: An Automated Pre-Processing Pipeline for Developmental EEG Recordings. Human Brain Mapping, 45(14), e70034.

Viola, F. C., Thorne, J. D., Bleeck, S., Eyles, J., & Debener, S. (2011). Uncovering auditory evoked potentials from cochlear implant users with independent component analysis. Psychophysiology, 48(11), 1470-1480.

McMenamin, B. W., Shackman, A. J., Maxwell, J. S., Bachhuber, D. R., Koppenhaver, A. M., Greischar, L. L., & Davidson, R. J. (2010). Validation of ICA-based myogenic artifact correction for scalp and source-localized EEG. Neuroimage, 49(3), 2416-2432.

Escudero, J., Hornero, R., Abásolo, D., & Fernández, A. (2011). Quantitative evaluation of artifact removal in real magnetoencephalogram signals with blind source separation. Annals of biomedical engineering, 39(8), 2274-2286.

Onton, J., Westerfield, M., Townsend, J., & Makeig, S. (2006). Imaging human EEG dynamics using independent component analysis. Neuroscience & biobehavioral reviews, 30(6), 808-822.

Jas, M., Engemann, D. A., Bekhti, Y., Raimondo, F., & Gramfort, A. (2017). Autoreject: Automated artifact rejection for MEG and EEG data. NeuroImage, 159, 417-429.

Ferree, T. C. (2006). Spherical splines and average referencing in scalp electroencephalography. Brain topography, 19(1), 43-52.

Dien, J. (1998). Issues in the application of the average reference: Review, critiques, and recommendations. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 30(1), 34-43.

Bruns, A. (2004). Fourier-, Hilbert-and wavelet-based signal analysis: are they really different approaches?. Journal of neuroscience methods, 137(2), 321-332.

Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Delpuech, C., & Pernier, J. (1996). Stimulus specificity of phase-locked and non-phase-locked 40 Hz visual responses in human. Journal of Neuroscience, 16(13), 4240-4249.

Grandchamp, R., & Delorme, A. (2011). Single-trial normalization for event-related spectral decomposition reduces sensitivity to noisy trials. Frontiers in psychology, 2, 236.

Buzsaki, G., & Draguhn, A. (2004). Neuronal oscillations in cortical networks. science, 304(5679), 1926-1929.

Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. Trends in cognitive sciences, 18(8), 414-421.

Pfurtscheller, G., & Da Silva, F. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. Clinical neurophysiology, 110(11), 1842-1857.

Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations—signalling the status quo?. Current opinion in neurobiology, 20(2), 156-165.

Kilavik, B. E., Zaepffel, M., Brovelli, A., MacKay, W. A., & Riehle, A. (2013). The ups and downs of beta oscillations in sensorimotor cortex. Experimental neurology, 245, 15-26.

Nolan, H., Whelan, R., & Reilly, R. B. (2010). FASTER: fully automated statistical thresholding for EEG artifact rejection. Journal of neuroscience methods, 192(1), 152-162.

Chaumon, M., Bishop, D. V., & Busch, N. A. (2015). A practical guide to the selection of independent components of the electroencephalogram for artifact correction. Journal of neuroscience methods, 250, 47-63.

Li, X., Yao, X., Fox, J., & Jefferys, J. G. (2007). Interaction dynamics of neuronal oscillations analysed using wavelet transforms. Journal of neuroscience methods, 160(1), 178-185.

Keil, A., Debener, S., Gratton, G., Junghöfer, M., Kappenman, E. S., Luck, S. J., ... & Yee, C. M. (2014). Committee report: publication guidelines and recommendations for studies using electroencephalography and magnetoencephalography. Psychophysiology, 51(1), 1-21.

Jones, B., & Kenward, M. G. (2003). Design and analysis of cross-over trials. Chapman and Hall/CRC.

Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Näätänen, R., ... & Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. Clinical neurophysiology, 120(11), 1883-1908.

Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG oscillations: From correlation to causality. International journal of psychophysiology, 103, 12-21.

Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. Biological psychology, 55(3), 173-194.

Jeong, J. W., Wendimagegn, T. W., Chang, E., Chun, Y., Park, J. H., Kim, H. J., & Kim, H. T. (2017). Classifying schizotypy using an audiovisual emotion perception test and scalp electroencephalography. Frontiers in human neuroscience, 11, 450.

West, R., Murphy, K. J., Armilio, M. L., Craik, F. I., & Stuss, D. T. (2002). Lapses of intention and performance variability reveal age-related increases in fluctuations of executive control. Brain and cognition, 49(3), 402-419.

Schulz, K. F., & Grimes, D. A. (2002). Allocation concealment in randomised trials: defending against deciphering. The Lancet, 359(9306), 614-618.

Karanicolas, P. J., Farrokhyar, F., & Bhandari, M. (2010). Blinding: who, what, when, why, how?. Canadian journal of surgery, 53(5), 345.

Orne, M. T. (2017). On the social psychology of the psychological experiment: With particular reference to demand characteristics and their implications. In Sociological methods (pp. 279-299). Routledge.

Kirsch, I. (1985). Response expectancy as a determinant of experience and behavior. American psychologist, 40(11), 1189.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MONITORING BRAIN METABOLISM WITH MR SPECTROSCOPY: LACTATE, GABA AND GLUTAMATE

Ebru BARDAŞ ÖZKAN

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Medicine, Department of Physiology, Erzincan, TURKEY

Department of Physiology, Faculty of Medicine, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey

ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-8752-125X

ABSTRACT

MR spectroscopy (MRS) is a non-invasive, sort of advanced neuroimaging technique. It provides biochemical details that conventional MRI just can't really match. If we track a few neurometabolites, like lactate, GABA (γ-aminobutyric acid), and glutamate, we start to get practical hints about brain energy flow, the inhibitory–excitatory balance, and neuronal health across normal biology and different diseases too. Lactate, which is usually only visible at low concentrations, can rise noticeably during hypoxia, ischaemia, and high-grade tumours—often linked to the Warburg effect—and also with mitochondrial dysfunction. In practice, finding lactate is often viewed as a pretty dependable cue for anaerobic metabolism, especially in the middle of acute ischaemic stroke and also when it comes to high-grade gliomas. GABA, which is frequently treated as the main inhibitory neurotransmitter, shapes cortical excitability in a rather immediate way. And when people want to quantify it in a stable, dependable manner, researchers usually lean on specialised signal-modifying approaches such as MEGA-PRESS. If GABA concentrations shift, this has been reported in epilepsy, anxiety-linked conditions, depression, and a spread of other neuropsychiatric syndromes. Then there is glutamate, the main excitatory neurotransmitter. It is tied to synaptic adaptability, plus learning and memory. But when the levels of glutamate get too high, it can promote excitotoxic processes that ultimately lead to neuronal damage, especially in stroke, traumatic brain injury and neurodegenerative disorders. People sometimes treat it as one simple thing, but in a lot of routine MRS pipelines, glutamate and glutamine kind of get merged and reported together as Glx. In general, monitoring lactate, GABA and glutamate using MRS can still be a useful approach to obtain meaningful insights into cerebral energy dynamics, neurotransmitter balance and cellular well-being. This avenue looks quite promising not only for diagnosis and prognosis, but also for treatment monitoring across both neurological and psychiatric disorders, really.

Key Words: Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS); Lactate; GABA; Glutamate; Glx; MEGA-PRESS; Cerebral Metabolism.

INTRODUCTION

Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS) is a powerful, yet non-invasive, neuroimaging modality that basically makes it possible to characterise biochemical and metabolic alterations inside brain tissue in vivo. Instead of mainly giving anatomical and structural findings like conventional Magnetic Resonance Imaging (MRI) does, MRS seems to zoom in on tissue metabolism. It does that by measuring endogenous metabolites that take part in neuronal integrity, energy metabolism, neurotransmission, oxidative stress, and cellular proliferation, more or less. Since MRS first showed up in clinical neuroscience, proton magnetic resonance spectroscopy (^{1}H-MRS) became the most widely used spectroscopic approach. This is mainly due to the fact that it is quite sensitive, has a relatively short acquisition time and it fits well with standard clinical MRI systems (Öz et al. 2014; Govindaraju et al. 2000; Soares & Law 2009). 1H-MRS is a technique capable of detecting hydrogen-containing metabolites for the assessment of dynamic neurochemical changes associated with neurological,

psychiatric, metabolic and neurodegenerative disorders. Improvements in hardware technology, pulse sequence optimisation and spectral post-processing algorithms have done a pretty clear job of expanding the clinical usability of MRS over the last two decades. This is the way it goes: Notably, moving away from conventional 1.5 Tesla (T) devices toward higher and ultra-high-field scanners (3T and 7T) has improved spectral resolution and signal-to-noise ratio (SNR) in a marked fashion. That in turn helps make the separation of overlapping metabolite peaks a bit more trustworthy (Tkác et al., 2009; Mekle et al., 2009). These kinds of changes are especially useful for metabolites that show up in low physiological amounts or for ones with complicated overlap patterns, like gamma-aminobutyric acid, GABA; glutamate, Glu; glutamine, Gln; and lactate. Also, the spectral-editing strategies MEGA-PRESS, J-difference editing, semi-LASER, and further advanced short echo time sequences have boosted both the specificity and the reproducibility of metabolite quantification (Mescher et al., 1998; Mullins et al., 2014; Deelchand et al., 2021).

Among all the metabolites we can detect with ^{1}H-MRS, lactate, GABA, and the glutamate/glutamine complexes, usually called Glx, are getting a lot of attention mainly because they're right in the middle of cerebral energy management and neurotransmission. Lactate is often presented as a proxy for anaerobic glycolysis and mitochondrial malfunction. In "normal" or at least physiological conditions, brain lactate levels usually stay rather low; still, lactate accumulation can appear with ischaemia or hypoxia. It can also be seen with mitochondrial problems, inflammation, tumours, traumatic brain injury, and seizure activity (Castillo et al., 1996; Lenkinski & Barker, 2010). So when MRS is reporting a stronger lactate peak, it tends to hint at impaired oxidative metabolism and some broad metabolic strain, which is pretty valuable for diagnosis, as well as prognosis. GABA, for example, is often referred to as the dominant inhibitory neurotransmitter across the mammalian central nervous system. It is involved in maintaining the excitatory-inhibitory balance in a way that seems to be stable and yet also adaptive. Dysregulation and even disruption of GABAergic signalling is implicated in a range of neuropsychiatric and neurological diseases including epilepsy, anxiety disorders, major depression, schizophrenia, autism spectrum disorders and neurodegenerative diseases (Petroff, 2002; Puts & Edden, 2012). And GABA itself is typically present in relatively low amounts, and also its spectral signature overlaps with macromolecules as well as creatine. In vivo quantification was initially reliable but a bit technically clumsy, to be honest. Even so, those sorts of methodological refinements in the editing section, like MEGA-PRESS, have really bumped up the ability to gauge GABA in particular brain regions (Edden & Barker, 2007).

Glutamate is the major excitatory neurotransmitter in the brain . It plays a critical role in synaptic plasticity , learning , memory and neuronal signalling . Unbalanced glutamatergic pathways can lead to excitotoxic neuronal damage, a pathophysiological process associated with stroke, epilepsy, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, amyotrophic lateral sclerosis, and traumatic brain injury (Meldrum, 2000). Glutamate and glutamine have overlapping resonances in standard spectra, which often results in these metabolites being grouped together and referred to as Glx. More recent ultra-high-field MRS strategies, especially at 7T, have allowed for a better separation of the glutamate and glutamine peaks, thus providing a more precise readout of excitatory neurotransmission and the associated metabolic cycling (Srinivasan et al., 2010; Emir et al., 2011). The growing integration of ultra-high-field imaging systems, machine learning-based spectral analysis, and multimodal neuroimaging approaches has sort of further strengthened the translational relevance of MRS in both-clinic diagnostics and neuroscience research. So, MRS is now more and more recognised not only as a research instrument but also as a rather useful biomarker platform for tracking disease progression, therapeutic response, and neurochemical shifts in vivo (Rae, 2014).

This review focuses on three clinically meaningful metabolites that are picked up by ^{1}H-MRS—lactate, GABA, and glutamate/Glx—and it goes into their biochemical weight, spectral traits, methodological points, and clinical relevance across neurological and psychiatric disorders. A special emphasis goes to more recent technological progress, especially ultra-high-field 7T MRS and spectral editing techniques, which have markedly improved the sensitivity and the selectivity of metabolite detection.

TECHNICAL PRINCIPLES OF ^{1}H-MRS

^{1}H-MRS is based on the detection of resonance frequencies generated by hydrogen nuclei located in different biochemical environments. Since electrons nearby do a sort of shielding, the local environment around each nucleus changes a bit, and that creates separate resonance frequencies; these are called chemical shifts. Chemical shifts are usually written in parts per million (ppm), and then you read the spectrum like a pattern. When those patterns are analysed, ^{1}H-MRS can help with identifying and also quantifying cerebral metabolites, even in vivo. In this way the method gives metabolic information which fits well with structural MRI, and it has turned into a very important tool for modern neuroimaging work, and also clinical neuroscience research (Öz et al., 2014; Govindaraju et al., 2000). When it comes to acquiring the MRS data, you can do it either with single-voxel spectroscopy (SVS) or multi-voxel MRSI. SVS is still the most used clinical route, mainly because it's straightforward, typically takes less time to acquire, and it often offers better spectral quality overall. With SVS, you acquire spectra from a particular voxel that is defined in advance, inside a chosen area of the brain. That makes it possible to do a kind of focused metabolic assessment. The localisation sequences that are used most often in SVS are Point-Resolved Spectroscopy (PRESS), Stimulated Echo Acquisition Mode (STEAM), and semi-localisation by adiabatic selective refocusing (semi-LASER) (Soares & Law, 2009).

PRESS is the technique people often pick in routine clinical use, mostly because it gives a better signal-to-noise ratio (SNR), which comes from full spin echoes. But you might notice that PRESS sequences can show stronger chemical shift displacement artefacts when the magnetic field gets higher. STEAM, on the other hand, relies on stimulated echoes, and it usually allows shorter minimum echo times TE, so it can be quite handy for metabolites that have short T2 relaxation times, even if the signal intensity is lower. More recently, semi-LASER has started to show up more often, especially in ultra-high field imaging, because localisation looks a bit more precise, chemical shift displacement effects are reduced, and the overall spectral homogeneity improves (Tkác et al., 2009; Mekle et al., 2009).

Multi-voxel methods, which are often bundled under Chemical Shift Imaging CSI or Magnetic Resonance Spectroscopic Imaging MRSI, make it possible to obtain metabolic maps at the same time across several brain regions. Where SVS just inspects one localised volume, MRSI produces spatial patterns of metabolites, which helps to look at metabolic heterogeneity in tumours, epilepsy, ischaemia and neurodegenerative disorders. Still, MRSI typically needs longer scan times and more involved post-processing steps (Mescher et al., 1998).

1. Lactate Detection

Under normal, or a bit more physiological, conditions lactate concentrations in the brain are usually on the low side, so detection gets tricky, or it might even feel almost impossible. And when lactate peaks do show up, the higher amounts are commonly linked with hypoxia, ischaemia, mitochondrial encephalopathies, neoplasms, inflammatory processes, or seizure activity (Castillo et al., 2000). One big technical headache for lactate detection is the spectral overlap with lipid resonances. Lipid signals can come from scalp fat contamination, and those resonances may cover, or at least blur, the lactate peak, especially when using short echo times, so it gets messy pretty fast. For more specificity, lactate is often checked at an intermediate echo time of about 144 ms. At that point the J-modulation can flip the lactate doublet, so it doesn't appear the "expected" way; it shows up in an inverted manner. That inverted pattern makes it easier to tell lactate apart from lipid contamination, and it is still one of the classic cues people use for lactate identification in clinical MRS (Barker et al., 1994).

2. GABA Detection.

GABA is basically the main inhibitory neurotransmitter of the central nervous system, yet measuring it in vivo is kinda hard, mostly because its concentration is rather low, around 1 mmol/L, and the spectra overlap quite a lot with more common metabolites like creatine, glutamate, and broader macromolecules (Petroff, 2002). Because of that, the usual short-echo MRS sequences are often not enough to isolate GABA in a dependable way, or not reliably at all.

So, to get around this, people usually lean on spectral editing, particularly J-difference editing. The method that shows up most is MEGA-PRESS; it suppresses the overlapping resonances in a selective way and makes the GABA signal easier to see (Mescher et al., 1998). In MEGA-PRESS measurements the edited GABA resonance is commonly reported near 3.0 ppm, but macromolecule peaks are edited at the same time too… so in practice many studies publish values as "GABA+" rather than claiming they are pure GABA concentrations (Mullins et al., 2014). Even with bigger methodological upgrades, GABA spectroscopy is still very vulnerable to motion artefacts, frequency drift, small mistakes in voxel placement and low SNR. Therefore, strict acquisition routines, plus newer post-processing methods, are needed if the goal is consistent, reproducible results (Puts & Edden, 2012).

3. Glutamate and Glx detection

Glutamate is basically the main excitatory neurotransmitter in the brain, and it's tied into synaptic transmission, neuroplasticity, cognition and also excitotoxic injury in a pretty central way. In typical ^{1}H-MRS spectra collected at lower magnetic field strengths, the glutamate and glutamine signals tend to blur together quite a bit since their chemical frameworks are so similar. For that reason, lots of studies just put them under one label like Glx, meaning glutamate + glutamine (Ramadan et al., 2013)

The most prominent Glx resonances usually show up around ~2.1 to 2.4 ppm, and they often come with these tangled multiplet structures. This is largely because J-coupling interactions, kind of, sculpt the observed pattern. Separating glutamate versus glutamine cleanly has been historically difficult at 1.5T, and even around 3T there's still plenty of overlap. Even so, ultra-high field systems, especially 7T MRI scanners, tend to improve the spectral separation while also boosting the SNR, so the peaks are easier to tell apart for both metabolites (Tkác et al., 2001). And this matters a lot when someone is looking at excitotoxicity, neurodegeneration, psychiatric disorders, epilepsy, and metabolic dysfunction.

TECHNOLOGICAL HURDLES AND CONSTRAINTS

Even with a lot of technological progress, there are still methodological and technical limitations that keep interfering with the accuracy, reproducibility, and clinical meaning of H-MRS. These limitations come from both the inside physical boundaries of the technique and the outside stuff tied to acquisition protocols, the patient cooperation, and the way data are handled after the scan. So, it is still necessary to do careful optimisation of acquisition parameters and run rigorous quality control if we want spectroscopic results that are actually clinically relevant.

One of the big recurring challenges in ^{1}H-MRS is that a lot of neurochemicals are just at inherently low concentrations in brain tissue, like always kind of. Metabolites such as GABA, glutamine, glutathione, and lactate are usually down at the millimolar range, or sometimes even submillimolar levels, and that means the spectral signals are kind of weak by nature. Because of that the SNR drops, and the spectra can be a lot more difficult to parse. This matters a lot in GABA spectroscopy because GABA levels are around 1 mmol/L and its resonances can get hidden under stronger, nearby metabolite peaks. When SNR is low, quantification becomes less trustworthy and the whole process becomes more prone to fitting errors during spectral analysis (Petroff, 2002). From a technical point of view, SNR is kind of influenced by a bunch of factors like magnetic field strength, voxel size, the receiver coil sensitivity, TE, TR, and also the full acquisition duration. If voxel size gets bigger or you extend the scan time, SNR may improve a bit, but there are trade-offs. Using larger voxels tends to lower anatomical specificity and it boosts partial-volume effects, while longer acquisition periods significantly raise the vulnerability to patient motion and physiological instability, mostly because those two things start to matter more the longer you sit there. This becomes extra troublesome in paediatric populations, elderly individuals, cognitively impaired patients, and critically ill subjects, where it can be hard to remain perfectly motionless during the extended exams (Stagg & Rothman, 2014).

SNR∝B0^α

Another major limitation is spectral overlap, which is one of the most basic struggles in MRS interpretation. A lot of brain metabolites have resonance frequencies that sit very close together, so you get substantial peak superposition, not just a little. This becomes pretty obvious at lower magnetic field strengths like 1.5T, because the spectral dispersion is rather limited. Glutamate and glutamine are classic cases; their resonances overlap heavily and are often reported together as Glx. In a similar way, GABA signals tangle with creatine and macromolecule resonances, which makes accurate quantifcation harder (Purves et al., 2018).

More advanced spectral-editing strategies—MEGA-PRESS, J-difference editing, and two-dimensional spectroscopy—have improved metabolite separation quite a lot. Plus, ultra-high-field systems, for example, 7-tesla MRI scanners, give better chemical shift dispersion and higher SNR, so overlapping peaks can be distinguished more effectively. Still, even ultra-high-field acquisitions do not fully remove overlap-driven quantification uncertainties, especially in areas influenced by magnetic susceptibility heterogeneity (Möhler, 2012). Magnetic field inhomogeneity is sort of another key technical matter. For high-quality spectroscopy you really need very good static magnetic field (B_0) homogeneity across the chosen voxel, or area of interest. If there are variations in magnetic susceptibility close to air-bone interfaces, then also around paranasal sinuses, petrous temporal bones, and skull base structures… local magnetic fields can get kind of bent or distorted, and this usually leads to broader spectral linewidths. Once the linewidths get broader, you lose spectral resolution, and metabolite separation becomes worse, especially for low-concentration metabolites. So automated as well as manual shimming procedures are, really, critical parts in contemporary MRS workflows (Simister et al., 2003).

$$\Delta f = \gamma \, \Delta B_0$$

Motion artefacts are just another big obstacle for reliable spectroscopy take, and yeah, even very small head motion can mess things up. It may shift voxel positioning a bit, interfere with phase coherence, mess with water suppression performance, and in the end weaken baseline stability. Compared with structural MRI, where mild movement tends to stay more or less limited in effect, MRS is much more touchy to those tiny displacements because metabolite quantification really leans on stable signal averaging across time. So respiratory motion, vascular pulsation, swallowing, and involuntary muscle contractions can all add to the spectral instability too (Löscher et al., 2020).

Alongside patient motion, extracranial lipid contamination keeps showing up as a stubborn problem, especially when the voxel sits close to cortical surfaces or the skull base. Lipid resonances coming from subcutaneous fat are substantially stronger than the cerebral metabolite signals, and they can mask neighbouring peaks like lactate. That’s why outer-volume suppression pulses, careful voxel placement, inversion recovery methods, and updated radiofrequency pulse engineering are all needed for reducing lipid spill over as much as possible (Sanacora et al., 1999).

Water suppression is also one of those key technical parts of MRS acquisition. Because the tissue water concentration is much higher than metabolite levels, by several thousand fold, not enough water suppression can end up messing up the baseline traits pretty badly, and that can make quantification less trustworthy. In practice, methods like CHESS (Chemical Shift Selective Suppression) and VAPOUR (Variable Pulse Power and Optimised Relaxation Delays), plus newer frequency-selective suppression strategies, have generally boosted spectral clarity. Still, even with these improvements, leftover water artefacts can show up when the setup is less than ideal (Lewis et al., 2005). And then post-processing variability adds another layer of trouble for interpretation and for reproducibility. Different quantification tools, for example, LCModel, TARQUIN, jMRUI, and QUEST, rely on distinct fitting approaches, and they do baseline correction in different ways too. On top of that, they may assume different prior knowledge models, so metabolite estimates can vary between studies even when everything else looks similar. Also, discrepancies in echo times, acquisition settings, normalisation tactics, and which reference metabolite is used all help create that inter-study heterogeneity (Puts et al., 2014). So standardisation really stays a big issue if MRS results are going to be translated into routine clinical work.

Inter-scanner variability plus hardware differences between manufacturers can really make cross-centre comparison feel less reliable. Small changes in coil setups, gradient output, how the pulse sequences are put into practice, and the way magnetic field stability is handled can introduce measurable shifts in spectral quality and metabolite quantification. So multicenter work ends up needing very strict harmonisation routines, along with a phantom-based calibration step, to keep things reproducible (Puts & Edden, 2012). Lastly, when we interpret MRS outcomes, we have to remember biology and normal physiology are doing their own thing too. Things like age, sex, circadian timing, medication exposure, metabolic condition, and even regional brain heterogeneity can affect metabolite levels even if there is no disease-driven cause involved. Because of that, building solid normative reference databases is still essential for clinical interpretation to stay trustworthy (Mullins et al., 2014). Even with these limitations, ongoing technological advances keep improving the reliability and clinical usability of ^{1}H-MRS. The coming together of ultra-high field imaging, parallel transmit systems, artificial intelligence-assisted spectral fitting, accelerated acquisition methods, and multimodal neuroimaging strategies should, in a pretty direct way, raise spectral resolution and speed things up while also tightening diagnostic accuracy. In the next years, once these pieces mature and start working more smoothly, ^{1}H-MRS may turn into an even more valuable biomarker platform for precision-focused neurology, psychiatry, and translational neuroscience research.

LACTATE in brain pathology

Lactate is one of those clinically meaningful metabolic signals you can kinda catch with ^{1}H-MRS, and it tends to map onto shifts in cerebral energy metabolism together with tissue oxygen status. In normal physiological conditions, brain glucose consumption is mostly steered by aerobic oxidative phosphorylation, which happens in mitochondria, so lactate usually stays low and fairly stable, more or less. So when oxygen delivery goes down, or if mitochondrial oxidative metabolism is a little discombobulated, then pyruvate that's produced during glycolysis is sort of "redirected" and sent toward lactate generation via lactate dehydrogenase. Thus, when ^{1}H-MRS reads out a higher lactate, it generally indicates a metabolic rerouting toward a more anaerobic glycolysis and often also suggests a more general bioenergetic strain (Brooks, 2020; Rae, 2014).

Pyruvate + NADH + H^+ Lactate + NAD^+ (2)

Lactate appears as a doublet resonance around 1.33 ppm in 1H-MRS spectra, primarily because of J coupling, not any of the other mysterious stuff. At intermediate echo times, say TE is about 144 ms, the lactate doublet flips phase. That phase inversion can make lactate a bit easier to separate from neighbouring lipid peaks. Since healthy brain tissue contains only small and relatively low lactate concentrations, then any clear, visible lactate peak most often suggests a disease-related metabolic change (Barker et al., 1994).

Δ_Lactate_ ≈ 1.33 ppm

Lactate in Acute Ischemic Stroke

One of the most extensively studied applications of lactate spectroscopy is acute ischemic stroke. Cerebral ischemia rapidly reduces oxygen and glucose delivery to affected brain tissue, leading to failure of oxidative phosphorylation and activation of anaerobic glycolysis. As a result, lactate accumulates within ischemic regions within minutes after vascular occlusion (Graham et al., 1992).

In acute stroke imaging, elevated lactate peaks detected by MRS may precede irreversible structural changes visible on conventional MRI, thereby providing early metabolic evidence of tissue hypoxia. Furthermore, lactate accumulation often correlates with infarct severity, tissue acidosis, neuronal injury, and clinical outcome. Persistent lactate elevation after reperfusion has been associated with poor neurological recovery and increased infarct expansion (Howe et al., 2003). Consequently, lactate serves not only as a diagnostic biomarker but also as a prognostic indicator in ischemic brain injury.

Lactate in acute ischemic stroke

One of the most extensively studied uses of lactate spectroscopy is acute ischaemic stroke. In that setting, cerebral ischaemia quickly drops oxygen and also glucose delivery to the affected tissue, so oxidative phosphorylation starts to fail, and anaerobic glycolysis gets switched on. After a vascular occlusion happens, lactate then builds up in the ischaemic area within minutes (Graham et al., 1992) When you look at acute stroke imaging, raised lactate peaks picked up by MRS can show up before irreversible structural changes become obvious on routine MRI, which means you might get early metabolic evidence of tissue hypoxia, not just later anatomical damage. Moreover, lactate accumulation is usually associated with the infarct size, tissue acidosis, neuronal injury and the patients' clinical outcome. Continued elevation of lactate post-reperfusion has been correlated with worse neurological recovery and increased infarct expansion (Howe et al., 2003). And so in the end, lactate is relevant in more ways than one. It works like a diagnostic biomarker and also acts like a prognostic signal for ischaemic brain injury.

Lactate in mitochondrial disorders

Mitochondrial diseases are another big clinical scenario where lactate detection really matters for diagnosis. In short, when the mitochondrial respiratory chain doesn't work properly, it ends up messing with aerobic ATP production. Then the body kind of compensates by upping anaerobic glycolysis, like more intensely. So lactate gets produced in an overly high amount, both across the whole organism and also inside the central nervous system (Lin et al., 2003). In conditions like mitochondrial encephalopathy, lactic acidosis, and stroke-like episodes (MELAS), elevated lactate peaks can show up not only in brain parts that look clearly involved but also in tissue that appears normal at first view. The brain lactate buildup you notice on MRS then turns into a kind of sensitive hint for mitochondrial malfunction, and it can support early diagnosis, following the course over time, and judging whether the treatment response is truly getting better (Kaufmann et al., 2004).

Lactate in Brain Abscesses and Infectious Lesions

Lactate accumulation shows up again and again in brain abscesses and also in other infectious intracranial problems. Inside an abscess cavity, the anaerobic microenvironment makes glycolysis go faster, mainly because inflammatory cells and microorganisms keep running their usual metabolic circuits, and this ends up producing more lactate. In MRS spectra of brain abscesses, lactate peaks are often quite noticeable, alongside resonances related to amino acids, acetate and succinate. Taken together, these features may support separating abscesses from necrotic tumours (Lai et al., 2002). This sort of metabolic profiling is really useful when the usual MRI story is kind of unclear or, you know, more ambiguous than you'd like. If lactate shows up together with other metabolites that connect to infection, the diagnostic specificity tends to get better. And then that can help sort of guide the antimicrobial strategy, more or less, toward the right management path.

4. Prognostic significance of lactate

Beyond its diagnostic part, lactate is being more and more viewed like a key prognostic biomarker across a variety of neurological issues. When lactate goes up, it typically signals intense metabolic stress, tissue hypoxia, problems with the mitochondria machinery, or sometimes even aggressive tumour metabolism. In an ischaemic stroke setting, persistent lactate elevation often goes along with worse neurological trajectories and also higher mortality. For gliomas, greater lactate concentrations tend to track with more malignant behaviour, reduced overall survival, and weaker responses to chemoradiotherapy (Deelchand et al., 2021).

In a similar vein, in traumatic brain injury and hypoxic-ischaemic encephalopathy, lactate buildup has been tied to unfavourable functional recovery and more neuronal injury. So, lactate spectroscopy could end up giving clinically useful prognostic insight, kinda alongside structural imaging and the usual clinical evaluation. More recently, ultra-high-field MRS, hyperpolarised metabolic imaging, and

multiparametric neuroimaging methods are expected to boost the sensitivity and make lactate detection more workable in everyday practice. And as our view of cerebral metabolic reprogramming keeps changing, lactate is increasingly considered something beyond a simple metabolic byproduct. It is described as a moving biomarker and also a signalling molecule, touching neuroinflammation, tumour biology, and neuronal survival (Stagg & Rothman, 2014).

GABA: inhibitiory neuro transmission

GABA is, kind of the main inhibitory neurotransmitter in the mammalian central nervous system, and it seems to have a fundamental job keeping the whole thing in balance between neuronal excitation and inhibition. By applying inhibitory effects to synaptic transmission, GABA ends up regulating cortical excitability, neuronal synchronisation, sensory processing, cognition, emotional behaviour, and even motor control. If you give inhibitory effects to synaptic transmission, well, GABA ends up doing more than people think; it regulates cortical excitability, neuronal synchronisation, sensory processing, cognition, emotional behaviour, and also motor control. When the GABAergic neurotransmission gets disrupted, it's been tied to a pretty wide range of neurological and psychiatric disorders. So, in a sense, GABA becomes one of the most important neurochemical targets in modern neuroscience research (Öz et al., 2014; Kreis, 2004). Biochemically, GABA is synthesised from glutamate through decarboxylation, and that step is catalysed by glutamic acid decarboxylase (GAD). This whole thing happens mainly in presynaptic inhibitory interneurons, where the timing matters. After that, pyridoxal phosphate (vitamin B6) serves as an essential cofactor for the reaction; without it, the pathway just won't function properly.After synaptic release, GABA attaches to ionotropic GABA_A receptors and also metabotropic GABA_B receptors, leading to inhibitory postsynaptic actions through chloride influx or by changing how potassium and calcium channels behave (Maudsley et al., 2009).

Glutamate → GABA + CO_2

That excitatory–inhibitory relationship, between glutamatergic drive and GABAergic inhibition, is required for normal cerebral function. If GABA levels drop, or if inhibitory signalling becomes weak, neurones can become hyperexcitable, networks may sync in an odd way, and excitotoxic injury can follow. So, altered GABA concentrations have been related to epilepsy, anxiety disorders, major depressive disorder, schizophrenia, autism spectrum disorders, chronic pain syndromes, and neurodegenerative diseases (Juchem & de Graaf, 2017).

GABA in Epilepsy

One of the most well-established clinical links for GABA dysfunction is epilepsy. In epileptic disorders, weaker inhibitory signalling is thought to help drive abnormal, hypersynchronous neuronal firing and then seizure generation. A bunch of MRS studies have already shown lower cortical or hippocampal GABA concentrations in people with focal epilepsy, and also in temporal lobe epilepsy (Tkác et al., 2001)

Lower GABA concentrations can mean several things, like interneuronal loss, a problem with GABA making, changes in receptor function, or disrupted GABA reuptake mechanisms. Also, a few antiepileptic drugs—including benzodiazepines, barbiturates, vigabatrin, and valproate—seem to work by boosting GABAergic neurotransmission. Because of that, measuring GABA in vivo with ^{1}H-MRS might give useful clues about seizure biology, how well treatment is going, and pharmacodynamic tracking (Mullins et al., 2014)**.**

GABA in Psychiatric Disorders

Altered GABAergic signalling has been tied to psychiatric diseases a lot in different studies. In anxiety disorders, for example, reduced inhibitory control inside limbic circuits can help explain why fear processing seems too strong, plus emotional dysregulation shows up. Along similar lines, major depressive disorder has been linked with lower GABA concentrations in the prefrontal cortex, anterior cingulate cortex and even occipital cortex (Provencher, 2001). When you look at schizophrenia, the

story gets more specific. GABAergic interneuron dysfunction, especially parvalbumin-positive interneurons, is thought to drive impaired cortical synchronisation, cognitive problems, and also odd gamma oscillations. Postmortem work has shown that expression of glutamic acid decarboxylase, mainly GAD67, is repeatedly reduced in schizophrenia, which supports the idea of compromised inhibitory neurotransmission (Near et al., 2021). Also, more recent findings are pointing toward the possibility that altered GABA concentrations may matter in autism spectrum disorders, bipolar disorder, insomnia, and neurodegenerative conditions like Alzheimer's disease and Parkinson's disease. Because MRS-based neurochemical profiling is being used more and more, interest in GABA as a possible biomarker for disease characterisation and therapeutic monitoring has grown (Rae, 2014).

Technical Challenges in GABA Spectroscopy

Even though GABA has major physiological weight, getting accurate in vivo measurements is still pretty technically hard. A pretty big part of the trouble is that GABA is sitting at a relatively low concentration in the brain, often around 1 mmol/L, and honestly it's way under more plentiful metabolites like N-acetylaspartate (NAA), creatine, or glutamate (Petroff, 2002). On top of that the GABA resonance, around 3.0 ppm, tends to get messy because it overlaps with nearby creatine plus macromolecule features when you use typical short-echo spectra. So, in practice, standard MRS acquisition methods are often not enough for a clean separation or a dependable quantification of GABA (Puts & Edden, 2012).

δ_GABA_ ≈ 3.0 ppm

o get around these limitations, spectral editing approaches grounded in J-difference editing have been devised. The one that's usually used and considered clinically acceptable is MEGA-PRESS, though it does not really feel "simple" in practice. In short, it works by applying frequency-specific editing pulses in a selective manner, so the coupled GABA resonances are picked out while overlapping metabolite peaks get pushed down (Mescher et al., 1998). MEGA-PRESS has pretty much turned into the reference method for GABA spectroscopy because it's relatively sturdy, can be reproduced across sites, and it fits well with clinical MRI systems. Still, the workflow stays pretty technical, and it is also very touchy with respect to different sources of error. For example, frequency drift during the scan can greatly lower editing performance, and even small patient motion can mess up spectral subtraction, leading to unwanted artefacts, like you might see ghost-like features. Also, longer acquisition times make all of this worse, especially for paediatric groups and for people who are cognitively impaired (Mullins et al., 2014). A further issue is signal "contamination" from co-edited macromolecules. Since macromolecule resonances are influenced at the same time as the target, many papers report the results as "GABA+" instead of claiming pure GABA concentrations. Even though macromolecule-suppressed editing schemes have been suggested, they often do two not-so-great things: they lower SNR, and they also raise the complexity of how you run the scan (Deelchand et al., 2021).

Advances in GABA imaging

Lately, progress in ultra-high-field MRI systems, especially 7 Tesla imaging, has really helped improve GABA detection, mostly because spectral dispersion gets better and the SNR goes up too. With high field strength, you can do a cleaner separation of those overlapping resonances, so quantification feels more dependable and less shaky. At the same time, there are improvements coming from advanced radiofrequency pulse design, better motion correction algorithms, real-time frequency stabilisation, and also artificial intelligence-assisted spectral fitting, all of which are pushing GABA measurements toward higher quality and stronger reproducibility (Tkác et al., 2009). So, multimodal strategies are kinda getting more traction lately, like if you blend MRS with fMRI, EEG and PET, researchers can broaden the scope of what conclusions they can pull together about how GABA-mediated neurotransmission helps sculpt functional brain networks. And then they can tie that back to neuropsychiatric conditions too, not only in theory but in practice, kind of. Over time, these combined streams of evidence probably become even more central for translational neuroscience and for precision psychiatry as the whole landscape keeps evolving, you know. In sum, GABA spectroscopy remains one of the more technically

intricate, yet still clinically hopeful, uses of ^{1}H-MRS. As acquisition approaches keep evolving, in vivo GABA quantification might become a more and more useful biomarker for spotting inhibitory dysfunction, tracking how treatments are actually doing, and clarifying the neurochemical substrate behind both neurological and psychiatric disease.

GLUTAMATE AND GLX: EXCITATORY SIGNALING, and THEN EXCITOTOXICITY

Glutamate is sort of the main excitatory chemical messenger in the central nervous system, and it does plenty of things. It helps along synaptic transmission, neuronal plasticity, learning, memory building, and even some more advanced mental processing. In a nutshell, it's key for fast communication between neurones. Under normal or physiological situations, glutamatergic signalling is held under close control by this sort of back and forth between neurones and astrocytes so that synaptic excitation stays accurate while neurotoxicity doesn't really get a chance to build up. Since glutamate sits right at the core of neuronal signalling, if glutamate balance goes off, the consequences can be huge across many neurological and neurodegenerative conditions (Öz et al., 2014; Govindaraju et al., 2000).

Inside the brain, glutamate is produced mainly from glucose-derived intermediates, and it also feeds into the glutamate–glutamine cycle, which is a very coordinated metabolic routine between neurones and astrocytes. After glutamate gets released at synapses, it sticks to ionotropic receptors, like NMDA (N-methyl-D-aspartate), AMPA, and kainate receptors, plus metabotropic glutamate receptors (mGluRs). That binding then kicks off excitatory postsynaptic signalling. But if glutamate is left outside at too high a level, astrocytes step in, clearing it quickly via excitatory amino acid transporters (EAATs) , then converting it into glutamine using glutamine synthetase. The glutamine later travels back to neurones and is reconverted into glutamate again by glutaminase, so the whole cycle can keep running (Soares & Law, 2009).

Glutamate ⇌ Glutamine

This kind of narrowly controlled cycling mechanism is essential for holding an excitatory–inhibitory balance steady, while also making sure excessive glutamatergic stimulation does not get out of hand. But under pathological circumstances, if glutamate clearance gets disrupted or if there is too much glutamate released, then excitotoxicity can follow, which is basically a process marked by prolonged neuronal depolarisation, calcium overload, oxidative strain, mitochondrial disruption and, at the end, neuronal death (Tkác et al., 2009).

Mechanisms of Excitotoxicity

Excitotoxicity is one of the more important ways neuronal injury happens in acute as well as chronic neurological diseases. When there is too much glutamate outside the cell, it overdrives NMDA and AMPA receptors, allowing calcium to continue flowing into neurones without proper control. Once intracellular Ca^{2+} builds up, it starts several downstream reactions, like proteases, phospholipases, nitric oxide synthase, and also free radical formation. Altogether these things push the system toward mitochondrial dysfunction, lipid peroxidation, DNA damage and then either apoptotic or necrotic patterns of cell death (Mekle et al., 2009)

Excess Glutamate → NMDA activation → Ca^{2+} overload → Neuronal death

Glutamate and glutamine resonances can look pretty similar in standard proton MRS recordings, so they're often not separated cleanly and get bundled together and reported as Glx (glutamate + glutamine), especially when the magnetic field is lower. The main Glx signals sit roughly in the 2.1 to 2.4 ppm region. On top of that, ultra-high-field setups, and particularly 7-tesla MRI, have made it easier to separate the glutamate and glutamine peaks. That improves how accurately excitatory neurotransmission and metabolic cycling can be described (Mescher et al., 1998)

$\delta_Glx_ \approx 2.1–2.4$ ppm

Glutamate in Ischemic Stroke

Acute ischaemic stroke is often treated like one of the classic clinical examples of glutamate-mediated excitotoxicity. When cerebral ischaemia happens, oxygen and glucose supply get interrupted, so the brain starts running out of energy fast, and ATP gets depleted, which then causes sodium-potassium ATPase pumps to fail in practice. With membrane ion balance no longer working properly, you see a big burst of glutamate ending up in the extracellular space, and at the same time astrocytic glutamate uptake is impaired (Mullins et al., 2014).

That buildup of extracellular glutamate then kicks off a chain reaction: NMDA receptors get massively activated, calcium starts moving inward, and excitotoxic neuronal damage begins in the ischaemic penumbra. A lot of experimental as well as clinical work has repeatedly shown higher glutamate levels during the acute phase of stroke, and the stronger Glx signals picked up by MRS have been linked with more severe infarcts and also worse neurological outcomes (Deelchand et al., 2021).

Glutamate in ischemic stroke

Traumatic brain injury (TBI) is also a major situation tied to excitotoxic damage. Mechanical trauma causes a sort of immediate depolarisation of neuronal membranes and then an excess release of glutamate, which feeds into secondary injury cascades. Higher extracellular glutamate levels can stay around for hours, or even several days after the trauma, supporting neuronal degeneration, neuroinflammation, oxidative stress, and cerebral oedema (Castillo et al., 1996).

MRS studies in TBI patients have shown changes in glutamate and Glx levels; these changes seem to track injury severity, cognitive impairment, and later neurological outcomes. So, in that sense, glutamatergic biomarkers could have prognostic value too, when it comes to mapping how secondary brain injury is progressing

Glutamate in Traumatic Brain Injury

Glutamate excitability also pops up as a sort of key driver in a few neurodegenerative disorders. In amyotrophic lateral sclerosis (ALS), for example, impaired astrocytic glutamate uptake, mainly because of a reduced expression of the EAAT2 transporter, causes a chronic extracellular glutamate accumulation, and then progressively worsens degeneration of motor neurones (Lenkinski & Barker, 2010). So when researchers report elevated glutamate in the motor cortex and along the corticospinal tracts, it usually backs the idea that excitotoxicity really matters a lot for ALS pathogenesis, you know.

With Alzheimer's disease, glutamatergic signalling being out of balance is linked to synaptic failure, neuroinflammation, and eventual neuronal loss. People commonly describe chronic low-grade excitotoxicity as being triggered by overactive NMDA receptor stimulation and say that this can speed up neurodegeneration and also cognitive decline. From there, the therapeutic logic for memantine comes in: an NMDA receptor antagonist used in moderate-to- severe Alzheimer's disease (Petroff, 2002). And in a similar way, abnormal glutamatergic neurotransmission has been tied to Parkinson's disease, Huntington's disease, multiple sclerosis, epilepsy, and longer-lasting neuroinflammatory states. More and more evidence points toward glutamate dysregulation as a shared final mechanism across many different neurodegenerative pathways, even when the starting causes differ.

Glutamate in Neurodegenerative Diseases

Excitotoxicity kind of matters a lot here in a bunch of neurodegenerative disorders, like it acts as a central driver or something. In ALS, there's impaired astrocytic glutamate uptake and, more specifically, reduced expression of the EAAT2 transporter. That combo seems to cause chronic extracellular glutamate accumulation; then you get progressive motor neurone degeneration (Lenkinski & Barker, 2010). Also, higher glutamate levels in the motor cortex and along corticospinal pathways lend support to the notion that excitotoxicity plays a noticeable role in ALS pathogenesis, and yes, it kind of fits together. In Alzheimer's disease, you end up seeing dysregulated glutamatergic signalling, and it usually

shows up together with synaptic dysfunction, neuroinflammation, and neuronal loss, kind of as one general picture, not separate things. People often say chronic low-grade excitotoxicity is part of it, kind of pushed along by over-activation of NMDA receptors, and that mechanism can help drive neurodegeneration further; then it also worsens cognitive decline. So in a way, this becomes the backbone of memantine as a therapeutic option because memantine acts as an NMDA receptor antagonist specifically in moderate-to-severe Alzheimer's disease (Petroff, 2002). Similarly, abnormal glutamatergic neurotransmission has been tied to Parkinson's disease, Huntington's disease, multiple sclerosis, epilepsy, and chronic neuroinflammatory states as well, which is pretty consistent across the literature.

Glutamate in Gliomas, and Peritumoral Epilepsy

Gliomas show deep shifts in glutamate metabolism and signalling; it's not just one pathway either. In many high-grade cases the glioma cells actively release glutamate into the extracellular microspace using the cystine–glutamate antiporter system, often referred to as xCT. When extracellular glutamate is high, it can kind of push excitotoxic injury onto nearby neurones, and in turn that same damage supports tumour infiltration, plus ongoing expansion; however, it also looks like it can help seizures start up in the peritumoral zone (Puts & Edden, 2012). Peritumoral epilepsy is, honestly, pretty common in glioma patients, and it tends to run in parallel with messed-up glutamatergic signalling. Put another way, the additional glutamate that comes from tumour cells boosts neuronal reactivity, and it can also lower the seizure threshold in the cortex right by the lesion so seizures ignite more easily. Because of this, MRS-based measurements of glutamate as well as Glx levels might give a useful window into tumour behaviour, the process of epileptogenesis, and even how patients respond to treatment (Edden & Barker, 2007).

The clinical Importance of glutamate spectroscopy

The increasing ability to measure glutamate in vivo, via more modern MRS techniques, has big clinical and research effects. Basically, glutamate spectroscopy gives a sort of rare chance to look at excitatory neurotransmission non-invasively and also to dig into metabolic mechanisms that sit behind excitotoxic damage. With ultra-high-field MRS platforms, plus spectral-editing methods that are now way more refined, glutamate quantification has become much more reliable. That, in turn, boosts diagnostic sensitivity and helps with reproducibility (Meldrum, 2000). Also, when glutamate spectroscopy is paired with fMRI, diffusion imaging, PET, and electrophysiology, it's starting to clarify how excitatory problems feed into network-level irregularities seen in neurological and psychiatric illness. There are new routes too, like hyperpolarised metabolic imaging and spectral analysis that uses machine learning. These approaches can still push the translational impact of glutamate imaging for precision neurology, and neuro-oncology, even further.

Overall, glutamate and Glx spectroscopy work like central tools for probing excitatory communication, neuronal metabolism, and excitotoxic injury. Meanwhile, as the hardware and processing capabilities keep improving, evaluating glutamatergic malfunction in vivo is likely to get more central in diagnosis, in prognostic judgement and also in treatment follow up, across a broad range of neurological disorders.

CLINICAL APPLICATIONS AND RECENT ADVANCES

^{1}H-MRS has sort of moved from being mostly an experimental neuroimaging approach into something that is now, more and more, a clinically useful and translational tool. It helps assess cerebral metabolism, neurotransmission, and the state of neuronal integrity. Because it enables non-invasive measurement of neurochemical shifts straight in vivo, MRS provides metabolic hints that sit next to structural MRI, diffusion imaging, perfusion studies, and even functional neuroimaging approaches. Over the last few years, things like ultra-high-field imaging, spectral-editing sequences, and other computational processing methods have really improved diagnostic accuracy, as well as the practical everyday clinical

use of MRS, across a broad variety of neurological and psychiatric conditions (Öz et al., 2014; Govindaraju et al., 2000).

6.1. Stroke and Cerebral Ischemia

One of the most important clinical uses of ^{1}H-MRS is really the assessment of acute ischaemic stroke. When cerebral ischaemia happens, oxidative phosphorylation is disrupted very quickly, and then there is a shift toward anaerobic glycolysis with early lactate buildup in the involved tissue. Because of that, the increased lactate peaks that you can spot on MRS can appear before the irreversible structural shifts are really obvious on standard MRI, so lactate ends up being like a rather sensitive early cue for metabolic breakdown and tissue hypoxia (Soares & Law, 2009). At the same time, shifts in glutamate and Glx levels also tend to line up with excitotoxic neuronal injury that develops in the ischaemic penumbra. More extracellular glutamate feeds into calcium-mediated neuronal harm, and that basically sustains continued infarct progression. So in practice, looking at lactate together with Glx gives a more complete view of both the bioenergetic dysfunction and the excitotoxic pathways during the acute phase of stroke (Tkác et al., 2009).

Ischemia → Lactate ↑ + Glx change (or Glx alteration)

MRS might also contribute in a weird kind of way to prognostic assessment for stroke patients. If lactate stays elevated after reperfusion, it has been linked with weaker neurological recovery, bigger infarct volumes and higher mortality. So, in practice, a metabolic profiling approach using MRS can help to flag potentially salvageable tissue and also track how well therapy is working, sort of monitor therapeutic response.

6.2. Brain Tumors

MRS does a lot in the characterisation and grading of intracranial tumours. Tumour metabolism is usually kind of quite different from normal brain tissue, and these biochemical shifts do make recognisable spectroscopic patterns that can help with diagnosis, tumour grading, treatment planning, and then monitoring after therapy (Mekle et al., 2009). The most common metabolic signature you will see in malignant brain tumours involves higher choline, noted as Cho; lower NAA; and lactate plus lipid peaks that often look more pronounced than you'd expect. Higher CHO tends to relate to faster membrane turnover and cellular proliferation, while lower NAA usually suggests neuronal loss, or at least neuronal dysfunction. When lactate and lipids are elevated, they are frequently tied to hypoxia, necrosis, and a more aggressive tumour metabolism (Mescher et al., 1998).

Cho ↑, NAA ↓, Lactate/Lipids ↑

High-grade gliomas usually show quite strong increases in the Cho/NAA ratio, and they tend to have more lactate in comparison with low-grade tumours. Also, MRS can help distinguish tumour recurrence from radiation necrosis after radiotherapy, especially when paired with perfusion imaging plus diffusion-weighted MRI, or at least that's what many studies suggest. More advanced spectroscopic imaging options may further enable metabolic mapping of tumour heterogeneity and then help guide stereotactic biopsy targeting in a more guided manner (Mullins et al., 2014).

6.3. Epilepsy

Epilepsy is another major clinical use for MRS, especially when people are dealing with drug-resistant focal epilepsy and presurgical localisation stuff. You know how conventional MRI shows structural lesions, but with MRS the metabolic changes can go further than that, and sometimes they highlight dysfunctional epileptogenic networks (Deelchand et al., 2021). In many studies, they found lower GABA concentrations and also changed Glx concentrations inside the epileptic focus, which basically suggests the excitatory–inhibitory balance is off, and neurones become more prone to hyperexcitability. For temporal lobe epilepsy specifically, decreased NAA is often seen in the hippocampus; this tends to mean neuronal loss and more general metabolic impairment (Castillo et al., 1996).

GABA ↓ → Hyperexcitability

Overall, spectroscopic findings can help with seizure focus localisation, grading disease severity, and even tracking how patients respond to antiepileptic treatment. And on top of that, newer ultra-high-field MRS methods have kind of improved the ability to tease out rather subtle neurochemical abnormalities in pharmacoresistant epilepsy.

6.4. Psychiatric Disorders

The involvement of MRS in psychiatry has grown a lot over the last years, mostly because people are now more aware of neurochemical dysregulation happening in mental illness. Changes in GABA-related and glutamate-related signalling are now viewed as key processes in major depressive disorder, schizophrenia, bipolar disorder, anxiety disorders, and autism spectrum disorders (Lenkinski & Barker, 2010). A few studies have shown less GABA and also abnormal Glx amounts within the prefrontal cortex as well as the anterior cingulate cortex, especially in depression and schizophrenia. When the excitatory–inhibitory balance goes off track, it might help explain why emotional regulation feels impaired, why cognition can struggle, and why cortical communication looks unusual, plus the abnormal neural rhythms that are seen in these conditions (Petroff, 2002). So MRS ends up being kind of a special way to look at neurochemical causes of psychiatric illness in vivo. On top of that, metabolite profiling may someday support biomarker-based treatment choices and also improve how therapy is followed over time in precision psychiatry.

FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY (fMRS)

A pretty new-ish development in this area is fMRS; it basically helps us watch metabolite shifts while someone is actually engaged in cognitive, sensory, or motor tasks, which is kind of wild. In contrast to usual MRS, which mostly gives static metabolite information, fMRS focuses on short-lived neurochemical shifts that go along with neuronal activation (Puts & Edden, 2012). During visual stimulation, motor activation, memory work, and other cognitive processing paradigms, people have shown task-related increases in lactate and glutamate concentrations. Lactate goes up during neuroneal activity; this usually means a higher glycolytic demand, plus some astrocyte–neurone metabolic coupling is happening at the same time. Glutamate changes are tied more closely to synaptic neurotransmission and excitatory signalling (Edden & Barker, 2007).

Neuronal Activation → Glutamate ↑ + Lactate ↑

So, functional MRS has kinda opened new doorways for probing neuroenergetics, synaptic plasticity, and the timing of neurotransmitters, not only for healthy participants but also for people with neurological or psychiatric disorders. It's true though that it's technically demanding, mostly due to issues with temporal resolution and SNR constraints, but fMRS still feels like a moving frontier within neuroimaging research.

ULTRA-HIGH-FIELD MRS AND EMERGING TECHNOLOGIES

Maybe the biggest shift in recent MRS work is that ultra-high-field MRI is being used more and more—especially 7 Tesla scanners. With ultra-high-field imaging you get a much better signal-to-noise ratio and also clearer spectral dispersion, so overlapping compounds like glutamate, glutamine, and GABA can be separated more faithfully (Meldrum, 2000). These updates have really boosted sensitivity and repeatability for neurochemical measurements, mainly when the metabolites are low-concentration. On top of that, spectral-editing approaches such as MEGA-PRESS, HERMES, and semi-LASER sequences have pushed metabolite selectivity and quantification accuracy forward (Srinivasan et al., 2010). Then there is the stuff that's kind of "new and fast" too: AI-supported spectral fitting, quicker data collection protocols, motion correction tools, and integration with multimodal imaging all help MRS find a broader place in clinical practice. Looking ahead, emerging methods like hyperpolarised metabolic imaging or deuterium metabolic imaging might end up changing how we do near real-time views of brain metabolism, including neurotransmitter cycling (Emir et al., 2011). In general, current progress in ultra-

high-field MRS and spectroscopic mapping keeps widening what this technique can do in the clinic. And as standardisation keeps improving, while acquisition procedures become more steady, ^{1}H-MRS is increasingly seen as a strong biomarker platform for diagnosis, prognosis support, treatment tracking, and mechanistic probing across neurology, psychiatry, and neuro-oncology.

LIMITATIONS AND FUTURE DIRECTIONS

Even with the really notable advances in acquisition tech and spectral analysis, ^{1}H-MRS still bumps into several key technical, methodological, and clinical limitations that kind of keep it from being used widely in everyday care. MRS does give metabolic insights that you simply cannot get from conventional structural imaging, yet interpreting those results is never straightforward; it means you have to stay mindful of a bunch of confounding factors tied to acquisition settings, spectral quality, tissue variation, and even the post-processing steps (Öz et al., 2014). A big part of the problem is that ^{1}H-MRS is technically involved. To collect high-quality spectroscopy, you have to tune a lot of things, like magnetic field uniformity (B_0 shimming), water suppression methods, voxel placement, echo time choices, and plus motion control. If any of these conditions drift a little, the spectral appearance can change a lot, and metabolite quantification can end up being different too. With conventional MRI, interpretation is comparatively standardised, but MRS needs specialised know-how, both for the acquisition side and for reading the spectra properly (Govindaraju et al., 2000).

Another substantial issue is the spatial resolution being relatively low compared to structural MRI. Spectroscopic voxels often mix several tissue categories—grey matter, white matter, cerebrospinal fluid (CSF), necrotic tissue, oedema, or tumour components—so partial volume effects tend to happen. Because of that, the measured metabolite concentrations might not really mirror one single, uniform tissue setting (Soares & Law, 2009). This constraint looks even more obvious in small lesions, cortical irregularities, infiltrative tumours, and brain regions that are basically anatomically blended; in those cases the blends can become more pronounced than you'd like.

$$\textbf{Measured Signal} = \Sigma_i \, f_i \cdot \textbf{Metabolite}_i$$

Spectral overlap still stays as a persistent limitation, especially for metabolites present at low concentrations or showing complex coupling patterns like GABA, glutamine, glutathione and lactate. Even with improved editing methods and ultra-high-field imaging, accurate separation of overlapping peaks might stay difficult or uncertain. In addition, susceptibility artefacts near air-bone interfaces and around skull base regions can mess with magnetic field homogeneity and broaden spectral linewidths, which then reduces metabolite resolution (Tkác et al., 2009). Then there is the limited availability, plus the high cost of ultra-high-field MRI systems, which also works like a real barrier for broader clinical adoption. Even though 7 Tesla scanners bring a better signal-to-noise ratio SNR and also greater spectral dispersion, most clinical centres around the world still depend mostly on 1.5T or 3T systems. As a result, many advanced spectroscopic applications end up mostly in specialised research places, not in everyday care (Mekle et al., 2009). Also, acquisition time stays a practical issue in routine clinical work. Advanced editing sequences like MEGA PRESS often need longer scan durations to reach enough SNR, and that increases the risk of motion artefacts while also lowering patient tolerance. This problem becomes more visible for paediatric groups, elderly patients, critically ill individuals, and subjects with movement disorders or cognitive impairment (Mescher et al., 1998). Another big challenge for translation into clinics is the lack of standardisation across different institutions. Differences in scanner hardware, pulse sequence setup, voxel placement, post-processing software, and even in how quantification is done can create inconsistent metabolite measurements between studies and imaging centres. So even well-known quantification tools such as LCModel, TARQUIN, and jMRUI may give different outcomes, because fitting algorithms and baseline correction strategies vary across sites (Mullins et al., 2014).

Differences in reference metabolites, normalisation steps, and acquisition parameters all together make cross-study comparisons and meta-analyses a bit harder to do since the datasets do not line up as cleanly. Because of that, international consensus projects that try to harmonise acquisition protocols, set quality

assurance rules, and align reporting methods have turned into something really key for reproducibility and also for enabling multicentre research (Deelchand et al., 2021). And on top of that, biological variability keeps adding these interpretive headaches, you know? Metabolite concentrations they can shift with age, sex, circadian timing, medication use, food habits, hormonal status, and even regional brain anatomy. So, having robust normative databases alongside control groups that are matched really carefully is sort of essential, if we want clinical interpretation to stay accurate (Castillo et al., 1996).

CONCLUSION

^{1}H-MRS has become quite a strong non-invasive neuroimaging approach, capable of giving a fairly unique look into cerebral metabolism, neurotransmission, and neurochemical balance in vivo. Since it allows the detection and then quantification of major metabolites like lactate, GABA, and glutamate/Glx, MRS goes beyond the usual structural imaging, and it also brings along useful clues about things such as bioenergetic state, excitatory–inhibitory balance, mitochondrial performance, and possible excitotoxic damage. In real practice, these metabolic markers have shown some clinical value across quite a span of neurological and psychiatric conditions, for example, ischaemic stroke, epilepsy, brain tumours, neurodegenerative disorders and major psychiatric illnesses (Öz et al., 2014; Govindaraju et al., 2000). Within all those metabolites, lactate works as a kind of central signal for anaerobic metabolism and mitochondrial issues, especially during ischaemia, neoplasia, and metabolic encephalopathies. GABA spectroscopy, on the other hand, helps to clear up inhibitory neurotransmission plus cortical excitability, which then backs up research on epilepsy and also certain psychiatric disorders. Meanwhile, glutamate and Glx readouts are getting more and more attention for looking at excitotoxicity, synaptic dysfunction, and neurodegeneration. Taken together, these metabolites provide complementary information about neuronal survival, metabolic adaptation, and the actual dynamics of neurotransmitters (Soares & Law, 2009).

Lately there have been a lot of technological developments—things like 7T (ultra-high-field) MRI systems, more advanced ways of spectral editing, especially MEGA-PRESS, accelerated acquisition protocols, and even artificial intelligence- assisted spectral analysis. Together these changes have actually pushed the sensitivity, specificity and reproducibility of MRS measurements quite a lot, not just a little. At the same time, MRS is being hooked up with multimodal neuroimaging like functional MRI, PET, and diffusion imaging and also electrophysiological techniques, which means the whole translation side and clinical use keep widening (Tkác et al., 2009). Even so, some limitations are still there, technical complexity included, plus spectral overlap, partial volume effects, and the lack of universal standardisation. But the methodological improvements keep coming, so these problems are being handled more and more over time. And as the acquisition methods become faster, more robust, and easier to access for more groups, ^{1}H-MRS is getting placed as an important biomarker platform for disease diagnosis, therapy follow-up, prognostic assessment, and longitudinal metabolic tracking (Mekle et al., 2009). In the end, the fact that ^{1}H-MRS can non-invasively characterise cerebral metabolism and also neurotransmitter function means it is sitting right at the front of modern precision neuroscience. And as neuroimaging keeps moving forward, MRS is expected to take a more central, almost unavoidable role in precision neurology, neuro-oncology, and psychiatry. The payoff is a deeper grasp of how diseases actually work, plus more individualised therapeutic strategies, which feels pretty essential.

REFERENCES

Öz, G., Alger, J. R., Barker, P. B., Bartha, R., Bizzi, A., Boesch, C., ... & MRS Consensus Group. (2014). Clinical proton MR spectroscopy in central nervous system disorders. Radiology, 270(3), 658-679.

Govindaraju, V., Young, K., & Maudsley, A. A. (2000). Proton NMR chemical shifts and coupling constants for brain metabolites. NMR in biomedicine: an international journal devoted to the development and application of magnetic resonance in vivo, 13(3), 129-153.

Soares, D. P., & Law, M. (2009). Magnetic resonance spectroscopy of the brain: review of metabolites and clinical applications. Clinical radiology, 64(1), 12-21.

Tkáč, I., Öz, G., Adriany, G., Uğurbil, K., & Gruetter, R. (2009). In vivo 1H NMR spectroscopy of the human brain at high magnetic fields: metabolite quantification at 4T vs. 7T. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 62(4), 868-879.

Mekle, R., Mlynárik, V., Gambarota, G., Hergt, M., Krueger, G., & Gruetter, R. (2009). MR spectroscopy of the human brain with enhanced signal intensity at ultrashort echo times on a clinical platform at 3T and 7T. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 61(6), 1279-1285.

Mescher, M., Merkle, H., Kirsch, J., Garwood, M., & Gruetter, A. R. (1998). Simultaneous in vivo spectral editing and water suppression. NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In Vivo, 11(6), 266-272.

Mullins, P. G., McGonigle, D. J., O'Gorman, R. L., Puts, N. A., Vidyasagar, R., Evans, C. J., & Edden, R. A. (2014). Current practice in the use of MEGA-PRESS spectroscopy for the detection of GABA. Neuroimage, 86, 43-52.

Sanaei Nezhad, F., Anton, A., Michou, E., Jung, J., Parkes, L. M., & Williams, S. R. (2018). Quantification of GABA, glutamate and glutamine in a single measurement at 3 T using GABA-edited MEGA-PRESS. NMR in Biomedicine, 31(1), e3847.

Castillo, M., Kwock, L., & Mukherji, S. K. (1996). Clinical applications of proton MR spectroscopy. Ajnr: American Journal of Neuroradiology, 17(1), 1.

Barker, P. B., Bizzi, A., De Stefano, N., Gullapalli, R., & Lin, D. D. (2009). Clinical MR spectroscopy: techniques and applications. Cambridge University Press.

Petroff, O. A. (2002). Book review: GABA and glutamate in the human brain. The Neuroscientist, 8(6), 562-573.

Puts, N. A., & Edden, R. A. (2012). In vivo magnetic resonance spectroscopy of GABA: a methodological review. Progress in nuclear magnetic resonance spectroscopy, 60, 29-41.

Edden, R. A., & Barker, P. B. (2007). Spatial effects in the detection of γ-aminobutyric acid: Improved sensitivity at high fields using inner volume saturation. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 58(6), 1276-1282.

Meldrum, B. S. (2000). Glutamate as a neurotransmitter in the brain: review of physiology and pathology. The Journal of nutrition, 130(4), 1007S-1015S.

Srinivasan, R., Ratiney, H., Hammond-Rosenbluth, K. E., Pelletier, D., & Nelson, S. J. (2010). MR spectroscopic imaging of glutathione in the white and gray matter at 7 T with an application to multiple sclerosis. Magnetic resonance imaging, 28(2), 163-170.

Emir, U. E., Raatz, S., McPherson, S., Hodges, J. S., Torkelson, C., Tawfik, P., ... & Terpstra, M. (2011). Noninvasive quantification of ascorbate and glutathione concentration in the elderly human brain. NMR in Biomedicine, 24(7), 888-894.

Rae, C. D. (2014). A guide to the metabolic pathways and function of metabolites observed in human brain 1H magnetic resonance spectra. Neurochemical research, 39(1), 1-36.

Castillo, M., Smith, J. K., & Kwock, L. (2000). Correlation of myo-inositol levels and grading of cerebral astrocytomas. American Journal of Neuroradiology, 21(9), 1645-1649.

PB, B. (1994). Acute stroke: Evaluation with serial proton MR spectroscopic imaging. Radiology, 192, 723-732.

Ramadan, S., Lin, A., & Stanwell, P. (2013). Glutamate and glutamine: a review of in vivo MRS in the human brain. NMR in Biomedicine, 26(12), 1630-1646.

Tkáč, I., Andersen, P., Adriany, G., Merkle, H., Uğurbil, K., & Gruetter, R. (2001). In vivo 1H NMR spectroscopy of the human brain at 7 T. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 46(3), 451-456.

Stagg, C., & Rothman, D. L. (Eds.). (2013). Magnetic resonance spectroscopy: tools for neuroscience research and emerging clinical applications. Academic Press.

Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al. Neuroscience. 6th ed. Oxford University Press; 2018.

Möhler, H. (2012). The GABA system in anxiety and depression and its therapeutic potential. Neuropharmacology, 62(1), 42-53.

Simister, R. J., McLean, M. A., Barker, G. J., & Duncan, J. S. (2003). Proton MRS reveals frontal lobe metabolite abnormalities in idiopathic generalized epilepsy. Neurology, 61(7), 897-902.

Löscher, W., Potschka, H., Sisodiya, S. M., & Vezzani, A. (2020). Drug resistance in epilepsy: clinical impact, potential mechanisms, and new innovative treatment options. Pharmacological reviews, 72(3), 606-638.

Sanacora, G., Mason, G. F., Rothman, D. L., Behar, K. L., Hyder, F., Petroff, O. A., ... & Krystal, J. H. (1999). Reduced cortical γ-aminobutyric acid levels in depressed patients determined by proton magnetic resonance spectroscopy. Archives of general psychiatry, 56(11), 1043-1047.

Lewis, D. A., Hashimoto, T., & Volk, D. W. (2005). Cortical inhibitory neurons and schizophrenia. Nature Reviews Neuroscience, 6(4), 312-324.

Puts, N. A., Wodka, E. L., Tommerdahl, M., Mostofsky, S. H., & Edden, R. A. (2014). Impaired tactile processing in children with autism spectrum disorder. Journal of neurophysiology, 111(9), 1803-1811.

Brooks, G. A. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. Redox biology, 35, 101454.

Graham, G. D., Blamire, A. M., Howseman, A. M., Rothman, D. L., Fayad, P. B., Brass, L. M., ... & Prichard, J. W. (1992). Proton magnetic resonance spectroscopy of cerebral lactate and other metabolites in stroke patients. Stroke, 23(3), 333-340.

Howe, F. A., Barton, S. J., Cudlip, S. A., Stubbs, M., Saunders, D. E., Murphy, M., ... & Griffiths, J. R. (2003). Metabolic profiles of human brain tumors using quantitative in vivo 1H magnetic resonance spectroscopy. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 49(2), 223-232.

Warburg, O. (1956). On the origin of cancer cells. Science, 123(3191), 309-314.

Ma, S., Lee, H., Jo, W. Y., Byun, Y. H., Shin, K. W., Choi, S., ... & Park, H. P. (2023). The Warburg effect in patients with brain tumors: a comprehensive analysis of clinical significance. Journal of Neuro-Oncology, 165(1), 219-226.

Weybright, P., Sundgren, P. C., Maly, P., Hassan, D. G., Nan, B., Rohrer, S., & Junck, L. (2005). Differentiation between brain tumor recurrence and radiation injury using MR spectroscopy. American Journal of Roentgenology, 185(6), 1471-1476.

Lin, D. D., Crawford, T. O., & Barker, P. B. (2003). Proton MR spectroscopy in the diagnostic evaluation of suspected mitochondrial disease. American Journal of Neuroradiology, 24(1), 33-41.

Kaufmann, P., Shungu, D. C., Sano, M. C., Jhung, S., Engelstad, K., Mitsis, E., ... & De Vivo, D. C. (2004). Cerebral lactic acidosis correlates with neurological impairment in MELAS. Neurology, 62(8), 1297-1302.

Lai, P. H., Ho, J. T., Chen, W. L., Hsu, S. S., Wang, J. S., Pan, H. B., & Yang, C. F. (2002). Brain abscess and necrotic brain tumor: discrimination with proton MR spectroscopy and diffusion-weighted imaging. American Journal of Neuroradiology, 23(8), 1369-1377.

Kreis, R. (2004). Issues of spectral quality in clinical 1H-magnetic resonance spectroscopy and a gallery of artifacts. NMR in Biomedicine, 17(6), 361-381.

Maudsley, A. A., Domenig, C., Govind, V., Darkazanli, A., Studholme, C., Arheart, K., & Bloomer, C. (2009). Mapping of brain metabolite distributions by volumetric proton MR spectroscopic imaging (MRSI). Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 61(3), 548-559.

Juchem, C., & de Graaf, R. A. (2017). B0 magnetic field homogeneity and shimming for in vivo magnetic resonance spectroscopy. Analytical biochemistry, 529, 17-29.

Provencher, S. W. (2001). Automatic quantitation of localized in vivo 1H spectra with LCModel. NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In Vivo, 14(4), 260-264.

Near, J., Harris, A. D., Juchem, C., Kreis, R., Marjańska, M., Öz, G., ... & Gasparovic, C. (2021). Preprocessing, analysis and quantification in single-voxel magnetic resonance spectroscopy: experts' consensus recommendations. NMR in Biomedicine, 34(5), e4257.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

BESİN İNTOLERANSI YÖNETİMİ VE FARKINDALIĞI İÇİN BİLGİLENDİRİCİ MOBİL SAĞLIK UYGULAMASI TASARIMI VE KULLANICI DENEYİMLERİNİN İNCELENMESİ

DESIGN OF AN INFORMATIONAL MOBILE HEALTH APPLICATION FOR THE MANAGEMENT AND AWARENESS OF FOOD INTOLERANCE AND THE EXAMINATION OF USER EXPERIENCES[1]

Dr. Öğr. Üyesi Aliye Saraç

İstanbul Topkapı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği

ORCID NO: 0000-0002-0697-790X

Gözde Büyükyılmaz

ORCID NO: 0009-0001-4590-245X

Eda İpek Sanlı

ORCID NO: 0009-0007-2874-3171

ÖZET

Besin intoleransı, çeşitli gıda ve gıda katkı maddelerine karşı gelişen duyarlılıklarla karakterize kronik bir sağlık sorunu olup, özellikle paketli gıda tüketiminde risk oluşturmaktadır. Türkiye'de bu konuya özel yerelleştirilmiş dijital bir araç olmaması motivasyonuyla yapılan çalışmada, gıda alerjisi veya intoleransı bulunan bireylerin paketli ürünlerdeki potansiyel alerjenleri hızlı ve güvenilir biçimde tespit etmelerini sağlayan bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, Dart tabanlı Flutter çatısı ve Firebase altyapısı ile OCR teknolojisi kullanılarak geliştirilmiştir.

Araştırma, kullanıcı deneyimlerini mobil öğrenme ve multidisipliner sağlık perspektifinden inceleyen, verilerin içerik analizi ile çözümlendiği nitel bir durum çalışmasıdır. Veri toplama sürecinde amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen, besin intoleransı tanısı almış ya da intolerans şüphesi taşıyan 25 katılımcıya; uygulama kullanılabilirliği ve tasarımı (5 soru), intolerans tanıma ve farkındalık (4 soru), yaşam boyu öğrenme ve mobil öğrenme (12 soru) ile genel değerlendirme ve geliştirme önerileri (4 soru) olmak üzere toplam 25 soru sorularak yarı yapılandırılmış görüşme yapılmıştır. Görüşmelerde veri bütünlüğü %100 olup, iki farklı kodlayıcının değerlendirmesi Cohen's Kappa ile hesaplanmış ve kodlayıcılar arasındaki uyumun oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonucunda dört boyut altında sekiz tema belirlenmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu (%96) uygulamayı kullanıcı dostu olarak değerlendirmiş, %80'i ise teknik iyileştirmeler, ürün öneri sistemi ve kişiselleştirme odaklı geliştirme önerileri sunmuştur. Katılımcıların %92'si daha önce fark etmedikleri intolerans tetikleyicilerini keşfettiklerini belirtirken, %56'sında bu farkındalık satın alma davranışlarında değişime yol açmıştır. Mobil öğrenme boyutunda tüm katılımcılar (%100) uygulamanın anlık bilgiye erişim ve zaman tasarrufu sağladığını ifade etmiş, %80'inde ise kalıcı etiket okuma alışkanlığı gelişmiştir.

Bulgular; beslenme, sağlık bilişimi ve eğitim teknolojisi entegrasyonunun mSağlıkta sürdürülebilir çözümlere katkısını ve dijital araçların sağlık okuryazarlığındaki (intolerans farkındalığı %92, gıda seçimi %56) destekleyici olabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın nitel deseni ve örneklem kısıtlılığı sebebiyle sonuçlar ihtiyatla değerlendirilmeli; gelecek çalışmalarda uzun dönemli izleme, karma yöntem ve geniş ölçekli nicel tasarımlar uygulanması önerilebilir.

[1] Bu çalışma 1919B012426057 nolu proje kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) desteğiyle yürütülmüştür.

Anahtar kelimeler: Besin intoleransı, mobil sağlık uygulaması, mSağlık, mobil öğrenme, alerjen/intolerans farkındalığı, yaşam boyu öğrenme.

ABSTRACT

Food intolerance is a chronic health issue characterized by sensitivities to various foods and food additives, posing a particular risk in the consumption of packaged foods. Motivated by the lack of a localized digital tool specifically dedicated to this issue in Turkey, this study developed a mobile application that enables individuals with food allergies or intolerances to quickly and reliably detect potential allergens in packaged products. The application was developed utilizing OCR technology based on the Dart-backed Flutter framework and Firebase infrastructure.

This research is a qualitative case study grounded in content analysis, exploring user experiences from the perspectives of mobile learning and multidisciplinary health. During the data collection process, semi-structured interviews consisting of 25 questions in total were conducted with 25 purposively sampled participants diagnosed with or suspected of having food intolerance. These questions addressed application usability and design (5 questions), intolerance recognition and awareness (4 questions), lifelong learning and mobile learning (12 questions), and general evaluation and improvement suggestions (4 questions). The data integrity across the interviews was 100%; inter-rater reliability between two independent coders was calculated using Cohen's Kappa, which revealed a highly substantial level of agreement.

As a result of the analysis, eight themes were identified across four dimensions. A vast majority of the participants (96%) evaluated the application as user-friendly, while 80% provided development suggestions focused on technical enhancements, a product recommendation system, and personalization. Furthermore, 92% of the participants stated that they discovered previously unnoticed intolerance triggers, and for 56% of them, this awareness led to a change in purchasing behaviors. Regarding the mobile learning dimension, all participants (100%) expressed that the application provided instant access to information and saved time, and 80% developed a permanent habit of reading labels.

The findings demonstrate that the integration of nutrition science, health informatics, and educational technology can contribute to sustainable solutions in mHealth and support digital tools in fostering health literacy (intolerance awareness 92%, food choice 56%). Due to the qualitative design and limited sample size of the study, the results should be evaluated with caution; implementing long-term longitudinal monitoring, mixed-method approaches, and large-scale quantitative designs may be recommended for future research.

Keywords: food intolerance, mobile health application, mHealth, mobile learning, allergen/intolerance awareness, lifelong learning.

** This study was conducted within the scope of project no. 1919B012426057 with the support of TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey).*

GİRİŞ

Bireysel yaşam kalitesini doğrudan etkileyen besin intoleransları, vücudun belirli gıda bileşenlerini sindirememesi veya metabolize edememesi sonucu ortaya çıkan toksik olmayan reaksiyonlardır. Genellikle enzim eksiklikleri (örneğin laktoz intoleransındaki laktaz yetersizliği) veya gıdalardaki doğal kimyasallara karşı gelişen hassasiyetlerle tetiklenen ve ömür boyu sürebilen bu kronik rahatsızlık; şişkinlik, gaz, karın ağrısı, reflü, migren, cilt döküntüsü, anemi ve ishal gibi semptomlarıyla kendini göstermektedir. İmmünolojik bir yanıt barındırmaması yönüyle akut ve ölümcül riskler taşıyan besin alerjilerinden ayrışsa da besin intoleransının yönetimi de en az alerjiler kadar titiz bir süreç gerektirmektedir. Günümüzde besin intoleransının kesin bir tıbbi tedavisi bulunmamakla birlikte,

sürecin yönetimi "eliminasyon ve diyet yönetimi" stratejilerine dayanmaktadır (The Children's Hospital of Philadelphia, 2019).

Bireysel düzeyde bu denli titiz bir yönetim gerektiren bu durum, küresel ölçekte incelendiğinde ise oldukça geniş kitleleri etkileyen ciddi bir halk sağlığı meselesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerdeki beslenme alışkanlıklarının değişmesi, dengesiz beslenme tarzının yaygınlaşması ve obezite gibi faktörler, hem besin alerjilerinin hem de besin intoleranslarının küresel ölçekte belirgin bir artış göstermesine yol açmıştır (Ruiz Sánchez v.d., 2018). Yapılan tahminler, bu hassasiyetlerin dünya genelinde ne denli yaygın olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Nitekim günümüzde, dünya nüfusunun yaklaşık %15 ila %20 gibi çok büyük bir kesiminin besin intoleranslarından muzdarip olduğu çalışmalarda belirtilmektedir (Lomer v.d., 2015; Araya v.d., 2020). Benzer şekilde, çalışmalarda immünolojik reaksiyonlar olan besin alerjileri de küresel bir yaygınlığa sahip olup dünya genelindeki yetişkin nüfusun %3 ila %10'unu, çocukların ise yaklaşık %8'ini etkilediği belirtilmektedir (Messina & Venter, 2020). Bu veriler ışığında, besin intoleranslarının besin alerjilerine kıyasla daha yaygın görülen bir sağlık sorunu olduğu düşünülebilir. Toplum genelinde bu denli yaygın olan her iki durumla da sağlıklı bir şekilde yaşayabilmek, bireysel düzeyde sürekli ve bilinçli bir kontrol mekanizması gerektirmektedir. Gıda alerjilerinden kaynaklanan hastalıkların ciddiyeti ve tedavi seçeneklerinin sınırlı olmasıyla birlikte gıda intoleransına sahip kişilerin yaşam kaliteleri de göz önüne alınınca bu kişilerin diyetlerini doğru bir şekilde yönetmesi için besin içerikleri hakkında bilgi sahibi olmaları kritik bir gerekliliktir. Ancak paketli gıdalardaki yetersiz bilgilendirme, etiket bilgilerinin karmaşıklığı bireyler için ciddi bir engel teşkil etmektedir. Örneğin Holleman ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, paketli gıdalardaki Önlem Amaçlı Alerjen Uyarılarının (PAL-Precautionary Allergen Label) ve doğrudan alerjen beyanlarının tüketicilerin risk algısı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Araştırma bulguları, PAL ifadelerinin ("içerebilir", "iz içerebilir", "üretim tesisinde üretilmiştir") hem alerjik olan hem de olmayan bireyler tarafından kafa karıştırıcı ve yetersiz bulunduğunu, katılımcıların %40'ından azının bu uyarıları net olarak algıladığını göstermektedir. Çalışmada, yüksek sağlık okuryazarlığı seviyesinin bu ifadeleri doğru yorumlamada kritik bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Holleman v.d., 2021). Küresel ölçekte yaşanan bu etiket karmaşıklığına karşın Türkiye pazarı incelendiğinde; yerel ürünlerin içerik bilgilerini barındıran ve kapsamlı alerjen ya da intolerans analizi yapabilen bir mobil uygulama eksikliği dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, doğrudan Türkiye'deki gıda ürünlerine odaklanan, bu alandaki boşluğu doldurarak kullanıcıların yaşam kalitesini artıracak yerel bir mobil uygulamanın geliştirilmesi önemli bir ihtiyaçtır.

Geliştirilmesi önerilen mSağlık çözümü, kronik hastalık yönetimde etkinliği literatürde desteklenen bir temel üzerine kuruludur. Yapılan meta-analizler, mSağlık uygulamalarının kısa ve orta vadede yaşam kalitesini iyileştirdiğini (Kanai v.d., 2025) ve kullanıcıların öz-yönetim becerilerini artırdığını (Al Mahmud v.d., 2026) göstermektedir. Bu süreçte mobil platformlar, sundukları anlık veri takibi ve özelleştirilmiş geri bildirimler sayesinde gıda tüketim anı gibi kritik karar anlarında bağlam temelli anlık öğrenmeyi tetiklemekte; aynı zamanda uygulamalara entegre edilen eğitim materyalleriyle bireylerin sağlık okuryazarlığını pekiştirerek yaşam boyu öğrenmeyi desteklemektedir (Al Mahmud v.d., 2026). Ancak bu dijital araçların başarısı, tek tip çözümler sunmak yerine kullanıcılar arasındaki bireysel değişkenliğe uyum sağlayabilme kapasitesine bağlıdır. Kullanıcı odaklı uyarlanabilir arayüz (AUI) tasarımı yönergelerine odaklanan bir çalışmanın sonuçlarına göre, kullanıcı değişkenliğini ve bireysel farklılıkları destekleyen esnek arayüz çerçeveleri, kullanıcıların sisteme olan uzun vadeli bağlılığını artırmakta ve kullanım zorluklarını asgariye indirmektedir (Al Mahmud v.d., 2026). Bu doğrultuda, kullanıcı odaklı bu tasarım ilkeleri temel alınarak, her tüketicinin kendine has karmaşık besin intoleransı ve alerji profiline duyarlı, dinamik ve kişiselleştirilmiş ekran tasarımları ve uyarı mekanizmaları üretilebilecektir (Kanai v.d., 2025). Sonuç olarak; beslenme biliminin sunduğu doğrulanmış tıbbi verilerin, sağlık bilişiminin sunduğu teknolojik imkanlar ve eğitim teknolojisinin (bağlam temelli ve anlık bilgilendirme yöntemleri) sunduğu pedagojik yaklaşımlarla bütünleştirilmesi, gıda intoleransı olan bireylerin yaşam kalitesini artıracak kapsamlı, sürdürülebilir ve bütüncül bir çözüm sunma potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, kullanıcı odaklı tasarım ilkeleriyle şekillendirilecek bir mSağlık (mobil sağlık)

çözümü, karmaşık gıda etiketlerini ve belirsiz uyarıları berraklaştırarak tüketicilerin tam da o an içinde bulundukları duruma uygun, bağlam temelli ve anlık (just-in-time) bir bilgi akışı sağlama potansiyeline sahiptir.

Söz konusu potansiyeli somut bir çözüme dönüştürmek amacıyla kurgulanan bu çalışma, besin intoleransı yönetimi ve farkındalığını desteklemek amacıyla geliştirilen bilgilendirici bir mobil sağlık uygulamasının kullanıcı deneyimlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, uygulamanın kullanılabilirliği, gizli tetikleyicilere ilişkin farkındalık oluşturma gücü, mobil öğrenmeye katkısı ve kullanıcıların geliştirme önerileri üzerinden değerlendirilmektedir. Bu yönüyle araştırma, dijital aracın yalnızca bilgi sunma işlevini değil, aynı zamanda sağlık okuryazarlığını destekleyen bir öğrenme ortamı olarak katkısını da ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu genel amaç ve kapsam doğrultusunda, araştırmada şu sorulara yanıt aranmıştır:

- ✓ Kullanıcılar geliştirilen mobil uygulamanın kullanılabilirliğini ve tasarımını nasıl değerlendirmektedir?
- ✓ Uygulama, besin intoleransı olan bireylerde gizli intolerans tetikleyici farkındalığını ve gıda seçim davranışını nasıl etkilemektedir?
- ✓ Mobil platform, kullanıcıların bağlam temelli anlık öğrenme ve yaşam boyu öğrenme alışkanlıkları kazanmasına nasıl katkı sunmaktadır?
- ✓ Kullanıcıların mevcut mobil uygulamaya yönelik geliştirme önerileri ve ek dijital destek ihtiyaçları nelerdir?

YÖNTEM

Araştırma Deseni

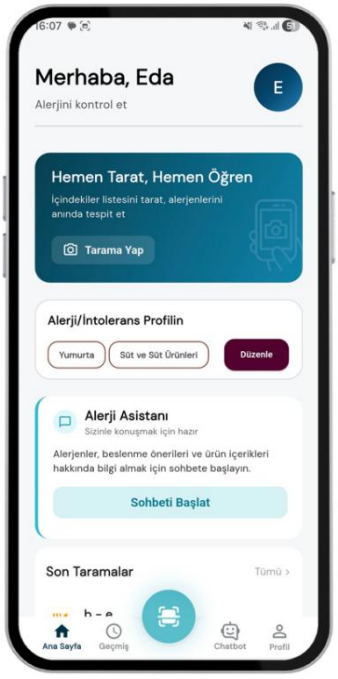
Bu çalışma; besin intoleransı farkındalığı oluşturmak amacıyla geliştirilen mobil sağlık uygulamasının kullanıcı deneyimlerini; mobil öğrenme ve multidisipliner sağlık perspektifinden derinlemesine incelemeyi amaçlayan nitel bir araştırmadır. Çalışmada, araştırılan konunun kendi doğal ortamı ve sınırları içerisinde ele alınabilmesi amacıyla, içerik analizine dayalı durum çalışması deseni benimsenmiştir.

İhtiyaç Analizi

Uygulamanın tasarım sürecine başlamadan önce, hedef kitlenin gereksinimlerini ve pazardaki mevcut eksiklikleri belirlemek amacıyla potansiyel kullanıcılarla ön görüşmeler yapılmış ve kapsamlı bir hedef kitle analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda üç temel ihtiyaç alanı tespit edilmiştir. İlk olarak, Türkiye'deki paketli gıda pazarına ve Türkçe ürün içeriklerine özgü, bireysel intolerans profillerini dikkate alan yerel bir mobil uygulamanın bulunmaması önemli bir eksiklik olarak ortaya çıkmıştır. İkinci olarak, ambalajlar üzerindeki içerik listelerinin çoğu zaman okunaksız olması ve teknik terimlerle ifade edilmesi nedeniyle tüketicilerin gıda içeriklerini doğru şekilde değerlendirmekte zorlandığı ve bu durumun bilinçsiz ürün tüketimine yol açabildiği belirlenmiştir. Son olarak, kullanıcıların alışveriş sırasında, özellikle ürün rafı önünde, ek bir laboratuvar ya da bilgisayar ortamına ihtiyaç duymadan mobil cihazlar aracılığıyla anlık ve konuma dayalı (context-based, just-in-time) bir öğrenme ve doğrulama mekanizmasına ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir.

Uygulama Tasarımı ve Geliştirme

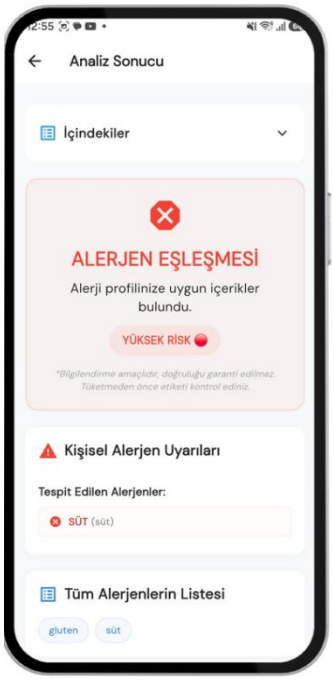
İhtiyaç analizinden elde edilen çıktılar doğrultusunda, uygulamanın sistem mimarisi ve arayüzü tamamen kullanıcı odaklı prototip tasarımı (user-centered design) ilkelerine göre şekillendirilmiştir. Uygulamanın hem Android hem iOS işletim sistemlerinde yüksek performansla ve tek bir kod tabanı üzerinden çalışabilmesi amacıyla, Dart tabanlı Flutter yazılım geliştirme çerçevesi (framework) tercih edilmiştir.



Şekil1.Kullanıcı ekran görüntüsü



Şekil 2. OCR ile içerik tarama



Şekil 3. Kişiselleştirilmiş Uyarı

Kullanıcı arayüzünün tasarımında, hedef kitlenin raf önündeki pratik kullanım senaryoları göz önünde bulundurularak sade, anlaşılır ve erişilebilir bir görsel dil benimsenmiş; böylece teknoloji aşinalığı düşük bireylerin bile sisteme kolayca adapte olması hedeflenmiştir. Uygulamanın ana ekranının görüntüsü Şekil 1'de sunulmuştur.

Sistemin bulut altyapısı, güvenli kullanıcı kimlik doğrulama süreçleri, kişiselleştirilmiş kullanıcı profilleri ve tarama geçmişi gibi dinamik verilerin senkronize bir şekilde depolanabilmesi için Firebase veri yönetimi platformu üzerine kurulmuştur. Şekil 2'de görüldüğü üzere uygulamanın temel çekirdek işlevi olan, paketli ürün ambalajlarındaki içerik listelerinin gıda alışverişi esnasında anlık olarak taranabilmesi için Optik Karakter Tanıma (OCR) teknolojisinden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen filtreleme algoritması, kullanıcının uygulama içinde önceden tanımladığı bireysel alerjen veya intolerans profilini referans almaktadır. Mobil cihaz kamerasından taranan metin içerisindeki kazein, peynir altı suyu proteinleri ya da E-kodlu katkı maddeleri gibi gizli tetikleyiciler bu algoritma tarafından gerçek zamanlı olarak ayıklanmakta ve Şekil 3'te olduğu gibi olası risk durumlarında kullanıcıya kişiselleştirilmiş uyarılar üretilmektedir.

Geliştirilen mobil uygulamanın pilot uygulama öncesinde içerik geçerliliğini ve kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla uzman görüşüne başvurulmuştur. Bu kapsamda uygulama, halk sağlığı alanında görev yapan bir hekim ile iç hastalıkları alanında uzman bir hemşire tarafından içerik doğruluğu, bilimsel uygunluğu ve kullanılabilirliği açısından incelenmiştir. Uzman değerlendirmesi sonrasında uygulama pilot çalışmada kullanılmak üzere son haline getirilmiştir.

Etik Kurul İzni ve Gönüllü Onam

Bu çalışma için etik kurul onayı, İstanbul Topkapı Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Komisyonunun 07.2025 tarihli ve E-49846378-050.04-2500013766 sayılı kararı ile alınmıştır.

Araştırmaya katılan tüm bireyler, çalışma hakkında yazılı ve sözlü olarak bilgilendirilmiş; araştırmanın amacı, kapsamı, süreçleri ile katılımcı hakları kendilerine açıklanmıştır. Araştırmaya katılım gönüllülük esasına dayanmakta olup tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş gönüllü onam alınmıştır. Katılımcılara ait

kimlik bilgileri anonimleştirilerek gizlilik ilkesi doğrultusunda korunmuş ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel araştırma amacıyla kullanılacağı taahhüt edilmiştir.

Örneklem ve Katılımcılar

Araştırmanın hedef kitlesini belirlemek amacıyla amaçlı örnekleme (purposive sampling) yöntemi kullanılmıştır. Katılımcıların çalışmaya dahil edilmesinde; 18 yaş ve üzeri olmak, mobil cihaz deneyimine sahip olmak ve besin intoleransı tanısı almış olmak ya da klinik olarak intolerans şüphesi taşımak kriterleri aranmıştır.

Araştırma, bu kriterleri karşılayan ve çalışmaya gönüllü olarak katılan 25 katılımcı (N=25) ile yürütülmüştür. Katılımcıların intolerans türü dağılımı; Laktoz (n=10), Çölyak/Gluten (n=8), Genel Alerji (n=5) ve Karma/Mixed (n=2) şeklindedir. Katılımcıların kimlik gizliliğini korumak amacıyla veriler anonim hale getirilmiş ve her katılımcı K01 ile K25 arasında kodlanmıştır.

Veri Toplama Aracı ve Süreci

Bu çalışma, geliştirilen mobil uygulamanın kullanılabilirliğini, kullanıcı deneyimini ve besin intoleransı olan bireyler üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir pilot uygulama niteliğindedir. Pilot uygulama kapsamında gönüllü katılımcılardan geliştirilen mobil uygulamayı günlük yaşamlarında en az dört hafta boyunca aktif olarak kullanmaları istenmiştir. Bu süreçte katılımcılar, tükettikleri gıdaların içeriklerini mobil uygulama aracılığıyla analiz etmiş, besin intoleransına neden olabilecek gizli tetikleyicileri incelemiş ve uygulamanın sunduğu bilgilendirme ve yönlendirmelerden yararlanmıştır. Böylece uygulamanın gerçek yaşam koşullarındaki kullanımına ilişkin deneyimlerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Dört haftalık kullanım sürecinin tamamlanmasının ardından katılımcılardan nitel veriler toplanmıştır. Veri toplama sürecinde, araştırmacılar tarafından geliştirilen ve dört ana boyuttan oluşan toplam 25 soruluk Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu kullanılmıştır. Bu form aracılığıyla katılımcıların geliştirilen mobil uygulamaya ilişkin deneyimleri, değerlendirmeleri ve önerileri ayrıntılı olarak ortaya konulması amaçlanmıştır. Görüşme formunun yapısal dağılımı aşağıda sunulmuştur:

- Uygulama Kullanılabilirliği ve Tasarımı: 5 soru
- İntolerans Tanıma ve Farkındalık: 4 soru
- Yaşam Boyu Öğrenme ve Mobil Öğrenme: 12 soru
- Genel Değerlendirme ve Geliştirme Önerileri: 4 soru

Elde edilen tüm görüşmeler katılımcıların izni doğrultusunda kayıt altına alınmış ve analiz sürecinde kimlik bilgileri anonimleştirilerek değerlendirilmiştir. Böylece hem uygulamanın mevcut durumunun kapsamlı biçimde değerlendirilmesi hem de gelecekte gerçekleştirilecek geliştirme çalışmalarına yön verecek kullanıcı geri bildirimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Görüşme başına ortalama süre yaklaşık 35 dakika olarak kaydedilmiştir. Toplanan verilerde %100 veri bütünlüğü (kayıpsız veri seti) sağlanmıştır.

Veri Analizi ve Güvenirlik

Elde edilen nitel veriler içerik analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizin güvenirliğini sağlamak amacıyla görüşme verileri iki bağımsız araştırmacı tarafından ayrı ayrı kodlanmıştır. Kodlayıcılar arasındaki uyum Cohen's Kappa katsayısı ile değerlendirilmiş ve tüm temalar için Kappa katsayılarının 0.90'ın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, kodlayıcılar arasında yüksek düzeyde uyum bulunduğunu göstermektedir.

BULGULAR

Geliştirilen mobil sağlık uygulamasının kullanıcı deneyimlerini, mobil öğrenme ve multidisipliner sağlık perspektifinden inceleyen nitel analizin sonucunda, dört araştırma sorusuna yanıt olarak toplam sekiz ana tema ve bu temalara ait alt kategoriler ortaya çıkmıştır. Temalar T1'den T8'e kodlanmıştır.

Araştırma Sorusu 1: Kullanılabilirlik ve Tasarım

"Kullanıcılar geliştirilen mobil uygulamanın kullanılabilirliğini ve tasarımını nasıl değerlendirmektedir?" sorusuna yanıt aranmıştır.

Katılımcıların büyük çoğunluğu uygulamayı kullanışlılık ve tasarım açısından olumlu değerlendirmiştir. T1 kapsamında n=24 (%96) katılımcı, uygulamayı sade, anlaşılır ve kullanıcı dostu olarak nitelendirmiş; sade arayüz (n=20), tanıtıcı tur (onboarding) (n=9) ve geçmiş tarama kategorisi (n=18) öne çıkan unsurlar olarak belirlenmiştir. Bir katılımcı bu deneyimi şöyle ifade etmiştir: *"Telefonla çok ilgili biri olmamama rağmen herhangi bir zorluk yaşamamam uygulamanın ne kadar kullanıcı dostu olduğunu gösterdi"* (K07). Bununla birlikte n=20 (%80) katılımcı (T2) mevcut işlevlere yönelik geliştirme önerileri sunmuş; bu öneriler ağırlıklı olarak ürün öneri ve arama sistemi (n=7), teknik/OCR iyileştirmeleri (n=6; barkod okuma, otomatik kırpma, netleme hızı), kişiselleştirme (n=3) ve topluluk özellikleri (n=4), bilimsel içerik desteği (n=1) başlıklarında yoğunlaşmıştır. K08 nolu katılımcı barkod okutma ile önerisini şu şekilde ifade etmiştir: *"Markette fotoğraf çekip kırpmak çok fazla efor istiyor. Sadece barkodu okutmak isterdim."*.

Araştırma Sorusu 2: İntolerans Farkındalığı ve Davranış

"Uygulama, besin intoleransı olan bireylerde gizli intolerans tetikleyici farkındalığını ve gıda seçim davranışını nasıl etkilemektedir?" sorusuna yanıt aranmıştır.

Katılımcıların %92'si (n=23) daha önce farkında olmadıkları gizli intolerans tetikleyicileriyle karşılaştıklarını bildirmiştir (T3). Gizli tetikleyici keşfi (n=15; kazein, peynir altı suyu, e-kodlu katkı maddeleri), teknik terim öğrenimi (n=8) ve katkı maddesi risk sınıflandırması (n=7) bu boyuttaki başlıca alt kategorilerdir. Bir katılımcı şunları aktarmıştır: *" 'Laktozsuz' ibaresi olmayan ürünlerde kazein gibi gizli süt türevleri olduğunu bu uygulama sayesinde keşfettim."* (K04). K09 nolu katılımcı da benzer şekilde bu farkındalığının oluştuğunu şu sözleri ile ifade etmiştir: *"Kazein kelimesinin laktoz intoleransımla alakalı bir madde olduğunu öğrendim; internetten araştırınca süt proteini olduğunu doğruladım."*. Farkındalık artışının davranışa yansıması incelendiğinde, katılımcıların %56'sında (n=14) doğrudan gıda seçim davranışı değişimi gözlemlenmiştir (T4); bu değişim ürün reddi (n=4), ürün değiştirme (n=4), satın alma kararını yeniden değerlendirme (n=3), marka reddi (n=2) ve tüketim sıklığını azaltma (n=1) biçimlerinde ortaya çıkmıştır. Örneğin K05 nolu katılımcı gıda seçimi konusundaki davranış değişikliğini *"Sürekli aldığım bir sosun koyulaştırıcısında glüten olduğunu gördüm ve o ürünü bir daha elime bile sürmedim."* şeklinde ifade etmiştir.

Araştırma Sorusu 3: Mobil ve Yaşam Boyu Öğrenme, Karşılaşılan Sınırlılıklar

"Mobil platform, kullanıcıların bağlam temelli anlık öğrenme ve yaşam boyu öğrenme alışkanlıkları kazanmasına nasıl katkı sunmaktadır?" sorusuna yanıt aranmıştır.

Tüm katılımcılar (%100, n=25) uygulamanın mobil öğrenme avantajını onaylamıştır (T5); raf önünde anlık bilgiye erişim (n=22), zaman tasarrufu (n=18) ve taşınabilirlik/konum bağımsızlığı (n=14) en sık dile getirilen avantajlar arasındadır. K04 nolu katılımcı bu kapsamda *"Eve gidip bilgisayar başında araştırma yerine o anda taratıp bilgiye anında ulaşmak kolaylık sağladı."* ifadesiyle konumdan bağımsızlığı dile getirmiştir.

Öte yandan bazı katılımcılar (n=13) çeşitli sınırlılıklara da dikkat çekmiştir (T6): kötü market ışığı ve OCR kalite sorunları (n=4), küçük ekrana uyum güçlüğü (n=4), içerik derinliği yetersizliği (n=3) ve internet bağımlılığı (n=2) bu sınırlılıkların başında gelmekte ve mobil uygulamanın sınırlılıkları olarak

ifade edilmektedir. Örneğin K25 bu sınırlılığı *"Market ışığı kötü olduğunda telefon bazen odaklanamıyor, bu can sıkıcı olabiliyor."* şeklinde ifade etmiştir.

Yaşam boyu öğrenme boyutunda (T7) ise n=20 (%80) katılımcı uygulamanın kullanımıyla birlikte kalıcı bir etiket okuma alışkanlığı kazandığını belirtmiş; bu katılımcıların bir bölümünde (n=4) söz konusu davranış gündelik rutine tam anlamıyla entegre edilmiştir. K16 nolu katılımcı kalıcı etiket okuma alışkanlığı oluşturduğunu *"Artık uygulamayla kontrol etmediğim hiçbir paketli gıda mutfağıma giremez."* sözleri ile belirtmiştir. K11 nolu katılımcı ise uygulama ile besin değerlendirmesi konusundaki deneyimini *"Besin içeriklerini daha bilinçli değerlendirmeyi öğrendim."* diyerek ifade etmiştir.

Araştırma Sorusu 4: Genel Değerlendirme ve Ek Dijital Destek

"Kullanıcıların mevcut mobil uygulamaya yönelik geliştirme önerileri ve ek dijital destek ihtiyaçları nelerdir?" sorusuna yanıt aranıştır.

Katılımcıların %28'i (n=7) uygulamanın bütününe yönelik genel bir projeksiyon sunarak T8 kodu altında "Genel Değerlendirme ve Ek Dijital Destek" boyutuna ilişkin görüş bildirmiştir. Bu boyutta öne çıkan unsurların başında barkod okuma fonksiyonu (n=7) gelmektedir. Katılımcılar uygulamanın genel işlevselliği ve sosyal faydası bağlamında topluluk özelliği (n=4) ile güvenli alternatifler (n=4) sunulmasının önemini vurgulamışlardır. Örneğin K13 bu önerisini *"Bir ürün güvenli değilse benzer ama güvenli seçenekleri gösteren bir dijital araç çok faydalı olurdu."* sözleri ile ifade etmiştir. Ayrıca otomatik kırpma (n=3) özelliği de bu genel değerlendirme kapsamında öne çıkan diğer bir teknik alt kategori olarak belirlenmiştir.

Analizler neticesinde elde edilen tüm bulgular, frekans değerleri (n) ve katılımcı oranları (%) ile birlikte Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Kullanıcı Deneyimlerine Göre Oluşan Temalar ve Alt Kategori Dağılımları (n=25)*

Araştırma Sorusu	**Ana Temalar**	**Frekans (n) / Oran (%)**	**Öne Çıkan Alt Kategoriler ve Yoğunlaşmalar**
AS1.Kullanılabilirlik ve Tasarım	**T1:** Kullanılabilirlik ve Tasarım (Olumlu)	n=24 (%96)	21. Sade arayüz (n=20), 22. Tanıtıcı tur (onboarding) (n=9), 23. Geçmiş tarama kategorisi (n=18)
	T2: Kullanılabilirliğe Yönelik Öneriler	n=20 (%80)	24. Teknik/OCR iyileştirme (n=6), 25. Ürün öneri/arama (n=7), 26. Kişiselleştirme (n=3), 27. Topluluk özellikleri (n=4), 28. Bilimsel içerik desteği (n=1)
AS2.İntolerans Farkındalığı ve Davranış	**T3:** Gizli İntolerans Farkındalığı Artışı	n=23 (%92)	29. Gizli intolerans tetikleyici keşfi (n=15: kazein, peynir altı suyu), 30. Teknik terim öğrenimi (n=8), 31. Katkı maddesi risk sınıflaması (n=7)
	T4: Gıda Seçim Davranışı Değişimi	n=14 (%56)	32. Marka reddi (n=2), 33. Ürün reddi (n=4), 34. Ürün değiştirme (n=4), 35. Tüketim sıklığını azaltma (n=1), 36. Satın alma kararını yeniden değerlendirme (n=3)

AS3.Mobil ve Yaşam Boyu Öğrenme, Karşılaşılan Sınırlılıklar	**T5:** Mobil Öğrenme Avantajları	n=25 (%100)	37. Raf önünde anlık bilgiye erişim (n=22), 38. Zaman tasarrufu (n=18), 39. Taşınabilirlik/konum bağımsızlığı (n=14)
	T6: Mobil Öğrenme Sınırlılıkları	n=13 (%52)	40. Market ışığı/OCR kalite sorunları (n=4), 41. İnternet bağımlılığı (n=2), 42. Küçük ekrana uyum güçlüğü (n=4), 43. İçerik derinliği yetersizliği (n=3)
	T7: Yaşam Boyu Öğrenme / Kalıcı Alışkanlık	n=20 (%80)	44. Kalıcı etiket okuma alışkanlığı oluşumu (n=20), 45. Davranışın gündelik rutine tam entegrasyonu (n=4)
AS4.Genel Değerlendirme ve Ek Dijital Destek	**T8:** Genel Değerlendirme ve Ek Dijital Destek	n=7 (%28)	46. Barkod okuma (n=7), 47. Topluluk özelliği (n=4), 48. Güvenli alternatifler (n=4), 49. Otomatik kırpma (n=3)

*Bazı katılımcıların verdikleri cevaplar birden fazla temaya işaret etmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada besin intoleransı yönetimi ve farkındalığını desteklemek amacıyla OCR tabanlı bir mobil sağlık uygulaması geliştirilmiş ve kullanıcı deneyimleri nitel araştırma yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen uygulamanın kullanıcı dostu olduğunu, besin intoleransı farkındalığını artırdığını ve kullanıcıların günlük gıda seçimlerini destekleyebildiğini göstermektedir. Katılımcıların %96'sı uygulamanın sade ve anlaşılır arayüzünü kullanım açısından olumlu değerlendirmektedir. Uygulamanın gizli intolerans tetikleyicilerine yönelik farkındalık (%92) ve gıda seçim davranışı (%56) bağlamında gözlenen etkileri, dijital araçların sağlık okuryazarlığının geliştirilmesinde destekleyici bir işlev üstlenebileceğine ilişkin ön bulgular olarak değerlendirilebilir. Elde edilen bulgular, mobil sağlık teknolojilerinin bireylerin sağlık hizmetlerine erişimini kolaylaştırdığı, sağlıkla ilgili bilgiye ulaşma ve bu bilgiyi kullanma becerilerini desteklediğini belirten çalışmalarla uyumludur (Atun ve v.d., 2013; Nutbeam, 2000). Katılımcıların mobil avantajı onaylaması, Davis'in (1989) algılanan kullanım kolaylığı ve fayda boyutlarıyla da doğrudan örtüşmektedir.

Ayrıca tüm katılımcıların uygulamanın anlık bilgiye erişim sağladığını ve zaman tasarrufu sunduğunu belirtmesi, öğrenmenin yalnızca formal eğitim ortamlarında değil, günlük yaşam içerisinde de gerçekleşebildiğini işaret etmektedir. Katılımcıların %80'inde kalıcı yaşam boyu öğrenme alışkanlığı oluştuğu yönünde beyanları olmuştur. Bu bulgu Jarvis (2010) informal öğrenme kuramıyla örtüşmektedir. Özellikle alışveriş sırasında ürün içeriklerinin anlık olarak analiz edilmesiyle oluşan öğrenme deneyimi, bağlam temelli (context-based) ve tam zamanında öğrenme (just-in-time learning) yaklaşımlarını desteklemektedir. Ayrıca tüm katılımcıların (%100) mobil öğrenme avantajını onaylamaları da Teknoloji Kabul Modeli ile uyum sağlandığı şeklinde ele alınabilir.

Katılımcılar tarafından dile getirilen barkod okuma, güvenli ürün alternatifleri sunulması, otomatik görüntü kırpma ve topluluk desteği gibi geliştirme önerileri, kullanıcıların yalnızca bilgi edinmekle yetinmeyip karar verme süreçlerini kolaylaştıracak daha kapsamlı, benzer süreçleri yaşayan bireylerle dijital ortamda bir araya gelebilecek şekilde sosyal desteğe de olanak sunan ve kişiselleştirilmiş

sistemlere ihtiyaç duyduklarına işaret ettiği söylenebilir. Bu durum, geliştirilen uygulamanın gelecekte kullanıcı beklentilerine göre daha kapsamlı özelliklerle geliştirilebileceğine gelişime açık olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma yalnızca 25 katılımcı ile gerçekleştirilmiş bir pilot çalışma olup, nitel araştırma deseni kullanılmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar tüm besin intoleransı olan bireylere genellenemez. Bununla birlikte, kullanıcı deneyimlerini ayrıntılı biçimde ortaya koyması ve mobil sağlık uygulamalarının besin intoleransı yönetimindeki potansiyelini göstermesi açısından katkılar sunması beklenmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen OCR tabanlı mobil sağlık uygulamasının kullanıcıların intolerans farkındalığını artırdığı, güvenli gıda seçimlerini desteklediği ve mobil öğrenme yaklaşımına katkı sağlayarak günlük yaşam içerisinde anlık ve kalıcı öğrenme deneyimleri oluşturduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda barkod okuma, ürün öneri sistemi, güvenli alternatif ürün sunumu, yapay zekâ destekli analiz ve kişiselleştirilmiş öneri mekanizmalarının sisteme entegre edilmesi önerilmektedir. Ayrıca daha geniş örneklemlerle gerçekleştirilecek karma yöntemli araştırmaların uygulamanın etkinliğini daha kapsamlı biçimde ortaya koyacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Al Mahmud, A., Joachim, S., Jayaraman, P. P., Learmonth, C., Tyagi, S., Forkan, A. R. M., Shuakat, M., Wickramasinghe, N., Wheeler, J., Best, S., & Trainer, A. (2026). Digital Health Interventions to Support Chronic Disease Management: Systematic Scoping Review. *JMIR mHealth and uHealth*, *14*, e63742. https://doi.org/10.2196/63742

Araya, M., Bascuñán, K. A., Alarcón-Sajarópulos, D., Cabrera-Chávez, F., Oyarzún, A., Fernández, A., & Ontiveros, N. (2020). Living with Gluten and Other Food Intolerances: Self-Reported Diagnoses and Management. *Nutrients*, *12*(6), 1892. https://doi.org/10.3390/nu12061892

Atun, R., Jaffar, S., Nishtar, S., Knaul, F. M., Barreto, M. L., Nyirenda, M., Banatvala, N., & Piot, P. (2013). Improving responsiveness of health systems to non-communicable diseases. *The Lancet*, *381*(9867), 690–697. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)60063-x

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Holleman, B. C., Van Os-Medendorp, H., Van Den Bergh, H., Van Dijk, L. M., Linders, Y. F., Blom, W. M., Verhoeckx, K. C., Michelsen-Huisman, A., Houben, G. F., Knulst, A. C., & Lentz, L. R. (2021). Poor understanding of allergen labelling by allergic and non-allergic consumers. *Clinical & Experimental Allergy*, 51(10), 1374–1382. https://doi.org/10.1111/cea.13975

Jarvis, P. (2010). Adult education and lifelong learning: Theory and practice (4th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203718100

Kanai, M., Miki, T., Sakoda, T., & Hagiwara, Y. (2025). The Effect of Combining mHealth and Health Professional-Led Intervention for Improving Health-Related Outcomes in Chronic Diseases: Systematic Review and Meta-Analysis. *Interactive journal of medical research*, *14*, e55835. https://doi.org/10.2196/55835

Lomer M. C. (2015). Review article: the aetiology, diagnosis, mechanisms and clinical evidence for food intolerance. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, *41*(3), 262–275. https://doi.org/10.1111/apt.13041

Messina, M., & Venter, C. (2020). Recent surveys on food allergy prevalence. Nutrition Today, 55(1), 22–29. https://doi.org/10.1097/nt.0000000000000389

Nutbeam, D. (2000). Health literacy as a public health goal: a challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century. *Health Promotion International*, *15*(3), 259–267. https://doi.org/10.1093/heapro/15.3.259

Ruiz Sánchez, J. G., Palma Milla, S., Pelegrina Cortés, B., López Plaza, B., Bermejo López, L. M., & Gómez Candela, C. (2018). Una visión global de las reacciones adversas a alimentos: alergia e intolerancia alimentaria. *Nutrición Hospitalaria*, *35*(SPE4), 102-108. https://dx.doi.org/10.20960/nh.2134

The Children's Hospital of Philadelphia. (2019, January 29). Food Intolerance | Children's Hospital of Philadelphia. Retrieved from Chop.edu website: https://www.chop.edu/conditions-diseases/food-intolerance

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MULTIPL SKLEROZ HASTALIĞINDA E-HEALTH VE M-HEALTH KULLANIMI LİTERATÜR DERLEMESİ

LITERATURE REVIEW ON THE USE OF E-HEALTH AND M-HEALTH IN MULTIPLE SCLEROSIS

Ceyda SAKALLI

Istanbul University-Cerrahpaşa, Institute of Graduate Studies, Master's Program in Neurological Physiotherapy and Rehabilitation, Istanbul, Türkiye, ORCID NO: 0009-0003-3909-2571

Prof. Dr. Ela TARAKCI

Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Türkiye, ORCID NO: 0000-0003-1330-2051

ABSTRACT

Multiple Sclerosis (MS) is a chronic, autoimmune, inflammatory, and neurodegenerative disease characterized by widespread demyelinating plaques in the central nervous system (CNS). Due to its motor, sensory, cognitive, and psychosocial impacts, it requires a long-term rehabilitation process. In recent years, this long-term rehabilitation requirement has increased interest in digital health technologies, e-health, m-health, and telerehabiliation applications. The aim of this study is to examine the effects of e-health and m-health-based rehabilitation applications used in MS patients and to evaluate the existing literature. In this literature review, studies published between 2010 and 2026 were examined. Randomized controlled trials, observational studies, qualitative studies, and pilot studies involving e-health and m-health applications were included. The studies were screened through PubMed and open-access databases, and those meeting the determined inclusion criteria were evaluated. The reviewed studies demonstrate that telerehabilitation, mobile applications, and other digital health interventions provide positive effects across various clinical and functional domains in patients with Multiple Sclerosis. In particular, an increase in physical activity levels, a decrease in fatigue levels, and improvements in quality of life are among the most frequently reported outcomes. Additionally, improvements in balance, walking performance, and upper extremity functions were observed in some studies. Studies including cognitive rehabilitation applications reported positive effects on attention and processing speed. It was determined that training, monitoring, and feedback systems provided through m-health applications increase patient compliance and support self-management skills. Qualitative studies reveal that patients generally find digital health applications acceptable and useful, providing advantages especially in terms of accessibility and time-saving. However, some studies emphasized that access to technology, digital literacy, and technical problems could be limiting factors on usage. When evaluated overall, a significant heterogeneity was observed among the studies regarding intervention types, durations, and measurement methods; furthermore, many studies were found to have small sample sizes. In conclusion, e-health and m-health applications emerge as effective and feasible approaches in Multiple Sclerosis (MS) rehabilitation. They particularly have the potential to offer individual-centered, accessible, and sustainable rehabilitation models. Nevertheless, randomized controlled trials with larger sample sizes, long-term follow-ups, and high methodological quality are needed to obtain more robust and generalizable results.

Keywords: Multiple Sclerosis, e-health, m-health, telerehabilitation, digital health technologies, mobile applications

✓ INTRODUCTION

Multiple sclerosis (MS) is a chronic, inflammatory and neurodegenerative disease affecting the central nervous system, characterized by demyelination, axonal damage and progressive neurological

dysfunction. Throughout the disease course, individuals may experience a wide range of symptoms, including muscle weakness, spasticity, balance and gait impairments, fatigue, reduced fine motor skills, and cognitive deficits. These symptoms adversely affect not only physical functioning but also activities of daily living, social participation and overall quality of life.

The chronic and heterogeneous clinical course of MS highlights the importance of rehabilitation in disease management. The primary goals of rehabilitation are to preserve functional independence, manage symptoms, increase physical activity levels and improve quality of life. However, conventional rehabilitation services are predominantly delivered in hospitals or rehabilitation centers, creating significant barriers to treatment accessibility and continuity, particularly for individuals with MS who experience mobility limitations, fatigue, transportation difficulties and require long-term follow-up.

Recent advances in information and communication technologies have enabled the development of novel approaches to healthcare delivery, leading to the increasing use of e-Health and m-Health applications in MS rehabilitation. Telerehabilitation, mobile health applications, web-based educational programs, virtual reality systems, digital assessment tools and smartphone-based remote monitoring have made it possible to extend rehabilitation services beyond the traditional clinical setting. These technologies not only facilitate access to rehabilitation services but also contribute to regular symptom monitoring, enhancement of self-management skills and improved adherence to treatment.

Although the number of studies investigating digital health applications in MS has increased considerably in recent years, literature reviews providing a comprehensive evaluation of different digital technologies and their clinical applications remain limited. Therefore, this literature review aimed to evaluate the role, effectiveness and feasibility of e-Health and m-Health applications in MS rehabilitation by synthesizing current studies investigating telerehabilitation, web-based interventions, mobile health applications, virtual reality systems and digital assessment technologies.

✓ MATERIALS AND METHODS

This study is a literature review conducted to evaluate e-Health and m-Health applications used in the rehabilitation of individuals with multiple sclerosis. The literature search was performed using PubMed, Scopus, Web of Science (WoS), the Cochrane Library, PEDro, and open-access academic databases.

The following keywords were used individually and in combination during the literature search: "Multiple Sclerosis," "e-Health," "m-Health," "Telerehabilitation," "Mobile Applications," "Digital Health," and "Neurological Rehabilitation."

Studies published between 2010 and 2026 involving individuals diagnosed with multiple sclerosis were included if they evaluated the use of e-Health or m-Health technologies for intervention, assessment, monitoring, self-management, or rehabilitation purposes. Randomized controlled trials, pilot studies, feasibility studies, and observational studies were included. Studies without full-text availability, review articles, animal studies, studies involving neurological disorders other than multiple sclerosis, and theoretical studies without clinical application were excluded.

Based on the predefined inclusion and exclusion criteria, a total of 18 methodologically eligible studies were included in this literature review. The included studies were categorized into six thematic areas: telerehabilitation and teleconsultation (n = 3), virtual reality (VR)-based rehabilitation (n = 3), web-based interventions (n = 3), mobile applications and self-management systems (n = 4), Floodlight and digital assessment systems (n = 4), and telehealth-supported physical activity interventions (n = 1).

✓ RESULTS

A total of 18 studies meeting the inclusion criteria were included in this literature review. The included studies were classified into six thematic categories: telerehabilitation and teleconsultation, virtual

reality-based digital rehabilitation, web-based interventions, mobile applications and self-management systems, Floodlight and digital assessment systems, and telehealth-supported physical activity programs. The majority of the included studies were designed as randomized controlled trials, pilot studies, or feasibility studies, evaluating the effects of e-Health and m-Health applications on motor function, balance, gait, cognitive performance, quality of life, fatigue management, treatment adherence, and self-management skills.

Overall, the reviewed studies indicate that digital health applications represent feasible and safe approaches in the rehabilitation of individuals with multiple sclerosis. However, methodological differences were identified among the studies with respect to the type of technology, intervention duration, outcome measures, and participant characteristics. The findings are presented below under six thematic categories.

- **Telerehabilitation and Teleconsultation**

Three studies evaluating telerehabilitation and teleconsultation applications were included in this review. The reviewed studies demonstrated that telerehabilitation is a feasible and safe approach that facilitates access to rehabilitation services for individuals with multiple sclerosis. In particular, home-based rehabilitation programs were reported to have positive effects on physical function, fatigue management, and quality of life, while supporting regular participation in the rehabilitation process.

Furthermore, teleconsultation applications were found to enhance patient–physician communication, enable routine clinical follow-up to be conducted remotely, and achieve high levels of user satisfaction. Overall, telerehabilitation and teleconsultation appear to be effective approaches that complement conventional face-to-face rehabilitation. However, further large-scale randomized controlled trials are needed to establish their long-term effectiveness.

- **Virtual Reality Based Digital Rehabilitation**

Three studies evaluating virtual reality (VR)-based digital rehabilitation applications were included in this review. The reviewed studies demonstrated that VR-assisted rehabilitation is an effective approach for improving motor and cognitive functions in individuals with multiple sclerosis. Positive effects were reported particularly on balance, gait performance, functional mobility, and cognitive abilities. Furthermore, VR applications providing real-time visual and auditory feedback were found to enhance patients' active participation and motivation throughout the rehabilitation process.

In addition, home-based virtual reality systems were reported to be safe and feasible, facilitating access to rehabilitation by extending rehabilitation services beyond the clinical setting. High levels of adherence to these programs were also observed. Overall, VR-based digital rehabilitation appears to be an effective approach that complements conventional rehabilitation. However, further large-scale and standardized studies are needed to evaluate the long-term clinical effectiveness of different virtual reality systems.

- **Web Based Intervention**

Three studies evaluating web-based interventions were included in this review. The reviewed studies demonstrated that internet-based educational and behavioral change programs improve self-management skills, increase physical activity levels, and produce positive outcomes, particularly in fatigue management, among individuals with multiple sclerosis. In addition, online education, psychoeducational programs, and behavioral interventions were reported to promote patients' active participation in the rehabilitation process, improve treatment adherence, and contribute to the development of positive health behaviors.

Furthermore, web-based lifestyle and educational programs were found to be feasible, well accepted by participants, and potentially sustainable as long-term supportive tools for disease management. Overall, web-based interventions appear to represent an accessible and effective e-Health approach that supports

rehabilitation services. However, further studies with larger sample sizes and longer follow-up periods are required to establish their long-term clinical effectiveness.

- **Mobile Applications and Self-Management Systems**

Four studies evaluating mobile applications and self-management systems were included in this review. The reviewed studies demonstrated that smartphone- and tablet-based applications are effective in monitoring symptoms, regularly tracking patient-reported outcomes, and improving self-management skills in individuals with multiple sclerosis. Furthermore, mobile health applications were reported to promote patients' active participation in the treatment process, facilitate communication with healthcare professionals, and contribute to a more systematic approach to disease management.

In addition, digital exercise programs delivered through mobile applications were found to support functional performance, while applications designed for energy management and symptom monitoring were reported to have positive effects on fatigue management and treatment adherence. Overall, mobile applications and self-management systems have emerged as accessible, feasible, and patient-centered digital health tools that support the continuity of the rehabilitation process and contribute to improving patients' quality of life. However, further studies with larger sample sizes and longer follow-up periods are needed to establish their long-term clinical effectiveness.

- **Floodlight and Digital Assessment Systems**

Four studies investigating the Floodlight platform and digital assessment systems were included in this review. The reviewed studies demonstrated that remote assessments conducted using smartphones, smartwatches, and wearable sensors enable continuous, objective, and reliable monitoring of motor and cognitive functions in individuals with multiple sclerosis under real-world conditions. Furthermore, these systems were reported to be feasible, with high levels of patient adherence and user satisfaction, while supporting clinical assessments and facilitating closer monitoring of disease progression.

In addition, data obtained from digital assessment systems were found to be associated with structural magnetic resonance imaging findings, highlighting their considerable potential for the development of digital biomarkers. Approaches involving the digital simulation of clinical visits further support the integration of these technologies into routine clinical practice, enabling more frequent, objective, and comprehensive assessments of patients' functional status. Overall, Floodlight and similar digital assessment systems appear to represent promising digital health tools for remote patient monitoring and personalized rehabilitation in the future.

- **Telehealth-Supported Physical Activity Programs**

One study evaluating telehealth-supported physical activity programs was included in this review. The reviewed study reported that online group-based physical activity programs increased physical activity levels, promoted participation in exercise, and encouraged behavioral change among individuals with multiple sclerosis. In addition, telehealth-based interventions were found to be feasible for participants, enhance motivation, and support adherence to exercise through group interaction. Overall, telehealth-supported physical activity programs appear to be an accessible and feasible approach that promotes active participation in the rehabilitation process. However, given the limited evidence currently available in this field, further studies involving different patient populations and longer follow-up periods are required.

✓ DISCUSSION

This literature review examined a total of 18 studies evaluating the use of e-Health and m-Health applications in the rehabilitation of individuals with multiple sclerosis. The findings indicate that telerehabilitation, virtual reality-based rehabilitation, web-based interventions, mobile applications and self-management systems, Floodlight-based digital assessment systems, and telehealth-supported physical activity programs are feasible and effective approaches in MS rehabilitation. Across the

reviewed studies, digital health technologies were consistently shown to facilitate access to rehabilitation services, improve treatment adherence, and promote patients' active participation in the rehabilitation process.

When considered together, telerehabilitation and virtual reality-based rehabilitation demonstrated positive effects on motor function, balance, gait performance, and quality of life. In particular, home-based rehabilitation programs provide an important alternative for individuals experiencing mobility limitations and transportation difficulties, while virtual reality applications enhance motivation and engagement in rehabilitation through real-time visual and auditory feedback.

Web-based interventions were found to be particularly effective in improving fatigue management, increasing physical activity, and enhancing self-management skills. Internet-based educational and behavioral change programs promoted patients' active involvement in the rehabilitation process, while regular feedback mechanisms were reported to improve treatment adherence. In addition, these interventions may serve as valuable adjuncts to conventional face-to-face rehabilitation, offering important advantages for long-term disease management.

Mobile health applications contribute to symptom monitoring in daily life, facilitate the regular collection of patient-reported outcomes, and support the development of self-management skills. The reviewed studies indicated that smartphone- and tablet-based applications were readily accepted by users, were feasible for long-term use, and provided healthcare professionals with valuable information for monitoring chronic symptoms.

Recently developed digital assessment systems, such as the Floodlight platform, not only support rehabilitation interventions but also contribute to the objective monitoring of disease progression in individuals with multiple sclerosis. Digital data collected through smartphones and wearable technologies have been shown to reflect changes in motor and cognitive performance, enabling continuous assessment between routine clinical visits. Compared with conventional clinical assessments performed at specific time points, this approach has the potential to provide more comprehensive data that better reflect patients' real-world functional status.

Telehealth-supported physical activity programs have also demonstrated promising outcomes in increasing physical activity levels, promoting adherence to exercise, and encouraging behavioral change. In particular, online group-based interventions appear to enhance motivation and foster patients' active participation in the rehabilitation process. However, given the limited evidence currently available, further large-scale studies are required to evaluate the effectiveness of telehealth-based physical activity programs.

Overall, the reviewed studies suggest that the common goal of e-Health and m-Health applications is to extend rehabilitation services beyond the clinical setting and integrate them into patients' daily lives. Although different technologies have been developed to address different clinical needs, they all support a patient-centered model of care, facilitate access to treatment, and contribute to the sustainability of the rehabilitation process.

Nevertheless, the current literature has several methodological limitations, including relatively small sample sizes, variations in intervention protocols, and insufficient long-term follow-up data. Furthermore, considerable heterogeneity exists among studies regarding the digital technologies employed and the outcome measures used, making direct comparisons difficult. Therefore, large-scale, multicenter randomized controlled trials with long-term follow-up are needed to provide stronger evidence supporting the integration of digital health technologies into routine clinical practice.

✓ CONCLUSION

This literature review examined a total of 18 studies evaluating the use of e-Health and m-Health applications in the rehabilitation of individuals with multiple sclerosis. The findings demonstrated that telerehabilitation, virtual reality-based rehabilitation, web-based interventions, mobile applications and

self-management systems, Floodlight-based digital assessment systems, and telehealth-supported physical activity programs make important contributions to the rehabilitation process. The reviewed studies indicate that digital health technologies facilitate access to rehabilitation services, improve treatment adherence, and promote patients' active participation in the rehabilitation process. In addition, these technologies have been shown to exert positive effects on motor function, balance, physical activity, fatigue management, quality of life, and self-management skills, while remote assessment systems enable continuous and objective monitoring of patients outside the clinical setting.

With the rapid advancement of digital health technologies, rehabilitation services are no longer confined to hospitals or rehabilitation centers but can be integrated into individuals' daily lives. Smartphones, tablets, wearable sensors, and remote communication technologies offer important advantages by enabling regular symptom monitoring, personalized treatment planning, and continuous interaction between patients and healthcare professionals. In this respect, e-Health and m-Health applications should be considered not only as technologies that support conventional rehabilitation but also as innovative approaches that contribute to the development of patient-centered, accessible, and sustainable rehabilitation models.

Nevertheless, a substantial proportion of the studies included in the current literature are pilot or feasibility studies, with relatively small sample sizes and methodological variations in intervention protocols and outcome measures, limiting the generalizability of the findings. Furthermore, the number of studies evaluating the long-term effectiveness, sustainability, and integration of digital health applications into routine clinical practice remains limited. Therefore, future large-scale, multicenter randomized controlled trials with long-term follow-up are needed to provide stronger scientific evidence regarding the effectiveness of digital health technologies in multiple sclerosis rehabilitation.

In conclusion, e-Health and m-Health applications have emerged as innovative health technologies that strengthen patient-centered care, improve the accessibility of rehabilitation services, and support the continuity of treatment in multiple sclerosis rehabilitation. With continued advances in digital health, these applications are expected to become an integral component of neurological rehabilitation and play an increasingly important role in the development of individualized rehabilitation approaches.

REFERENCES

Fjeldstad-Pardo C, Thiessen A, Pardo G. Telerehabilitation in Multiple Sclerosis: Results of a Randomized Feasibility and Efficacy Pilot Study. Int J Telerehabil. 2018 Dec 11;10(2):55-64. doi: 10.5195/ijt.2018.6256. PMID: 30588276; PMCID:PMC6296802.

Leavitt VM, Aguerre IM, Lee N, Riley CS, De Jager PL, Bloom S. RCT of a Telehealth. Group-Based Intervention to Increase Physical Activity in Multiple Sclerosis: eFIT. Neurol Clin Pract. 2021 Aug;11(4):291-297. doi: 10.1212/CPJ.0000000000001039. PMID: 34484928; PMCID: PMC8382401.

van Beek JJW, Lehnick D, Pastore-Wapp M, Wapp S, Kamm CP, Nef T, Vanbellingen T. Tablet app-based dexterity training in multiple sclerosis (TAD-MS): a randomized controlled trial. Disabil Rehabil Assist Technol. 2024 Apr;19(3):889-899. doi: 10.1080/17483107.2022.2131915. Epub 2022 Oct 29. PMID: 36308305.

Tarakci E, Tarakci D, Hajebrahimi F, Budak M. Supervised exercises versus telerehabilitation. Benefits for persons with multiple sclerosis. Acta Neurol Scand. 2021 Sep;144(3):303-311. doi: 10.1111/ane.13448. Epub 2021 May 7. PMID: 33961295.

Maggio MG, De Luca R, Manuli A, Buda A, Foti Cuzzola M, Leonardi S, D'Aleo G, Bramanti P, Russo M, Calabrò RS. Do patients with multiple sclerosis benefit from semi-immersive virtual reality? A randomized clinical trial on cognitive and motor outcomes. Appl Neuropsychol Adult. 2022 Jan-Feb;29(1):59-65. doi:10.1080/23279095.2019.1708364. Epub 2020 Jan 10. PMID: 31920097.

Pagliari C, Di Tella S, Jonsdottir J, Mendozzi L, Rovaris M, De Icco R, Milanesi T, Federico S, Agostini M, Goffredo M, Pellicciari L, Franceschini M, Cimino V, Bramanti P, Baglio F. Effects of home-based virtual reality telerehabilitation system in people withmultiple sclerosis: A randomized controlled trial. J Telemed Telecare. 2024 Feb;30(2):344-355. doi: 10.1177/1357633X211054839. Epub 2021 Dec 1.PMID:34851211.

Galperin I, Mirelman A, Schmitz-Hübsch T, Hsieh KL, Regev K, Karni A, Brozgol M, Cornejo Thumm P, Lynch SG, Paul F, Devos H, Sosnoff J, Hausdorff JM. Treadmill training with virtual reality to enhance gait and cognitive function among people with multiple sclerosis: a randomized controlled trial. J Neurol. 2023 Mar;270(3):1388-1401. doi: 10.1007/s00415-022-11469-1. Epub 2022 Nov 11. PMID: 36357586; PMCID: PMC9649393.

Ehling R, Edlinger M, Hermann K, Dröge K, Seidinger Y, Miller U, Alber HF, Brenneis C. Successful long-term management of spasticity in patients with multiple sclerosis using a software application (APP): A pilot study. Mult Scler Relat Disord. 2017 Oct;17:15-21. doi: 10.1016/j.msard.2017.06.013. Epub 2017 Jun 27. PMID: 29055449.

Pilutti LA, Dlugonski D, Sandroff BM, Klaren R, Motl RW. Randomized controlled trial of a behavioral intervention targeting symptoms and physical activity in multiple sclerosis. Mult Scler. 2014 Apr;20(5):594-601. doi: 10.1177/1352458513503391. Epub 2013 Sep 5. PMID: 24009162.

Moss-Morris R, McCrone P, Yardley L, van Kessel K, Wills G, Dennison L. A pilot randomised controlled trial of an Internet-based cognitive behavioural therapy self-management programme (MS Invigor8) for multiple sclerosis fatigue. Behav Res Ther. 2012 Jun;50(6):415-21. doi: 10.1016/j.brat.2012.03.001. Epub 2012 Mar 13. PMID: 22516321.

Bevens W, Weiland TJ, Gray K, Neate SL, Nag N, Simpson-Yap S, Reece J, Yu M, Jelinek GA. The Feasibility of a Web-Based Educational Lifestyle Program for People With Multiple Sclerosis: A Randomized Controlled Trial. Front Public Health. 2022 Apr 27;10:852214. doi: 10.3389/fpubh.2022.852214. PMID: 35570898; PMCID: PMC9092338.

D'hooghe M, Van Gassen G, Kos D, Bouquiaux O, Cambron M, Decoo D, Lysandropoulos A, Van Wijmeersch B, Willekens B, Penner IK, Nagels G. Improving fatigue in multiple sclerosis by

smartphone-supported energy management: The MS TeleCoach feasibility study. Mult Scler Relat Disord. 2018 May;22:90-96. doi: 10.1016/j.msard.2018.03.020. Epub 2018 Mar 27. PMID: 29649789.

Oh J, Capezzuto L, Kriara L, Schjodt-Eriksen J, van Beek J, Bernasconi C, Montalban X, Butzkueven H, Kappos L, Giovannoni G, Bove R, Julian L, Baker M, Gossens C, Lindemann M. Use of smartphone-based remote assessments of multiple sclerosis in Floodlight Open, a global, prospective, open-access study. Sci Rep. 2024 Jan 2;14(1):122. doi: 10.1038/s41598-023-49299-4. PMID: 38168498; PMCID: PMC10762023.

Bove R, Capezzuto L, West I, Dryden S, Ghafur S, Halligan J, Hubeaux S, Kazlauskaite A. Simulation of Clinical Visits as a Novel Approach to Evaluate Digital Health in Multiple Sclerosis: Simulation Study. JMIR Med Inform. 2025 Dec 11;13:e67845. doi: 10.2196/67845. PMID: 41380024; PMCID: PMC12697915.

Ganzetti M, Graves JS, Holm SP, Dondelinger F, Midaglia L, Gaetano L, Craveiro L, Lipsmeier F, Bernasconi C, Montalban X, Hauser SL, Lindemann M. Neural correlates of digital measures shown by structural MRI: a post-hoc analysis of a smartphone-based remote assessment feasibility study in multiple sclerosis. J Neurol. 2023 Mar;270(3):1624-1636. doi: 10.1007/s00415-022-11494-0. Epub 2022 Dec 5. PMID: 36469103; PMCID: PMC9970954.

Midaglia L, Mulero P, Montalban X, Graves J, Hauser S, Julian L, Baker M, Schadrack J, Gossens C, Scotland A, Lipsmeier F, van Beek J, Bernasconi C, Belachew S, Lindemann M Adherence and Satisfaction of Smartphone- and Smartwatch-Based Remote Active Testing and Passive Monitoring in People With Multiple Sclerosis: Nonrandomized Interventional Feasibility Study J Med Internet Res 2019;21(8):e14863 URL: https://www.jmir.org/2019/8/e14863 DOI: 10.2196/14863

Altmann P, Ponleitner M, Monschein T, Krajnc N, Zulehner G, Zrzavy T, Leutmezer F, Rommer PS, Kornek B, Berger T, Bsteh G. Feasibility of a smartphone app to monitor patient reported outcomes in multiple sclerosis: The haMSter interventional trial. Digit Health. 2022 Nov 4;8:20552076221135387. doi: 10.1177/20552076221135387. PMID: 36353697; PMCID: PMC9638697.

D'Haeseleer M, Eelen P, Sadeghi N, D'Hooghe MB, Van Schependom J, Nagels G. Feasibility of Real Time Internet-Based Teleconsultation in Patients With Multiple Sclerosis: Interventional Pilot Study. J Med Internet Res. 2020 Aug 13;22(8):e18178. doi: 10.2196/18178. PMID: 32447274; PMCID: PMC7453329.

SAĞLIK SİSTEMLERİNDE MADDE BAĞIMLILIĞIYLA MÜCADELEDE KURUMSAL YÖNETİM

Doç. Dr. Sultan Mehtap BÜYÜKER

İstanbul Medipol Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1344-540X

Prof. Dr. İsmail SEVİNÇ

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4229-8760

Özet

Madde kullanımı ve madde bağımlılığı, günümüzde yalnızca bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlığını etkileyen bir sorun olmanın ötesine geçerek sağlık sistemlerini, sosyal yapıyı ve kamu politikalarını doğrudan ilgilendiren çok boyutlu bir halk sağlığı sorunu hâline gelmiştir. Türkiye'nin jeopolitik konumu nedeniyle uzun yıllar madde ticaretinin geçiş güzergâhlarından biri olması, son yıllarda ise giderek hedef ülke konumuna yaklaşması, madde kullanımına ilişkin risklerin özellikle genç nüfus arasında daha görünür olmasına neden olmaktadır. Nitekim son yıllarda tedavi merkezlerine yapılan başvuruların artış göstermesi ve başvuruların önemli bir kısmının genç yetişkin yaş grubunda yoğunlaşması, madde bağımlılığıyla mücadelenin sağlık sistemi içinde kurumsal bir yaklaşımla ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, sağlık sistemlerinde madde bağımlılığıyla mücadeleyi kurumsal yönetim çerçevesinde ele almayı amaçlayan derleme nitelikte bir çalışmadır. Çalışmada ulusal ve uluslararası literatür ışığında madde bağımlılığına yönelik sağlık politikaları, tedavi ve rehabilitasyon hizmetlerinin örgütlenmesi, kurumlar arası koordinasyon ve çok disiplinli hizmet sunumu bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, madde bağımlılığıyla mücadelenin yalnızca tedavi odaklı yaklaşımlarla sınırlı kalamayacağını; önleme, erken müdahale, tedavi ve sosyal uyum süreçlerinin kurumsal bir yapı içinde planlanmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Ayrıca sağlık kurumları, ruh sağlığı hizmetleri, sosyal hizmet birimleri, adli mekanizmalar ve yerel yönetimler arasındaki eşgüdümün hizmet etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, sağlık sistemlerinde madde bağımlılığıyla mücadelede kurumsal yönetim anlayışının güçlendirilmesi, çok paydaşlı ve sürdürülebilir politikaların geliştirilmesi açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Madde Bağımlılığı, Kurumsal Yönetim, Sağlık Sistemleri, Halk Sağlığı, Sağlık Politikaları

INSTITUTIONAL MANAGEMENT IN THE FIGHT AGAINST SUBSTANCE ADDICTION IN HEALTH SYSTEMS

Abstract

Substance use and substance addiction have gone beyond being merely problems affecting individuals' physical and mental health and have become a multidimensional public health issue that directly concerns health systems, social structures, and public policies. Due to Türkiye's geopolitical position, being one of the transit routes for drug trafficking for many years and, in recent years, increasingly becoming a target country, the risks associated with substance use have become more visible, especially among the young population. Indeed, the increase in applications to treatment centers in recent years

and the concentration of a significant portion of these applications within the young adult age group reveal the necessity of addressing the fight against substance addiction within the health system through an institutional approach.

This study is a review study aiming to address the fight against substance addiction in health systems within the framework of institutional management. In the study, health policies regarding substance addiction, the organization of treatment and rehabilitation services, inter-institutional coordination, and multidisciplinary service delivery were evaluated from a holistic perspective in the light of national and international literature. The findings obtained demonstrate that the fight against substance addiction cannot be limited solely to treatment-oriented approaches; rather, prevention, early intervention, treatment, and social adaptation processes need to be planned within an institutional structure.

In addition, it is observed that coordination among health institutions, mental health services, social service units, judicial mechanisms, and local governments is decisive in terms of service effectiveness and sustainability. Consequently, strengthening the understanding of institutional management in the fight against substance addiction within health systems is considered a fundamental requirement for the development of multi-stakeholder and sustainable policies.

Keywords: Substance Addiction, Institutional Management, Health Systems, Public Health, Health Policies.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

SPORCULARDA ERGOJENİK DESTEKLER

İkra Nihal MEMİŞOĞLU

Atlas Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik Yüksek Lisans Programı, Kağıthane, İstanbul, ORCID ID: 0009-0003-4699-0708

Beyza MENDEŞ

Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Eyüpsultan, İstanbul, ORCID ID: 0000-0002-4182-1273

ÖZET

Ergojenik destekler, sportif performansı artırmak, egzersize bağlı yorgunluğu geciktirmek, toparlanma sürecini hızlandırmak ve antrenman adaptasyonlarını desteklemek amacıyla kullanılan besinsel, fizyolojik ve farmakolojik uygulamalardır. Son yıllarda spor bilimlerinde yaşanan gelişmeler ve performans beklentilerinin artmasıyla birlikte bu ürünlerin kullanımı profesyonel sporcuların yanı sıra rekreatif düzeyde egzersiz yapan bireyler arasında da yaygınlaşmıştır. Ancak bu desteklerin etkinliği ve güvenilirliği, ürünün türü, kullanım dozu, süresi ve bireysel farklılıklara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Bu derlemede, sporcularda yaygın olarak kullanılan ergojenik desteklerin sportif performans, egzersiz sonrası toparlanma ve sağlık üzerindeki etkileri güncel bilimsel çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Öncelikle karbonhidrat, protein, yağ ve sıvı tüketimi ile sporcu içeceklerinin performans ve hidrasyon üzerindeki önemi ele alınmıştır. Ayrıca kreatin, kafein, beta-alanin, dallı zincirli amino asitler, glutamin, arjinin, taurin, nitrik oksit, karnitin, *Tribulus terrestris* ve konjuge linoleik asit (CLA) gibi yaygın kullanılan ergojenik desteklerin etki mekanizmaları ve performans üzerine etkileri incelenmiştir. Bunun yanında C vitamini ile riboflavin, niasin ve piridoksin gibi mikro besin ögelerinin egzersiz performansı ve toparlanma sürecindeki rolleri değerlendirilmiştir.

Literatür bulguları, kreatin, kafein ve beta-alanin gibi bazı ergojenik desteklerin uygun doz ve kullanım koşullarında performans üzerinde olumlu etkiler sağlayabildiğini, buna karşın bazı destekler için bilimsel kanıtların sınırlı veya çelişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımın sağlık sorunları ve doping riski oluşturabileceği bildirilmektedir. Sonuç olarak, ergojenik desteklerin kullanımı bireysel gereksinimler, spor branşı ve antrenman özellikleri dikkate alınarak planlanmalı; sporcu sağlığının korunması amacıyla uzman rehberliğinde ve bilimsel kanıtlara dayalı olarak uygulanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Ergojenik destekler, sporcu beslenmesi, sportif performans, toparlanma, besin destekleri.

ABSTRACT

Ergogenic aids are nutritional, physiological, and pharmacological strategies used to enhance athletic performance, delay exercise-induced fatigue, accelerate recovery, and support training adaptations. In recent years, advances in sports science and increasing performance expectations have contributed to the widespread use of these products among both professional athletes and recreationally active individuals. However, the efficacy and safety of ergogenic aids vary depending on the type of supplement, dosage, duration of use, and individual characteristics.

This review evaluates the effects of commonly used ergogenic aids on athletic performance, post-exercise recovery, and health based on current scientific evidence. First, the roles of carbohydrate, protein, fat, and fluid intake, together with sports drinks, in supporting performance and maintaining

hydration are discussed. In addition, the mechanisms of action and performance-related effects of widely used ergogenic aids, including creatine, caffeine, beta-alanine, branched-chain amino acids, glutamine, arginine, taurine, nitric oxide, carnitine, Tribulus terrestris, and conjugated linoleic acid (CLA), are reviewed. The functions of selected micronutrients, including vitamin C, riboflavin, niacin, and pyridoxine, in exercise performance and recovery are also examined.

The available evidence indicates that certain ergogenic aids, particularly creatine, caffeine, and beta-alanine, may improve specific aspects of athletic performance when consumed at appropriate doses and according to evidence-based protocols. In contrast, the scientific evidence supporting the effectiveness of several other supplements remains limited or inconsistent. Moreover, inappropriate or unsupervised use may increase the risk of adverse health effects and inadvertent doping.

In conclusion, the use of ergogenic aids should be individualized according to the athlete's nutritional status, sport discipline, training demands, and performance goals. To maximize benefits while minimizing potential risks, supplementation should be implemented under professional guidance and in accordance with current scientific evidence.

Keywords: Ergogenic aids, sports nutrition, athletic performance, recovery, nutritional supplements.

GİRİŞ

Ergojenik destekler, sportif performansı artırmak, egzersize bağlı yorgunluğu geciktirmek, toparlanma sürecini hızlandırmak ve antrenman adaptasyonlarını desteklemek amacıyla kullanılan besinsel, fizyolojik, farmakolojik ve psikolojik uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Birol, 2018). "Ergojenik" terimi Yunanca kökenli olup "ergon" (iş) ve "genesis" (oluşum, üretim) sözcüklerinden türemiştir ve performans artırıcı uygulamaları ifade etmektedir. Günümüzde sporcular, fiziksel performanslarını geliştirmek, rekabet avantajı elde etmek ve antrenman verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli ergojenik desteklerden yararlanmaktadır (Gençoğlu, 2021; Kerksick ve ark., 2018). Ergojenik destek kullanımının geçmişi antik dönemlere kadar uzanmaktadır. Tarihsel kayıtlar, sporcuların performanslarını artırmak amacıyla çeşitli bitkisel ürünler, özel diyet uygulamaları ve doğal kaynaklardan yararlandıklarını göstermektedir (Ertin, 2020). Spor bilimlerindeki gelişmeler ve performans beklentilerinin artmasıyla birlikte ergojenik desteklerin çeşitliliği önemli ölçüde artmış; günümüzde tablet, kapsül, sıvı, toz, jel ve bar formunda çok sayıda ürün piyasaya sunulmuştur (Bayram, 2020; Gençoğlu, 2021).

Sportif performansın sürdürülmesi ve geliştirilmesi; yeterli enerji alımı, uygun makro ve mikro besin ögesi tüketimi, hidrasyon durumunun korunması ve planlı antrenman uygulamaları ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte sporcular, dayanıklılığı artırmak, kuvvet gelişimini desteklemek, toparlanma sürecini hızlandırmak ve performans düşüşünü geciktirmek amacıyla ergojenik destek kullanımına yönelmektedir (Papadopoulou, 2017). Yapılan araştırmalar, ergojenik destek kullanımının sporcular arasında oldukça yaygın olduğunu göstermektedir. Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalarda, sporcuların önemli bir bölümünün besin destekleri kullandığı ve özellikle performans artırıcı ürünlere yöneldiği bildirilmiştir (Yalnız ve ark., 2004; Özdoğan ve ark., 2018). Bununla birlikte, besin desteklerinin bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı bazı sağlık risklerini de beraberinde getirmektedir. Takviye ürünlerinin uygunsuz kullanımı besin ögesi etkileşimlerine, ilaç-besin etkileşimlerine, metabolik bozukluklara ve çeşitli yan etkilere neden olabilmektedir. Ayrıca performans artırma amacıyla kullanılan bazı ürünlerin içeriğinde yasaklı maddelerin bulunabilmesi, sporcular açısından doping riskini artırmaktadır (Karakuş, 2014).

Takviye edici gıdalar ile doping maddeleri sıklıkla birbiriyle karıştırılmaktadır. Takviye edici gıdalar; proteinler, vitaminler, mineraller, amino asitler, kreatin ve karnitin gibi performansın desteklenmesine yönelik ürünleri kapsarken, doping maddeleri sportif performansı yapay yollarla artıran ve spor etiği açısından yasaklanmış uygulamaları ifade etmektedir. Doping uygulamalarının tarihsel geçmişi de oldukça eski olup, sporcuların performanslarını artırmak amacıyla farklı maddeler kullandıklarına ilişkin kayıtlar antik dönemlere kadar uzanmaktadır (Ünal, 2011; Dost, 2006).

Modern spor anlayışında başarı beklentilerinin artması, ergojenik destek kullanımını yaygınlaştırırken aynı zamanda güvenlik ve etik konularını da gündeme getirmiştir. Bu nedenle sporcuların kullandıkları ürünlerin içerikleri, etkinlikleri ve olası yan etkileri konusunda bilinçlendirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Performans artışı sağlanırken sporcu sağlığının korunması temel öncelik olmalıdır.

Beslenme, sportif performansı etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Yeterli ve dengeli beslenme; enerji gereksiniminin karşılanması, kas protein sentezinin desteklenmesi, sıvı-elektrolit dengesinin korunması ve egzersiz sonrası toparlanmanın hızlandırılması açısından kritik öneme sahiptir (Baysal, 2002). Sporcuların beslenme gereksinimleri yaş, cinsiyet, antrenman yükü ve spor branşına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle bireyselleştirilmiş beslenme planları ve bilimsel kanıtlara dayalı destek kullanımı hem performansın geliştirilmesi hem de sporcu sağlığının korunması açısından gereklidir. Bu derlemenin amacı, sporcularda yaygın olarak kullanılan ergojenik desteklerin etki mekanizmalarını, kullanım alanlarını, sportif performans üzerindeki etkilerini ve olası sağlık risklerini güncel literatür doğrultusunda değerlendirmektir.

Karbonhidratların Sportif Performans Üzerindeki Ergojenik Etkileri

Karbonhidratlar, özellikle yüksek şiddetli ve uzun süreli egzersizlerde temel enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. İnsan vücudunda karbonhidratlar başlıca karaciğer ve iskelet kaslarında glikojen formunda depolanmakta olup, bu depoların kapasitesi sınırlıdır ve toplam enerji rezervlerinin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır (Jeukendrup, 2021). Egzersiz sırasında kas glikojen depolarının azalması yorgunluğun ortaya çıkmasında önemli rol oynarken, yeterli karbonhidrat alımı performansın sürdürülmesine katkı sağlamaktadır.

Sporcuların karbonhidrat gereksinimleri; yaş, cinsiyet, vücut kompozisyonu, antrenman yoğunluğu ve spor branşına göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak sporcuların günlük enerji alımının yaklaşık %45–65'inin karbonhidratlardan sağlanması önerilmektedir. Dayanıklılık sporcularında ise bu oran ve mutlak karbonhidrat gereksinimi daha yüksek olabilmektedir (Thomas ve ark., 2016).

Egzersiz öncesinde tüketilen karbonhidrat açısından zengin öğünler, kas ve karaciğer glikojen depolarının korunmasına yardımcı olarak performansı olumlu yönde etkilemektedir. Müsabaka öncesindeki 1–4 saatlik dönemde karbonhidrat açısından zengin bir öğün tüketilmesinin egzersiz performansını olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmektedir. Ayrıca uzun süreli egzersizler sırasında karbonhidrat içeren sporcu içecekleri veya atıştırmalıkların tüketilmesi kan glukoz düzeyinin korunmasına ve yorgunluğun geciktirilmesine katkı sağlamaktadır (Benardot, 2020).

Glikojen depolarının maksimum düzeyde tutulmasının hedeflendiği dönemlerde sporcular için günlük 8–12 g/kg karbonhidrat alımı önerilmektedir. Orta yoğunlukta antrenman yapan sporcular için günlük 5–7 g/kg karbonhidrat alımı genellikle yeterli kabul edilirken, antrenman hacmi ve şiddeti arttığında gereksinim 6–10 g/kg/gün düzeyine ulaşabilmektedir (Vitale, 2019). Karbonhidratların yalnızca yüksek yoğunluklu egzersizlerde değil, uzun süreli aerobik aktivitelerde de önemli bir enerji kaynağı olduğu bilinmektedir (Gropper, 2012).

Sonuç olarak karbonhidratlar, sporcularda performansın sürdürülmesi, glikojen depolarının korunması ve egzersize bağlı yorgunluğun geciktirilmesi açısından en önemli ergojenik besin ögelerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle karbonhidrat tüketimi, sporcunun antrenman yükü ve performans hedefleri doğrultusunda bireyselleştirilmelidir.

Proteinlerin Sportif Performans Üzerindeki Ergojenik Etkileri

Proteinler, kas dokusunun gelişimi, onarımı ve korunmasında temel rol oynayan makro besin ögeleridir. Özellikle düzenli antrenman yapan sporcularda protein gereksinimi sedanter bireylere kıyasla daha yüksektir. Protein alımı; kas protein sentezinin uyarılması, egzersize bağlı kas hasarının onarılması, kuvvet ve kas kütlesinin korunması ile antrenman sonrası toparlanma sürecinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (Morton ve ark., 2018).

Egzersizin türü, süresi ve yoğunluğu protein gereksinimini etkileyen başlıca faktörlerdir. Protein gereksinimi sporun türüne göre değişiklik göstermektedir. Dayanıklılık sporcularında günlük gereksinim 1,2–1,4 g/kg düzeyinde önerilirken, kuvvet ve direnç antrenmanı yapan sporcularda bu

miktar 1,2–2,0 g/kg/gün'e kadar çıkabilmektedir (Thomas ve ark., 2016). Yoğun antrenman dönemlerinde veya enerji kısıtlamasının uygulandığı durumlarda protein gereksinimi daha da artabilmektedir. Bazı araştırmalar, kuvvet sporcularında protein alımının 2,2 g/kg/gün düzeyine kadar çıkarılmasının kas kütlesinin korunmasına ve performansın desteklenmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Antonio ve ark., 2019). Protein tüketiminin zamanlaması da sportif performans açısından önemlidir. Uluslararası Spor Beslenmesi Derneği (ISSN), antrenmandan 3–4 saat önce karbonhidrat ile birlikte yaklaşık 0,15–0,25 g/kg protein tüketilmesinin performans ve toparlanma üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini bildirmektedir (Kerksick ve ark., 2008). Ayrıca egzersiz sonrasında kaliteli protein kaynaklarının tüketilmesi kas protein sentezini artırarak toparlanma sürecini desteklemektedir. Sonuç olarak proteinler, kas adaptasyonlarının geliştirilmesi, egzersiz sonrası iyileşmenin hızlandırılması ve sportif performansın desteklenmesi açısından sporcu beslenmesinin temel bileşenlerinden biridir. Protein gereksiniminin bireysel özellikler ve spor branşı dikkate alınarak planlanması önerilmektedir.

Yağların Sportif Performans Üzerindeki Ergojenik Etkileri

Yağlar, sporcularda enerji metabolizmasının önemli bileşenlerinden biri olup özellikle düşük ve orta şiddetteki uzun süreli egzersizlerde temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Karbonhidrat depolarının sınırlı olması nedeniyle yağ oksidasyonu, uzun süreli fiziksel aktivitelerde enerji gereksiniminin karşılanmasına önemli katkı sağlamaktadır (Jentjens ve Jeukendrup, 2003). Egzersiz yoğunluğu arttıkça karbonhidrat kullanımı ön plana çıkarken, düşük yoğunluklu aktivitelerde yağlardan elde edilen enerji oranı artmaktadır. Bu nedenle yağlar, glikojen depolarının korunmasına yardımcı olarak uzun süreli egzersiz performansının sürdürülmesinde dolaylı bir role sahiptir. Bununla birlikte yüksek yağlı diyetlerin performans üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular sınırlıdır ve birçok çalışmada yüksek yağ tüketiminin yüksek yoğunluklu egzersiz performansını desteklemediği bildirilmiştir. Yağlar mide boşalmasını yavaşlatmaları nedeniyle egzersiz öncesinde yüksek miktarlarda tüketildiğinde gastrointestinal rahatsızlıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle antrenman veya müsabaka öncesinde yağdan zengin öğünlerin tüketimi önerilmemektedir (Insel ve ark., 2004). Sporcularda günlük enerji alımının yaklaşık %20–35'inin yağlardan karşılanması önerilmektedir. Yağ tüketiminin toplam enerjinin %15'inin altına düşmesi durumunda yağda çözünen vitaminlerin emiliminde bozulma, hormonal değişiklikler ve performans kayıpları görülebilmektedir (Güneş, 2012). Sonuç olarak yağlar, enerji metabolizması, hormon sentezi ve hücresel fonksiyonların sürdürülmesi açısından sporcu beslenmesinin vazgeçilmez bileşenlerinden biridir. Ancak yağ tüketiminin miktarı ve zamanlaması bireysel gereksinimlere ve egzersizin özelliklerine göre planlanmalıdır.

Sporcularda Sıvı Alımı

Spor yapan bir bireyin enerji gereksinimini karşılayabilmesi için ihtiyaç duyulan oksijenin kandan vücut hücrelerine daha hızlı taşınması gerekmektedir. Bu süreçte kalbin de daha yüksek bir hızda çalışması söz konusudur. Artan fiziksel aktiviteyle birlikte terleme yoluyla sıvı kaybı meydana gelir ve buna bağlı olarak vitamin ve mineral gibi mikro besin ögelerine olan gereksinim de artabilir. Yetersiz sıvı alımı; kas ve kemik güçsüzlüğü, performans düşüklüğü ve vücut ağırlığının doğru takip edilememesi gibi olumsuz sonuçlara neden olabileceğinden sporcuların yeterli su tüketimine özen göstermesi önemlidir (Kuşoğluları, 2019). Genç sporcularda vücut su oranı yetişkinlere göre daha yüksek olduğundan sıvı dengesinin korunması büyük önem taşımaktadır. Yoğun egzersiz yapan bireylerde terleme ile saatte yaklaşık 2–3 L sıvı kaybı oluşabilmektedir. Kaybedilen sıvının kısa sürede yerine konulmaması dehidratasyona yol açabilir (Ament & Verkerke, 2009). Vücut sıvısındaki azalma kan hacmini düşürerek kardiyak debinin azalmasına neden olmaktadır (Baysal, 2002). Egzersiz sırasında kaybedilen sıvı çeşitli içeceklerle yerine konulabilmekle birlikte en uygun seçenek sudur. Özellikle 60 dakikadan uzun süren egzersizlerde sodyum, diğer elektrolitler ve karbonhidrat içeren sporcu içecekleri sıvı-elektrolit dengesinin korunmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte genç sporcularda sporcu içeceği kullanımının rutin olarak önerilmediği bildirilmektedir (Ament & Verkerke, 2009). Yarışma veya yoğun antrenmandan bir gün önce yaklaşık 3–3,5 L su tüketilmesi, egzersiz sırasında ise her 15 dakikada bir

yaklaşık 150 mL sıvı alınması önerilmektedir. Tüketilen suyun çok sıcak ya da çok soğuk olmaması tavsiye edilmektedir (Macaluso ve ark., 2013).

Sporcu içecekleri

Sporcu içecekleri, karbonhidratları, elektrolitleri ve sıvıları sayesinde fiziksel performansı önemli ölçüde iyileştirebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, protein içeren sporcu içeceklerinin egzersiz sırasında tüketildiğinde zayıflamasını artırdığını, dehidrasyon nedeniyle yaşanan kilo kaybını ve yalnızca karbonhidratlar ve elektrolit içeren içeceklerle çalıştırıldığı egzersiz sonrasında kas hasarını artırmaya yardımcı olduğu bildirmiştir.

Sporcu içecekleri; farklı karbonhidratlar, renklendiriciler ve elektrolitler içerir. %6-8 glukoz veya sükroz içeren içecekler hızlı emilir ve kaslara enerji sağlar. Karbonhidrat oranı %6-10 olanlar egzersiz sırasında, %10-25 olanlar ise daha yavaş emildikleri için dinlenme sırasında tüketilmelidir. %10'dan fazla karbonhidrat içeren içecekler bazı kişilerde mide bulantısı, ishal ve krampa yol açabilir. Sodyum içeren içecekler susama hissini baskılamazken, sodyumsuz olanlar su içme isteğini azaltabilir. Suya sodyum ve glikoz eklenmesi ise ozmozu hızlandırarak sıvı emilimini artırır.

Ergojenik Destek

Ergojenik destekler, bireyin fiziksel ve zihinsel performansını artırmaya yönelik uygulamalar olup sporcularda performansı, toparlanmayı ve egzersiz verimliliğini geliştirebilmektedir. Ergojenik destekler; biyomekanik, psikolojik, fizyolojik, farmakolojik ve besinsel olmak üzere farklı kategorilere ayrılmaktadır (Maughan, 2021). Biyomekanik ergojenik destekler, antrenman veya müsabaka sırasında sportif performansı artırmak amacıyla kullanılan cihaz ve ekipmanları kapsamaktadır. Golf sopaları, ağırlık kaldırma kemerleri ve büyük başlıklı tenis raketleri biyomekanik ergojenik desteklere örnek olarak gösterilebilir (Maughan, 2021).

Dallı Zincirli Amino Asitler

Dallı zincirli amino asitler (DZAA), lösin, izolösin ve valinden oluşan esansiyel amino asitlerdir. DZAA'lar, diğer amino asitlerden farklı olarak büyük oranda iskelet kasında metabolize edilmekte ve egzersiz sırasında enerji üretimine katkı sağlamaktadır (Shimomura ve ark., 2004). Özellikle lösin, kas protein sentezinin düzenlenmesinde görev alan mTOR sinyal yolunu aktive ederek kas gelişimi ve onarımında önemli rol oynamaktadır (Shimomura ve ark., 2004).

Yoğun fiziksel aktivite sırasında kas protein yıkımının artması ve amino asit gereksiniminin yükselmesi nedeniyle DZAA takviyeleri sporcular arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. DZAA'ların egzersize bağlı kas hasarını azaltabileceği, toparlanma sürecini destekleyebileceği ve kas protein sentezini artırabileceği bildirilmektedir (Karamızrak, 2013; Erdoğan, 2019). Bununla birlikte, sportif performans üzerindeki etkilerine ilişkin araştırma sonuçları tutarlı değildir.

Bazı araştırmalar, DZAA kullanımının egzersiz sonrası kas ağrısını azaltabileceğini ve toparlanma sürecini iyileştirebileceğini gösterirken, diğer çalışmalar performans üzerine anlamlı bir etkisinin bulunmadığını bildirmektedir. Ayrıca, DZAA'ların kas protein sentezi üzerindeki etkisinin diğer esansiyel amino asitlerin yeterli düzeyde bulunması durumunda daha belirgin olduğu belirtilmektedir (Wolfe, 2017).

DZAA takviyeleri genellikle günlük 5–20 g dozlarında kullanılmakta olup bazı araştırmacılar yaklaşık 7–10 g/gün veya 100 mg/kg vücut ağırlığı dozlarını önermektedir (Bishop, 2010). Mevcut bilimsel veriler değerlendirildiğinde, DZAA'ların doğrudan performans artırıcı etkilerinden ziyade egzersiz sonrası toparlanmanın desteklenmesi ve kas hasarının azaltılmasında potansiyel yararlar sağlayabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, farklı spor branşlarında ve farklı antrenman düzeylerinde etkinliğinin daha net ortaya konulabilmesi için daha fazla randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Glutamin Yapısı ve Fizyolojisi

Glutamin, insan vücudunda en yüksek oranda bulunan serbest amino asitlerden biri olup serbest amino asit havuzunun yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Vücuttaki glutaminin yaklaşık %75'i iskelet kasında

depolanırken, geri kalan kısmının önemli bir bölümü karaciğerde bulunmaktadır. Glutamin, serbest formunun yanı sıra glutamin peptit formunda da kullanılabilmektedir. Bağışıklık sisteminin desteklenmesinde önemli rol oynadığı, yorgunluk hissinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği, yara iyileşmesini desteklediği, enerji metabolizmasına katkıda bulunduğu, nitrojen taşınmasında görev aldığı ve protein sentezinde rol oynadığı bildirilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle glutamin, sporcularda performansın ve toparlanma sürecinin desteklenmesi amacıyla tercih edilen besinsel ergojenik desteklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Bayram, 2020).

Glutamin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Glutaminin tek başına sporcu performansı üzerindeki etkisine ilişkin kesin bir görüş birliği bulunmamakla birlikte, diğer amino asitler veya karbonhidratlarla birlikte kullanıldığında performansı artırma potansiyeline sahip olabileceği bildirilmektedir (Bayram, 2020). Yapılan bir çalışmada, glikojen depolarının yenilenmesini takiben gerçekleştirilen yüksek yoğunluklu egzersizlerde tek başına glutamin takviyesinin performans üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, glutaminin öncüsü olarak değerlendirilen dallı zincirli amino asit (BCAA) takviyesinin plazma glutamin düzeylerini artırdığı ve kas iyileşmesini desteklediği, ancak egzersiz performansında anlamlı bir iyileşme sağlamadığı bildirilmiştir (Bayram, 2020).

Uzun süreli egzersizlerin plazma glutamin konsantrasyonunda azalmaya neden olarak bağışıklık sistemi fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, glutamin takviyesinin sportif performansı artırdığına ilişkin yeterli bilimsel kanıt bulunmamaktadır (Karamızrak, 2013). Ayrıca, yüksek dozlarda glutamin kullanımının hiperamonyemi gelişimine neden olabileceği bildirilmektedir (Bayram, 2020). Sonuç olarak, mevcut bilimsel veriler doğrultusunda glutaminin tek başına kullanımının sporcularda performansı artırdığına ilişkin yeterli kanıt bulunmamaktadır.

Arjinin Yapısı ve Fizyolojisi

Arjinin, insan vücudunda sınırlı miktarda sentezlenebilen bir amino asit olup yenidoğanlar ve fetüs için esansiyel, yetişkinler için ise yarı esansiyel amino asit olarak kabul edilmektedir (Erdoğan, 2019; Yılmaz, 2015).

Arjinin, besinlerde yaygın olarak bulunan ve nitrik oksit (NO) sentezi, protein sentezi, kreatin, ornitin ve üre oluşumu ile poliamin ve sitrülin sentezi gibi birçok metabolik süreçte görev alan önemli bir amino asittir (Yavuz, 2006). Normal fizyolojik koşullarda hücre içerisinde L-sitrülinden sentezlenmektedir (Yılmaz, 2015). Standart bir diyetle günlük yaklaşık 3,5–5 g arjinin alınmaktadır (Campbell, 2004). Arjinin, birçok fizyolojik reaksiyonun gerçekleşmesinde rol oynamasının yanı sıra, takviye olarak kullanıldığında egzersiz sırasında kas yorgunluğuna katkıda bulunan laktat ve amonyak birikimini azaltabileceği bildirilmektedir (Erdoğan, 2019; Liu, 2009).

Arjinin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Arjinin, özellikle nitrik oksit (NO) sentezini artırması ve büyüme hormonu salınımını uyarması nedeniyle sporcular tarafından yaygın olarak kullanılan bir besinsel ergojenik destektir. Ayrıca, esansiyel amino asitlerle birlikte alındığında protein sentezini artırabileceği bildirilmektedir (Yavuz, 2006). Sporcularda arjinin takviyesinin öne çıkan ergojenik etkileri arasında hipofiz bezinden büyüme hormonu salınımını artırması, kreatin sentezine katkıda bulunması ve nitrik oksit üretimini desteklemesi yer almaktadır (Yılmaz, 2015).

Arjininin akut kullanımının egzersiz performansını artırabileceği, kronik kullanımının ise kas protein sentezini destekleyebileceği bildirilmektedir (Bayram, 2020). Akut dönemde artan nitrik oksit üretimine bağlı olarak iskelet kaslarında vazodilatasyonun desteklenmesi, kan akışının artmasına ve performansın iyileşmesine katkı sağlayabilmektedir (Bayram, 2020).

Bununla birlikte, mevcut araştırmaların sonuçları sınırlı ve çelişkilidir. Bazı çalışmalar, arjinin takviyesinin kas hipertrofisi, kuvvet egzersizleri ve aerobik performans üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Arjinin için önerilen günlük takviye dozu genellikle 2–20 g arasında değişmektedir. Günlük 9 g'a kadar olan takviyelerin genellikle güvenli olduğu, ancak 9–30 g/gün gibi daha yüksek dozlarda gastrointestinal rahatsızlıklar başta olmak üzere çeşitli yan etkilerin görülebileceği

bildirilmiştir (Bayram, 2020). Bu nedenle, arjininin potansiyel bir ergojenik destek olarak etkinliğinin daha net ortaya konulabilmesi için farklı dozları ve uzun süreli kullanımı değerlendiren daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Abel, 2005).

Taurin Yapısı ve Fizyolojisi

Taurin, kükürt içeren bir amino asit olup insan vücudunda hücre içi ortamda en yüksek konsantrasyonda bulunan serbest amino asitlerden biridir (Lourenço, 2002; Özçelik, 2007). Besinsel kaynaklar açısından özellikle et, balık ve diğer deniz ürünlerinde yüksek miktarda bulunmaktadır (Schuller-Levis, 2003). Taurin; retina gelişimi ve görme fonksiyonlarının sürdürülmesi, merkezi sinir sistemi fonksiyonları, hücre membranının stabilizasyonu, kalsiyum homeostazının düzenlenmesi, üreme sağlığı ve bağışıklık sistemi başta olmak üzere birçok fizyolojik ve biyolojik süreçte önemli görevler üstlenmektedir (Lourenço, 2002; Schuller-Levis, 2003).

Taurin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Yoğun egzersizin, reaktif oksijen türlerinin (Reactive Oxygen Species; ROS) üretimini artırarak oksidatif strese ve kas hücrelerinde hasara yol açtığı bilinmektedir. Taurin ise iskelet kasında yüksek konsantrasyonda bulunan ve hücresel redoks dengesinin korunmasına katkı sağlayarak serbest radikallerin neden olduğu oksidatif hasara karşı koruyucu etki gösteren önemli bir amino asit türevidir (Thirupathi, 2020).

Taurin takviyesinin egzersiz performansını destekleyebileceği bildirilmekle birlikte, yoğun egzersiz sırasında kas dokusundan salınmasına bağlı olarak doku konsantrasyonunda azalma meydana gelebilmektedir. İnsanlarda yapılan çalışmalarda, günlük 10 g'a kadar taurin takviyesinin belirgin bir toksisite oluşturmadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, taurinin uzun dönem güvenilirliği ve sportif performans üzerindeki etkilerinin daha net ortaya konulabilmesi için daha kapsamlı ve uzun süreli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (De Luca, 2015).

Nitrik Oksit (No) Yapısı ve Fizyolojisi

Nitrik oksit (NO), serbest radikal yapısında gaz hâlinde bulunan bir molekül olup fizyolojik süreçlerde önemli bir sinyal molekülü olarak görev yapmaktadır. Özellikle damar düz kaslarının gevşemesini sağlayarak vazodilatasyona neden olmakta, böylece kan akışını artırmakta ve oksijen ile besin ögelerinin dokulara taşınmasını desteklemektedir (Andrabi, 2023).

Nitrik Oksitin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Son yıllarda yapılan çalışmalar, nitrik oksidin hem istirahat hem de egzersiz sırasında periferik ve koroner dolaşımın düzenlenmesinde, ayrıca gastrointestinal sistem fonksiyonlarının sürdürülmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Fiziksel aktivite ve egzersiz, nitrik oksit üretimini artırarak birçok dokuda olumlu fizyolojik etkiler oluşturmaktadır (Andrabi, 2023).

Düzenli ve orta şiddette yapılan fiziksel aktiviteler, nitrik oksit biyoyararlanımını artırarak damar fonksiyonlarının iyileşmesine ve vasküler gevşemenin desteklenmesine katkı sağlayabilmektedir. Buna karşın, yüksek şiddetli ve uzun süreli egzersizlerde nitrik oksit düzeylerinde azalma görülebilmektedir. Bu durumun, artan oksidatif stres ve nitrik oksidin daha fazla tüketilmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Taş, 2009). Ayrıca, egzersiz sırasında solunum ve üriner sistem yoluyla nitrik oksit metabolitlerinin atılımında artış gözlenmiştir (Andrabi, 2023).

Kreatin Yapısı ve Fizyolojisi

Kreatin, amino asitlerle birlikte kalbi, böbrek ve pankreasta sentezlenebilen bir bitkiseldir ve genellikle et ve balık gibi gıdalardan elde edilir. Sporcular tarafından uygun dozda ve sürede alındığında herhangi bir yan etkisi bulunmamakla birlikte, genel şekli genişletir ve vücudun ısısını dengeler (Bayır, 2023).

Kreatin, sporcunun antrenmanın sonrasındaki süreçte vücudunun çabuk eski haline gelebilmesine ve vücut ısısı üzerindeki pozitif etkilerinin yanı sıra çokça rahatsızlığı tedavi etmekte ya da tedavi sürecine fayda sağlamada etkili olduğu bilinmektedir (Bediz, 2018). Kreatin, taze balık ve et gibi besinlerle veya takviye şeklinde alınabildiği gibi, metiyonin, arjinin, glisin ve diğer amino asitler aracılığıyla özellikle beyinde, ayrıca böbrek ve pankreasta sentezlenebilir. Vücutta bulunan kreatinin yaklaşık %95'i ince

kaslarında depolanır (Bishop, 2010). ATP'nin hidrolizasyon hızı, egzersizin yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği için, kaslardaki fosfokreatin depolarının yüksek olabilmesi için kreatin seviyelerinin optimal düzeyde olması gerekir (İbiş, 2006).

Kreatin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Bugüne kadar yapılan araştırmalar, kreatin takviyesinin fizyolojik açıdan olumlu etkiler sunduğunu ve sporcuların performanslarında artış sağladığını göstermektedir. Çalışmaların genelinde, kreatinin enerji üretimi üzerindeki pozitif etkileri nedeniyle özellikle anaerobik sporlarda sporcuların performansını iyileştirdiği bildirilmiştir (İbiş, 2006).

Beta Alanin Yapısı ve Fizyolojisi

Beta alanin, birçok besinde bulunur, karaciğerde sentezlenir. Özellikle tavuk, kırmızı et ve hindi etinde genel olarak var olan bir aminoasittir. (Bishop, 2010) (Başoğlu, 2018). Beta-alanin takviyesinin, hücre içi pH dengesini iyileştirerek özellikle yaşlılarda kas dayanıklılığını artırdığı belirtilmiştir (Stout, 2008). Beta-alanin takviyesi, kaslardaki karnosin seviyelerini artırarak egzersiz sırasında laktik asit birikimini azalttığı ve yüksek yoğunluklu egzersizlerde fiziksel performansı iyileştirdiği bilinmektedir. Bu durum, toplam kas tampon kapasitesini artırdığını göstermektedir (Artioli, 2010).

Beta Alanin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Beta-alanin, karaciğerde sentezlenebilen ve birçok besinde doğal olarak bulunan bir amino asit türevidir. Özellikle tavuk, hindi eti ve kırmızı et gibi hayvansal kaynaklı besinlerde yüksek miktarda bulunmaktadır (Başoğlu, 2018; Bishop, 2010). Beta-alanin takviyesinin, hücre içi pH dengesinin korunmasına katkı sağlayarak özellikle yaşlı bireylerde kas dayanıklılığını artırabileceği bildirilmiştir (Stout, 2008). Ayrıca beta-alanin takviyesi, kaslardaki karnosin düzeyini artırarak egzersiz sırasında oluşan hidrojen iyonlarını tamponlamakta ve böylece yüksek yoğunluklu egzersizlerde yorgunluğun gecikmesine ve fiziksel performansın iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, kasların tamponlama kapasitesinin artması ile açıklanmaktadır (Artioli, 2010).

Antioksidanların Yapısı ve Fizyolojisi

Serbest radikaller ve diğer reaktif türlerin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle, canlı organizmaları bu olumsuz etkilere karşı koruyan bileşikler antioksidanlar olarak tanımlanmaktadır (Olszowy, 2019). Oksidatif hasara neden olan serbest radikallere karşı organizmanın savunma mekanizmaları, çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan sistemler aracılığıyla sağlanmaktadır (Antolovich, 2002). Serbest radikallerin biyolojik sistemlerde bazı düzenleyici ve fizyolojik işlevlerde rol oynadığı bilinmekle birlikte, bu reaktif türlerin aşırı düzeyde birikmesi hücresel bileşenlerde hasara neden olmakta ve birçok hastalığın gelişimi, yaşlanma süreci ile hücre ölümünde önemli bir etken olarak kabul edilmektedir (Chandimali, 2025).

Antioksidanların Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Yapılan çalışmalar, antioksidan takviyesinin egzersize bağlı kas yorgunluğunu azaltabileceğini göstermektedir (Margaritelis, 2020). Antioksidan takviyeleri; oksidatif stresi azaltmak, egzersize bağlı kas hasarını sınırlandırmak ve sportif performansı desteklemek amacıyla kullanılmaktadır (Peternelj, 2011). Özellikle yüksek irtifa antrenman ve kamp dönemlerinde artan oksidatif stres nedeniyle antioksidan gereksinimi önem kazanmaktadır. Bu süreçte serbest radikal üretiminin artması ve endojen antioksidan savunma sisteminin baskılanması nedeniyle antioksidan takviyelerinin yararlı olabileceği bildirilmektedir (Pialoux ve ark., 2006; Pialoux ve ark., 2009).

C Vitamininin Yapısı ve Fizyolojisi

C vitamini, güçlü antioksidan özellik göstermesinin yanı sıra, oksijen taşınmasında görev alan demirin bağırsaklardan emilimini artırması nedeniyle sporcular açısından önem taşıyan vitaminlerden biridir. Demir emilimini destekleyici etkisi nedeniyle C vitamininin farklı egzersiz türleri ve sportif performans üzerindeki olası etkileri araştırılmaya devam etmektedir. C vitamini ile E vitamini ve B grubu vitaminlerinin gereksinimin üzerinde alınmasının performansı artırabileceği öne sürülmüş olsa da bu konuda elde edilen bilimsel bulgular sınırlı ve çelişkilidir (Arslan, 2004). Güncel çalışmalar, söz konusu

vitaminlerin yüksek dozlarda kullanımının sportif performans üzerine olumlu etkilerini destekleyen yeterli bilimsel kanıt bulunmadığını göstermektedir (Gençoğlu, 2021).

C Vitamininin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Çalışmalar, günlük yaklaşık 80 mg C vitamini alımının aerobik enerji üretimi için yeterli düzeyde olabileceğini öne sürmektedir. Sporcular üzerinde yapılan araştırmalarda C vitamininin atletik performans ve maksimum oksijen tüketimi (VO_2max) ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir. Literatürde, C vitamini takviyesinin VO_2max ve performansı artırdığını bildiren çalışmalar olduğu gibi, herhangi bir performans değişikliği göstermediğini ortaya koyan araştırmalar da bulunmaktadır (Arslan, 2004).

C vitamini takviyesinin dayanıklılık ve kuvvet performansı üzerinde doğrudan belirgin bir etkisi bulunmamakla birlikte, oksidatif stresi azaltarak kas hasarı ve kas ağrısının hafifletilmesine katkı sağlayabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle yoğun antrenman dönemlerinde sporcuların toparlanma sürecini destekleyebileceği ve ergojenik bir destek olarak değerlendirilebileceği ifade edilmektedir (Halat, 2001; Atabek, 2010).

Riboflavin Yapısı ve Fizyolojisi

Riboflavin, suda çözünen bir vitamin olup diyetle alımında en önemli kaynaklar arasında süt ve süt ürünleri yer almaktadır (Powers, 2003). Riboflavin, vücuttaki tüm hücrelerde enerji üretimi ve protein metabolizmasına destek sağlayan önemli bir koenzim olarak görev yapmaktadır (Karabudak, 2012). Yumurta, yeşil yapraklı sebzeler ve kuru baklagiller riboflavin açısından zengin besin kaynakları arasında yer almaktadır (Karabudak, 2012).

Riboflavin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Sporcuların enerji metabolizması, hormonsal denge, dayanıklılık, bağışıklık sistemi ve kardiyovasküler sağlıklarını koruyabilmeleri için yeterli miktarda Riboflavin vitamini alımları gereklidir (Gromova, 2019). Yumurta, yağı bulunmayan et, süt ürünleri ve yeşil yapraklı sebzeler bakımından bu vitamin zengindir (Ashoori, 2014). Yapılan araştırmalar, sporcularda B2 vitamini takviyesinin aerobik kapasiteyi artırdığını ve kuvvet sporcularında ise toparlanma sürecini hızlandırdığına dair olumlu bulgular ortaya koymuştur (Gromova, 2019).

Niasin Yapısı ve Fizyolojisi

Niasin tüm yağsız kırmızı et, sakatat çeşitleri, balık, karides ve bunların yanında süt ve ürünlerinde var olması gibi fasulye, pirincin kepeği, havuç sebzesi, şalgam, kereviz, badem ve bitkisel kaynaklarda bulunur (Bahadıroğlu, 2014). B3 vitamini vücutta depolanmadığı için en fazla karaciğer, böbrek ve kaslarda vardır (Özdilek, 2019).

Niasin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Spor yapan bireyler adına alım seviyesi niasin için günde 19–20 mg'dır (Bora, 2015). Ayrıca, karaciğer hastalığı, ülser veya hipotansiyon gibi rahatsızlıkları olan kişilerin yüksek dozda niasin kullanmamaları tavsiye edilir (Özdilek, 2019). Niasin dışardan ek takviye halinde alındığında spor açısından performansa etkisi olmadığı görülmüştür (Özdilek, 2019).

Piridoksin Yapısı ve Fizyolojisi

Piridoksin, sahip olduğu kimyasal özellikler ve metabolik süreçlerdeki geniş rolü nedeniyle suda çözünen vitaminler arasında merkezi bir öneme sahiptir; son yıllarda bu vitaminin biyolojik işlevleri ve sağlık üzerindeki etkilerine yönelik bilimsel çalışmaların belirgin biçimde arttığı bildirilmektedir (Bjørke-Monsen, 2023). Bir günde tüketilmesi önerilen doz 1,5–1,7 mg arasındadır (Türker, 2019).

Piridoksin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Piridoksin vitamini eksikliği, hipokromik mikrositer anemiye yol açabilir. Bunun nedeni, GALA (Amino levülinik asit) sentezinin baskılanmasıdır (Aksoy, 2000). Dayanıklılık gerektiren sporlar sırasında, GALA kaybının artması Piridoksin vitamini seviyelerinde bir azalma yaratabilir. Ancak, bu genellikle diyetle yeterli Piridoksin vitamini alımının olmamasına bağlıdır ve performans üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı kabul edilmektedir (Akıl, 2007). Sonuç olarak, Piridoksin eksikliği atletik performansı olumsuz etkileyebilir (Türker, 2019).

Yeşil Çay Ekstresi Yapısı ve Fizyolojisi

Yeşil çay, *Camellia sinensis*'in harmanlanmış yapraklarının, içerdiği enzimleri inaktive etmek ve fermentasyonu engellemek amacıyla hızla buharla işlenmesi veya kızartılmasıyla elde edilen kuru ve stabil bir üründür (Gençoğlu, 2021). Oksidatif stresin neden olduğu olumsuz etkileri engelleme, nöronları koruma ve diğer çeşitli yararlı etkilerinin olduğu yapılan araştırmalarla gösterilmiştir (Saygı, 2010). Araştırmalar, bu etkilerin antioksidan, antiinflamatuar, mikrogliya aktivitesini azaltıcı, antikanserojenik, antimutajenik, antianjiyojenik, apoptotik, antiobezite, kolesterol düşürücü (hipolipidemik), antiarteriosklerotik, serbest radikal temizleyici, antibakteriyel, antidiyabetik, antiviral ve yaşlanmayı geciktirici özelliklerle ilişkili olduğunu göstermektedir (Oral, 2015).

Yeşil Çay Ekstresinin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Bazı hayvan deneylerinde, yeşil çay takviyesinin aerobik egzersiz sırasında iskelet kaslarında β-oksidasyon ve yağ oksidasyonunu artırdığı, aynı zamanda kas glikojenini koruyarak dayanıklılık kapasitesinin gelişmesine katkı sağladığı tespit edilmiştir (Jówko, 2015). Yeşil çayın uzun süreli tüketimi, dayanıklılık kapasitesini artırırken, tek doz alımından sonra belirgin bir etki gözlemlenmemiştir (Murase, 2005).

Ginseng Yapısı ve Fizyolojisi

Ginseng, dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir ergojenik destek ürünüdür ve özellikle Uzak Doğu'da tıbbi amaçlarla sıkça tercih edilmektedir. Amerikan ve Asya türleri en çok bilinen çeşitleridir. Ginsengin en yaygın türleri ise *Eleutherococcus* ve *Panax* cinsleridir. Ticari ginseng ürünlerinin kimyasal bileşenleri, bitkinin genetik yapısı, yetiştirilme koşulları ve kurutma işlemi gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilir (Hong, 2005).

Ginseng Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Ginseng, son zamanlarda hızla popülerlik kazanan takviyelerdendir fakat bu bitkinin egzersiz performansı üzerindeki etkilerine dair mevcut bilimsel veriler sınırlıdır (Sellami, 2018). Bazı araştırmalarda, ginsengin çay olarak tüketilmesi halinde günlük 3–4 bardak önerilirken, kapsül veya tablet formunda alınması durumunda ise günde 2 kez 1–2 adet alınması tavsiye edilmektedir. Sporcuların fiziksel ve psikolojik performanslarında iyileşme sağlamak için, günde 100 mg'lık dozun iki defa alınması önerilmektedir (Erdoğan, 2019).

Karnitin Yapısı ve Fizyolojisi

Bu bileşik, yağ asitlerinin iç mitokondriyal membrandan geçişini sağlayarak enerji üretimi için önemli bir rol üstlenir (Kopec, 1973). Karnitin, kas hücrelerinde uzun zincirli yağ asitlerini enerji üretimi için mitokondrilere taşıyarak, bu asitlerin β-oksidasyon sürecine katılmalarını sağlar. Bu süreç, yağ yakımını destekler (Bieber, 1998). Diyetle alınan L-karnitin kaynakları arasında en zengin besinler kırmızı et, balık, tavuk ve süt ürünleridir.

Karnitin Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

L-karnitin, uzun zincirli yağ asitlerinin mitokondriye taşınmasını destekleyerek egzersiz sırasında enerji üretimine katkı sağlayabilir; ancak yağ yakımı üzerindeki etkileri konusunda literatürde tutarsız bulgular bulunmaktadır (Martins, 2024).

L-karnitinin metabolizmadaki etkileri olarak kesin bir görüş birliği bulunmamakla birlikte, özellikle yağ oksidasyonu üzerindeki rolü dikkate alındığında, eksikliğinin enerji üretim mekanizmalarında olumsuz sonuçlara yol açabileceği öne sürülmektedir. Bu durum, uzun süreli fiziksel aktiviteler sırasında yağ asitlerinin enerji kaynağı olarak kullanımını doğrudan etkileyebilir ve dayanıklılık performansı açısından önemli bir faktör olabilir (Coelho, 2010).

Kafein Yapısı ve Fizyolojisi

Kafein, kahve, çay, çikolata ve enerji içeceklerinde yaygın olarak bulunan psikoaktif bir bileşiktir ve etkileri, emilim, metabolizma ve atılım süreçlerine bağlı plazma düzeyleriyle ilişkilidir (Grgic, 2023). Özellikle kas kasılmasını destekleyen en olası mekanizmalardan biri, her bir motor ünite tarafından üretilen kuvveti artıran kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) mobilizasyonudur. Kafein, sarkoplazmik retikulumdan

serbest kalan kalsiyum miktarını artırarak kas liflerinin daha güçlü ve verimli kasılmasını sağlayabilir. Bu durum, özellikle yüksek yoğunluklu egzersizlerde ve dayanıklılık performansında önemli bir avantaj sunabilir (Buzdağlı, 2021).

Kafein Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Deneysel çalışmalarda kafein dozlarının genellikle 4–6 mg/kg vücut ağırlığı aralığında olduğu bildirilmiş olup, alım sonrası yaklaşık 40–60 dakika içinde maksimum plazma düzeyine ulaşarak merkezi sinir sistemi, kardiyovasküler sistem ve iskelet kası üzerinde uyarıcı etkiler göstermeye başlamaktadır (Grgic, 2020). Bu durum, müsabaka öncesinde yapılan ısınma sürecinde kafein alındığında, plazmadaki kafein seviyelerinin tüm maç boyunca yeterli düzeyde kalabileceğini göstermektedir. Böylece, kafeinin sağladığı bilişsel ve fiziksel performans avantajları, müsabakanın kritik anlarında da devam edebilir (Bell, 2002). Önerilen doz aralığının üzerindeki kafein tüketiminin performans üzerinde ek bir fayda sağlamadığı görülmüştür.

Tribulus Yapısı ve Fizyolojisi

Tribulus Terrestris (TT) olarak bilinen tribulus bitkisi, insanlarda tam olarak ne şekilde etki ettiği açıklanamayan alkaloidler ve steroid glikozitleri gibi farklı organik bileşenler barındırır (Pokrywka, 2014). Bu bileşikler, flavonoidler, flavonol glikozitler, steroidal saponinler ve alkaloidler gibi sağlık açısından değerli kimyasal bileşenlerden oluşur (Chhatre, 2014).

Tribulus Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Tribulus Terrestris, kas büyümesi, kas verimliliği ve kas gücünde hızlı artış sağlamak isteyenler için etkili bir takviye olarak kullanılır (Abudayyak, 2015). Kas gücünü ve yağsız kas kütlesini fazlalaştırmak isteyen sporcuların, bitkisel takviyelere ek olarak dengeli beslenme alışkanlıklarından da yararlanmaları tavsiye edilmektedir. Ancak, şu ana dek gerçekleşen araştırmalar, spor performansındaki etkilerine veya güvenli kullanımına dair yeterli bilimsel kanıt bulunmamaktadır (Pokrywka, 2014).

Konjuge Linoleik Asit Yapısı ve Fizyolojisi

Konjuge Linoleik Asit (CLA), insan vücudu tarafından yeterli miktarda sentezlenmediği için, bu önemli bileşiğin ana kaynakları geviş getiren hayvanlardan elde edilen et, süt ve bu ürünlerin türevleridir. Bu tür gıdalarda bulunan CLA izomerleri, vücutta biyolojik olarak aktif olan ve sağlık üzerinde çeşitli faydalı etkiler yaratan bileşenler olarak önemli bir rol oynar (Demirok, 2010; Kurban, 2006). Araştırmalar, CLA'nın metabolizma, bağışıklık sistemi ve vücut kompozisyonu üzerinde potansiyel faydalar sağlayabileceğini göstermiştir, bu da onu beslenme ve sağlık alanında önemli bir bileşik yapmaktadır (Dilzer, 2012).

Konjuge Linoleik Asit Sporda Kullanımı ve Ergojenitesi

Konjuge Linoleik Asidin (CLA) obezite üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışma, bu bileşiğin vücut yağını azaltmaya yönelik etkilerini göstermiştir. İnsanlar üzerinde gerçekleştien araştırmalar, CLA takviyesinin kilo kaybı sağlamada olumlu etkiler gösterdiğini ortaya koymuş olsa da sportif performans üzerindeki etkileri hâlâ netlik kazanmamıştır.

SONUÇ

Bu derlemede, sporcuların performanslarını artırmak ve fizyolojik ile psikolojik hedeflerine ulaşmalarını desteklemek amacıyla yaygın olarak kullanılan ergojenik destekler; tarihsel gelişimleri, kullanım nedenleri, yaygınlıkları, olası yararları ve riskleri açısından güncel literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir. Antik Dönem'e kadar uzanan ergojenik destek kullanımı, teknolojik gelişmeler ve ürün formülasyonlarındaki (tablet, kapsül, sıvı, toz vb.) çeşitliliğin artmasıyla birlikte günümüzde hem profesyonel sporcular hem de rekreatif düzeyde egzersiz yapan bireyler arasında yaygınlaşmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar, sporcuların önemli bir bölümünün performanslarını desteklemek amacıyla en az bir ergojenik destek ürünü kullandığını göstermektedir. Bu ürünlerin tercih edilmesinde başlıca nedenler; dayanıklılık ve kuvvet performansının artırılması, toparlanma sürecinin hızlandırılması, antrenman adaptasyonunun desteklenmesi ve yaralanma riskinin azaltılmasıdır. Bununla birlikte, ergojenik desteklerin bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı, besin–ilaç etkileşimleri, bazı

besin ögelerinin biyoyararlılığının olumsuz etkilenmesi, gereksiz veya aşırı doz alımı ve kontaminasyona bağlı yasaklı madde maruziyeti gibi önemli sağlık ve etik sorunlara yol açabilmektedir.

Özellikle bazı besin destek ürünlerinin içeriğinde bulunabilen veya üretim sürecinde bulaş sonucu ürüne karışabilen yasaklı maddeler, istem dışı doping ihlallerine neden olabilmekte ve sporcuların sağlıklarının yanı sıra sportif kariyerlerini de olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, takviye edici gıdalar ile doping riski taşıyan ürünler arasındaki ayrımın sporcular, antrenörler ve diğer spor profesyonelleri tarafından doğru şekilde bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, ergojenik desteklerin kullanımı bireysel gereksinimler doğrultusunda, bilimsel kanıtlar temel alınarak ve spor hekimi ile spor diyetisyeni başta olmak üzere ilgili sağlık profesyonellerinin rehberliğinde planlanmalıdır. Ayrıca sporcuların, antrenörlerin ve spor kulüplerinin ergojenik desteklerin etkinliği, güvenilirliği, olası yan etkileri ve antidoping kuralları konusunda düzenli eğitimlerle desteklenmesi; bilinçli kullanımın yaygınlaştırılması, sporcu sağlığının korunması ve adil oyun ilkelerinin sürdürülebilirliği açısından önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abel, T. K. (2005). Influence of chronic supplementation of arginine aspartate in endurance athletes on performance and substrate metabolism. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(5), 344–349.

Abudayyak, M. J. (2015). Investigation on the toxic potential of *Tribulus terrestris* in vitro. *Pharmaceutical Biology*, *53*(4), 469–476.

Akıl, C. (2007). *Dayanıklılık sporcularında beslenme bilgi düzeylerinin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Aksoy, M. (2000). *Beslenme biyokimyası*. Hatipoğlu Basım ve Yayım San. Tic. Ltd. Şti.

Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, *39*(5), 389–422.

Amoruso, P., Lecce, E., Scotto di Palumbo, A., Sacchetti, M., & Bazzucchi, I. (2026). Caffeine as an ergogenic aid for neuromuscular performance: Mechanisms of action from brain to motor units. *Nutrients*, *18*(2), Article 252.

Andrabi, S. M., Sharma, N. S., Karan, A., Shahriar, S. M. S., Cordon, B., Ma, B., & Xie, J. (2023). Nitric oxide: Physiological functions, delivery, and biomedical applications. *Advanced Science*, *10*(30), Article e2303259.

Antolovich, M. P. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *The Analyst*, *127*(2), 183–198.

Antonio, J. (2019). High-protein diets in trained individuals. *Research in Sports Medicine*, *27*(2), 195–203.

Arslan, C. G. (2004). Güreşçilerde C vitamini yüklemesinin serum demir ve toplam demir bağlama kapasitesine etkisi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi*, *18*(4), 215–221.

Artioli, G. G. (2010). Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *42*(6), 1162–1173.

Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (vitamin B2) and oxidative stress: A review. *British Journal of Nutrition*, *111*(11), 1985–1991.

Atabek, H. Ç. (2010). C vitamini ilavesinin egzersiz performansına ve kas hasarına etkisi. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 60–69.

Bahadıroğlu, S. B. (2014). Organizmamız için niasin. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, *18*(2), 42–45.

Başoğlu, İ. A. (2018). Ergogenic effects of β-alanine supplementation on sports. *Turkiye Klinikleri Spor Bilimleri Dergisi*, *10*(3), 226–232.

Bayır, E. C. (2023). Sporcular tarafından kullanılan doğal kaynaklı ergojenik destekler. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, *47*(1), 8–22.

Bayram, H. Ö. (2020). Sporcularda ergojenik destekler. *Turkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, *5*(3), 641–652.

Baysal, A. (1999). *Beslenme*. Hatiboğlu Basım ve Yayım.

Baysal, A. (2002). *Beslenme*. Hatiboğlu Yayını.

Bediz, C. Ş. (2018). Kreatin desteğinin egzersiz ve hastalıklardaki yeri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, *32*(3), 183–192.

Bell, D. G. (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology*, *93*(4), 1227–1234.

Benardot, D. (2020). *Advanced sports nutrition*. Human Kinetics Publishers.

Bieber, L. (1998). Carnitine. *Annual Review of Biochemistry*, *67*(1), 261–283.

Birol, A. (2018). *Akut L-Arjinin suplemantasyonunun tekrarlı sprint yeteneği performansına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi.

Bishop, D. (2010). Dietary supplements and team-sport performance. *Sports Medicine*, *40*(12), 995–1017.

Bjørke-Monsen, A.-L., & Ueland, P. M. (2023). Vitamin B6: A scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Food & Nutrition Research*, *67*, Article 10259.

Bora, Z. (2015). *Spor salonunda çalışan vücut geliştirme sporu yapan spor hocalarının, beslenme durumları ve beslenmeye bağlı takviye destek ürün kullanımlarının saptanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Buzdağlı, Y. T. (2021). Effect of caffeine on exercise performance: Current review. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, *23*(1), 86–101.

Campbell, B. I. (2004). The ergogenic potential of arginine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *1*(2), 1–4.

Chandimali, N., Bak, S. G., Park, E. H., Lim, H. J., Won, Y. S., Kim, E. K., Park, S. I., & Lee, S. J. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: A review. *Cell Death Discovery*, *11*(1), Article 19.

Chhatre, S. N. (2014). Phytopharmacological overview of *Tribulus terrestris*. *Pharmacognosy Reviews*, *8*(15), 45–51.

Coelho, C. D. (2010). The supplementation of L-carnitine does not promote alterations in the resting metabolic rate and in the use of energetic substrates in physically active individuals. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, *54*(1), 37–44.

De Luca, A. P. (2015). Taurine: The appeal of a safe amino acid for skeletal muscle disorders. *Journal of Translational Medicine*, *13*(1), 1–18.

Demirok, E., & Kolsarıcı, N. (2010). Et ve ürünlerinde konjuge linoleik asit ve önemi. *Gıda*, *35*(1), 1–7.

Dilzer, A. M., & Park, Y. (2012). Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *52*(6), 488–513.

Dost, T. (2006). Doping. *Turkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences*, *2*(45), 145–151.

Er, S. C. (2010). *Anadolu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü tezi / makalesi* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi. *(Not: Bu kaynağın başlığı görselde eksik yazılmış, Anadolu Üniversitesi'nde yaptığınız tezinizin tam adını buraya eklemelisiniz).*

Erdoğan, E., & Koca, C. (2019). Sporda doping ve ergojenik yardımcılar. *Spor Bilimleri Dergisi*, *30*(2), 63–75.

Ertin, H. B. (2020). Sporda insanı geliştirme: Doping ve dopingle mücadelenin tarihi. *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Ethics-Law and History*, *28*(3), 99–109.

Figueiredo, V. C. (2019). Revisiting the roles of protein synthesis during skeletal muscle hypertrophy induced by exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *317*(5), R709–R718.

Gençoğlu, C. D. (2021a). Sporda beslenme ve ergojenik destek ürünleri. *Atatürk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *23*(1), 24–35.

Gençoğlu, C. D. (2021b). Sporda beslenme ve ergojenik destek ürünleri: Bir geleneksel derleme. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *23*(2), 56–99.

Gentil, P. D. (2017). Nutrition, pharmacological and training strategies adopted by six bodybuilders: Case report and critical review. *European Journal of Translational Myology*, *27*(1), 51–57.

Grgic, J., & Del Coso, J. (2023). Effects of caffeine ingestion on exercise performance: A review of recent evidence. *Nutrients*, *15*(6), 1441.

Grgic, J., Rodriguez, R. F. & Bishop, D. J. (2020). Effects of caffeine on exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Medicine*, 54(11), 691–697.

Gromova, O. T. (2019). Magnesium and vitamin B2 supplementation is an important nutritional resource of sports medicine. *Medical Council*, (21), 216–230.

Gropper, S. S. (2012). *Advanced nutrition and human metabolism*. Cengage Learning.

Günay, E. (2012). *Sporcu beslenmesi*. Reklam Kurdu Ajansı.

Günay, E. (2013). *Physical fitness (fitness) and nutrition basic teachings*. Ankara Nobel Tıp Kitabevi.

Halat, R. K. (2001). Amatör futbolcularda vitamin C ve E'nin bazı fizyolojik ve sportif parametreler üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 37–44.

Hargreaves, M. (2004). Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: Effects on metabolism and performance. *Journal of Sports Sciences*, *22*(1), 31–38.

Hong, D. Y. (2005). Genetic diversity and variation of saponin contents in *Panax notoginseng* roots from a single farm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(22), 8460–8467.

Insel, P., Turner, R. E., & Ross, K. (2004). *Nutrition*. Jones and Bartlett Publishers.

İbiş, S., & Gökdemir, K. (2006). Kreatinin sportif performansa etkileri. *Spor ve Tıp Dergisi*, *14*(3), 99–102.

Jentjens, R., & Jeukendrup, A. (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Medicine*, *33*(2), 117–144.

Jeukendrup, A. E. (2021). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Sports Medicine*, 51(Suppl 1), 1–12.

Jówko, E. (2015). Green tea catechins and sport performance. *Sport Nutrition*, *213*–225. *(Not:*

Karabudak, E. (2012). *Vejetaryen beslenmesi*. Sağlık Bakanlığı.

Karakuş, M. (2014). Sporcularda ergojenik destekler. *Spor Hekimliği Dergisi*, *49*(4), 155–167.

Karamızrak, S. O. (2013). Sporcu beslenmesi: Anemi ve diğer sağlık sorunları ile ilişkileri. *Spor Hekimliği Dergisi*, *48*(3), 81–90.

Kerksick, C. H., Harvey, T., Stout, J., Campbell, B., Wilborn, C., Kreider, R., Kalman, D., Ziegenfuss, T., Lopez, H., Landis, J., Ivy, J. L., & Antonio, J. (2008). International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *5*(1), Article 17.

Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., Collins, R., Cooke, M., Kreider, R. B., Kalman, D. S., Greenwood, M., Erdman, K. A., Earnest, C. P., Greenwood, A., Campbell, B. I., Steano, S. M., Lipinski, W. J., Kendrick, K. L., Kerksick, J. L., ... Antonio, J. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1), Article 38.

Kopec, B., & Fritz, I. B. (1973). Comparison of properties of carnitine palmitoyltransferase I with those of carnitine palmitoyltransferase II, and preparation of antibodies to carnitine palmitoyltransferases. *Journal of Biological Chemistry*, *248*(11), 4069–4074.

Kurban, S., & Erden, S. S. (2006). Konjuge linoleik asit metabolizması ve fizyolojik etkileri. *Türk Klinik Biyokimya Dergisi*, *4*(2), 89–100.

Kuşoğluları, B., & Ersoy, G. (2019). *Farklı branştaki sporcuların beslenme alışkanlıkları ve beslenme bilgi düzeylerinin karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Balıkesir Üniversitesi.

Liu, T.-H., Wu, C.-L., Chiang, C.-W., Lo, Y.-F., Tseng, H.-F., & Chang, C.-K. (2009). No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *20*(6), 462–468.

Lourenço, R., & Camilo, M. E. (2002). Taurine: A conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease. *Nutrición Hospitalaria*, *17*(6), 262–270.

Macaluso, F., Barone, R., Catanese, P., Carini, F., Rizzuto, L., Farina, F., & Di Felice, V. (2013). Do fat supplements increase physical performance? *Nutrients*, *5*(2), 509–524.

Margaritelis, N. V., Paschalis, V., Theodorou, A. A., Kyparos, A., & Nikolaidis, M. G. (2020). Antioxidant supplementation, redox deficiencies and exercise performance: A falsification design. *Free Radical Biology and Medicine*, *158*, 44–52.

Martins, L. (2024). L-carnitine: The fueling factor for exercise efficiency and fat utilization. *Journal of Nutrition Science Research*, *9*(1), Article 242.

Maughan, R. J., Burke, L. M., & Dvorak, J. (2021). *IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete*. British Journal of Sports Medicine, *55*(19), 1073-1099.

Murase, T., Haramizu, S., Shimotoyodome, A., Tokimitsu, I., & Hase, T. (2005). Green tea extract improves endurance capacity and increases muscle lipid oxidation in mice. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *288*(3), R708–R715.

Olszowy, M. (2019). What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? *Plant Physiology and Biochemistry*, *144*, 135–143.

Oral, O. Z. (2015). Antioxidants and astaxanthin in sports nutrition. *International Journal of Educational Researchers*, *6*(3), 63–71.

Özçelik, B. Y. (2007). Gıda gündemi forumları, sektör üreticileri forum başlıkları, gıda alt sektörleri, alkollü ve alkolsüz içecekler: Sporcu içecekleri. *Gıda Teknolojisi*, *11*(4), 32–38.

Özdilek, B. (2019). Beslenme ve obezite. *Sağlık ve Toplum*, *29*(2), 66–71.

Özdoğan, Y., & Ayaz, A. (2018). Nutritional habits of males who participate in bodybuilding sports and use of ergogenic nutritional supplements. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, *27*(3), 378–384.

Papadopoulou, S. K. E. (2017). The effect of ergogenic supplements and mediterranean diet on cycling performance. *Differences According to Duration and Intensity*, 23-39.

Perçinci, N. B., & Kibçak, N. (2020). Body building yapan erkeklerin besin desteği kullanım durumlarının antropometrik ölçümleri ile ilişkisinin değerlendirilmesi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, *11*(3), 196-206.

Peternelj, T. T., & Coombes, J. S. (2011). Antioxidant supplementation during exercise training: Beneficial or detrimental? *Sports Medicine*, *41*(12), 1043-1069.

Pialoux, V. M. (2006). Effects of exercise and training in hypoxia on antioxidant/prooxidant balance. *European Journal of Clinical Nutrition*, *60*(11), 1345-1354.

Pialoux, V. M. P. (2009). Effects of the 'live high–train low' method on prooxidant/antioxidant balance on elite athletes. *European Journal of Clinical Nutrition*, *63*(6), 756-762.

Plaza-Manzano, G., Cortell-Tormo, J. M., Pérez-Turpin, J. A., Martínez-Rodríguez, A., & Chulvi-Medrano, I. (2019). Mouth rinsing carbohydrates serially does not improve repeated sprint time. *Journal of Human Kinetics*, *67*(1), 133–142.

Pokrywka, A., Obmiński, Z., Malczewska-Lenczowska, J., Fijałek, Z., Turek-Lepa, E., & Grucza, R. (2014). Insights into supplements with *Tribulus terrestris* used by athletes. *Journal of Human Kinetics*, *41*(1), 99-105.

Powers, H. J. (2003). Riboflavin (vitamin B-2) and health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *77*(6), 1352-1360.

Quesnele, J. J. (2014). The effects of beta-alanine supplementation on performance: A systematic review of the literature. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *24*(1), 14-27.

Saygı, M. (2010). *Rotenon modeli ile Parkinson oluşturulan sıçanlarda davranışsal değişikliklerin değerlendirilmesi ve bu modelde yeşil çay* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Schuller-Levis, G. B. (2003). Taurine: New implications for an old amino acid. *FEMS Microbiology Letters*, *226*(2), 195-202.

Sellami, M. S. (2018). Herbal medicine for sports: A review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1), 1-14.

Shimomura, Y. M. (2004). Exercise promotes BCAA catabolism: Effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. *The Journal of Nutrition*, *134*(6), 1583-1587.

Stout, J. R. (2008). The effect of beta-alanine supplementation on neuromuscular fatigue in elderly (55–92 years): A double-blind randomized study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *5*(1), 21.

Taşbozan, O. (2005). *L-karnitin ve farklı yağ seviyeleri ile hazırlanan yemlerle beslenen çipuraların (Sparus aurata) büyüme performansı ve vücut kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma* [Doktora tezi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Thirupathi, A., Pinho, R. A., Baker, J. S., István, B., & Gu, Y. (2020). Taurine reverses oxidative damages and restores muscle function in overuse of exercised muscle. *Frontiers in Physiology*, *11*, Article 582449.

Thomas, D. T. (2016). American College of Sports Medicine joint position statement: Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 543–568.

Thomas, D., Erdman, K. & Burke, L. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 501–528.

Türker, A. (2019). Beslenmede vitaminlerin önemi. *Beslenme ve Obezite*, 7.

Ünal, M. (2005). Sporcularda kreatin desteği ve egzersiz performansı üzerine etkileri. *Genel Tıp Dergisi*, *15*(1), 43–49.

Ünal, M. (2011). Sporda doping kullanımının tarihçesi. *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, *74*(3), 66–72.

Vitale, K. & Getzin, A. (2019). Nutrition and supplement update for the endurance athlete: Review and recommendations. *Nutrients*, 1289.

Wolfe, R. R. (2017). Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: Myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 30.

Yalnıziz, G. N. (2004). The investigation of the knowledge and the application levels of body building sportsmen about ergogenic aids in Ankara. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 33–42.

Yavuz, H. U. (2006). Arjinin ve egzersiz. *Spor Bilimleri Dergisi*, 143–157.

Yılmaz, B. (2015). Sporcularda immünonütrisyon desteği. *ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 60–66.

ANTENATAL DÖNEMDE VERİLEN BİYOLOJİK EMZİRME EĞİTİMİNİN EMZİRME BAŞARISI VE ANNE BEBEK BAĞLANMASİ ÜZERİNE ETKİSİ[1]

Ebe, Selin ÖZDEMİR

Kastamonu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

Ebe, Ayşenur ÖĞÖREN

Kastamonu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

Özet

Amaç: Bu çalışmada antenatal dönemde verilen biyolojik emzirme eğitiminin ve desteğinin anne bebek bağlanması ve emzirme başarısı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Yöntem: Bu araştırma, randomize kontrollü deneysel bir çalışma olarak yapılmıştır. Araştırmanın örneklemini Türkiye'nin kuzeyinde bir Eğitim ve Araştırma Hastanesine 15.08.2024-15.01.2025 tarihleri arasında başvuran son trimesterde olan 90 primipar kadın oluşturmuştur. Veriler toplanmadan önce gerekli izinler alınmıştır. Araştırma deney (biyolojik emzirme eğitimi) ve kontrol grubu olmak üzere 2 gruptan oluşmuştur. Her bir gruba 45'er gebe alınmıştır. Araştırmaya katılmayı kabul eden anneler basit rastgele randomizasyon ile 2 gruba (biyolojik emzirme eğitimi grubu ve kontrol grubu) ayrılmıştır. Veriler kişisel bilgi formu, LATCH Emzirme Tanılama Ölçüm Aracı ve Anne-bebek bağlanma ölçeği ile toplanmıştır. Veriler iki aşamada toplanmıştır. İlk aşamada randomizasyon ile deney grubuna atanan annelere gebeliğinin son trimesterinde araştırmacı tarafından yüz yüze emzirme eğitimi verilirken kontrol grubu rutin hastane bakımı almıştır. İkinci aşamada ise doğum zamanı iletişime geçilen tüm anneler hastanede doğum sonu ilk 24 saat içerisinde doğum sonu serviste ziyaret edilerek, taburcu olmadan önce yüz yüze LATCH ve anne bebek bağlanma ölçeği uygulanmıştır.

Bulgular: Çalışmada katılımcıların yaş ortalamaları incelendiğinde, kontrol grubundaki annelerin yaş ortalamasının 25.86±0.57, deney grubundaki annelerin yaş ortalamasının ise 24.71±0.56 olduğu belirlenmiştir. Gruplar arasında yaş, eğitim durumu, gelir düzeyi, çalışma durumu ve aile tipi açısından anlamlı bir farklılık bulunmamış olup, grupların sosyodemografik özellikler bakımından homojen dağıldığı saptanmıştır. Ayrıca deney grubunda yer alan annelerin Anne-Bebek Bağlanma Ölçeği puan ortalamasının (21.40±1.77), kontrol grubuna göre (18.97±1.77) anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde deney grubunun LATCH Emzirme Tanılama Ölçeği puan ortalaması (8.77±0.92), kontrol grubunun puan ortalamasına (7.95±1.91) göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Sonuç: Antenatal dönemde verilen biyolojik emzirme eğitiminin anne bebek bağlanma düzeyini ve emzirme başarısını arttırdığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları doğrultusunda, antenatal dönemde verilen biyolojik emzirme eğitiminin rutin prenatal bakım hizmetlerine entegre edilmesi, emzirme başarısının artırılması ve anne-bebek bağlanmasının güçlendirilmesi açısından önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik emzirme, anne bebek bağlanması, emzirme başarısı

[1]Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023/2 ile desteklenmektedir.

This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (2023/2).

THE EFFECT OF BIOLOGICAL BREASTFEEDING EDUCATION GIVEN DURING THE ANTENATAL PERIOD ON BREASTFEEDING SUCCESS AND MOTHER-INFANT BONDING

Abstract

Objective: This study investigated the effect of biological breastfeeding education and support provided during the antenatal period on mother-infant bonding and breastfeeding success.

Method: This study was conducted as a randomized controlled experimental study. The sample of the study consisted of 90 primiparous women in their last trimester who applied to a Training and Research Hospital in northern Türkiye between 15.08.2024 and 15.01.2025. Necessary permissions were obtained before data collection. The study consisted of two groups: the experimental group (biological breastfeeding education) and the control group. Forty-five pregnant women were included in each group. Mothers who agreed to participate in the study were divided into two groups (biological breastfeeding education group and control group) by simple randomization. Data were collected using a personal information form, the LATCH Breastfeeding Assessment Tool, and the Mother-Infant Bonding Scale. Data were collected in two stages. In the first stage, mothers assigned to the experimental group through randomization received face-to-face breastfeeding education from the researcher during the last trimester of pregnancy, while the control group received routine hospital care. In the second stage, all mothers who were contacted at the time of birth were visited in the postpartum ward within the first 24 hours after delivery, and the LATCH and mother-infant bonding scale were administered face-to-face before discharge.

Findings: When the mean ages of the participants were examined, it was determined that the mean age of the mothers in the control group was 25.86±0.57, while the mean age of the mothers in the experimental group was 24.71±0.56. No significant differences were found between the groups in terms of age, educational status, income level, employment status, and family type, and it was determined that the groups were homogeneously distributed with respect to sociodemographic characteristics. In addition, it was determined that the mean score of the Mother-Infant Bonding Scale among mothers in the experimental group (21.40±1.77) was significantly higher than that of the control group (18.97±1.77). Similarly, the mean score of the LATCH Breastfeeding Assessment Scale in the experimental group (8.77±0.92) was found to be significantly higher than the mean score of the control group (7.95±1.91) ($p<0.05$).

Conclusion: It was determined that biological breastfeeding education provided during the antenatal period increased the level of mother-infant bonding and breastfeeding success. In line with the results of this study, it is recommended that biological breastfeeding education provided during the antenatal period be integrated into routine prenatal care services in order to increase breastfeeding success and strengthen mother-infant bonding.

Keywords: Biological breastfeeding, mother-infant bonding, breastfeeding success

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ANALYSIS OF SUSTAINABILITY REPORTS WITH LARGE LANGUAGE MODELS AND AN AI AGENT APPROACH ESG DATA EXTRACTION, GRI/TCFD COMPLIANCE, AND GREENWASHING RISK SCORING

İbrahim GÜNEY

İstanbul Sabahattin Zaim University, Istanbul, Turkey, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8290-6532

ABSTRACT

The aim of this study is to propose a conceptual and applied model for transforming the environmental, social, and governance-based disclosures contained in corporate sustainability reports into structured datasets through large language models, retrieval-augmented generation (RAG), and an AI Agent approach. Although today's sustainability reports contain numerous indicators such as emissions, energy consumption, social impact, governance, ethical policy, and climate risk, this information is often presented in a scattered manner within unstructured PDF reports. This situation makes it difficult for investors, auditors, academics, and regulatory bodies to produce comparable, verifiable, and machine-processable ESG data. The proposed model fragments corporate sustainability reports at the sentence and paragraph level; identifies the relevant text sections through a RAG-based information-retrieval mechanism; and, through a large language model, extracts environmental, social, governance, and textual-disclosure indicators in a structured table format. The model also produces textual indicators such as GRI and TCFD compliance scores, the numerical-evidence ratio, the vague-expression ratio, the evidence-backed claim ratio, and the greenwashing risk score. The pilot application design is illustrated through the 2024 reports of Tüpraş and Arçelik using the logic of evidence sentence, unit, and verification flag. The principal contribution of the study is that it treats sustainability reports not merely as qualitative documents but as a repeatable AI Agent workflow within which evidence-based data extraction and disclosure-quality analysis can be performed.

Keywords: ESG, sustainability reporting, large language models, RAG, AI Agent, greenwashing, GRI, TCFD.

1. INTRODUCTION

Environmental, social, and governance (ESG) indicators today make it necessary to evaluate corporate performance not only through financial results but also through the dimensions of sustainability, ethical management, climate risk, and social impact. As a result of this transformation, companies publish sustainability reports, integrated annual reports, climate reports, and ESG disclosures every year. However, because these reports are mostly prepared as long PDF documents, in different formats, and according to different standards, the systematic extraction, comparison, and incorporation of this information into statistical models has become an important research problem.

One of the most fundamental problems of sustainability reports is that a significant portion of the information they contain is presented in unstructured text form. A company may mention a carbon-reduction target, renewable-energy investments, or occupational-health-and-safety performance; however, transforming this information into an organized dataset together with the numerical value, year, unit, target, realization, and evidence sentence usually requires manual effort. At this point, large language models offer an important opportunity for ESG data extraction, textual-disclosure analysis, and evidence-based report evaluation (Zou et al., 2023; Hillebrand et al., 2023).

The main research question of this study is expressed as follows: Using large language models, RAG, and an AI Agent approach, can structured ESG data be extracted from corporate sustainability reports, and can these data be used to measure greenwashing risk? Within the framework of this main question,

the study focuses on four fundamental components: variable extraction from reports, standard compliance, textual-disclosure quality, and greenwashing-risk-score generation.

The original contribution of the study is that it combines the LLM, ClimateBERT, GRI-matching, and greenwashing-detection approaches found in the ESG-reporting literature (Zou et al., 2023; Bingler et al., 2022; Hillebrand et al., 2023; Vinella et al., 2023) under a single integrated AI Agent architecture, and transforms sustainability reports into organized tables suitable for panel-data analysis.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Sustainability Reporting and the Transformation of ESG Data

Sustainability reporting is one of the fundamental corporate communication tools that enable companies to present their performance in the environmental, social, and governance domains to stakeholders. These reports include numerous indicators such as carbon emissions, energy consumption, water use, waste management, employee rights, occupational health and safety, ethical policies, board structure, and climate risk. However, because most reports are prepared in PDF format, within long textual explanations, and according to different standards, transforming this information into comparable and analyzable datasets becomes difficult.

2.2. ESG Data Extraction with Large Language Models and RAG

Large language models carry significant potential for ESG data analytics owing to their capacity to understand, classify, summarize, and convert into structured output the long and complex texts written in natural language. Net-zero targets, renewable-energy usage rates, occupational-safety indicators, or ethical-governance practices found in sustainability reports cannot always be easily extracted using traditional text-mining methods.

The ESGReveal approach (Zou et al., 2023) is an important reference point for this study in that it demonstrates that LLM and RAG techniques can be used together for structured data extraction from ESG reports. The AI Agent architecture proposed in this study extends the ESGReveal line by aiming not only at data extraction but also at evaluating GRI/TCFD compliance, textual-disclosure quality, and greenwashing risk.

2.3. ClimateBERT and the Classification of Climate-Risk Disclosures

ClimateBERT is an important example of the domain-specific models developed to classify companies' climate-risk disclosures within the context of TCFD categories (Webersinke et al., 2022). The ClimateBERT literature draws attention to the fact that problems such as cheap talk and cherry-picking can be observed in voluntary climate disclosures (Bingler et al., 2022). This finding shows that the presence of a large number of climate statements in sustainability reports does not, on its own, signify strong disclosure quality.

2.4. GRI Standards and the Sustain.AI Approach

The Sustain.AI approach (Hillebrand et al., 2023) can be regarded as a BERT-based recommender system that aims to match the relevant text passages in sustainability reports with GRI standards. For this study, the importance of Sustain.AI is that it demonstrates that the GRI compliance score can be produced automatically or semi-automatically. In the proposed model, report sentences or paragraph fragments can be matched with headings such as GRI 302 Energy, GRI 305 Emissions, GRI 403 Occupational Health and Safety, GRI 405 Diversity, and GRI 205 Anti-Corruption.

2.5. Greenwashing, Vague Expression, and Evidence-Based ESG Disclosure

Greenwashing can be defined as companies presenting their environmental or sustainability performance more favorably than it actually is, failing to support their environmental claims with sufficient evidence, or pushing negative impacts into the background by highlighting only positive

indicators (Delmas & Burbano, 2011). In sustainability reports, greenwashing risk often emerges not through an explicit misstatement but through vague language, selective reporting, a lack of numerical evidence, and a disconnect between targets and realization.

2.6. The Gap in the Literature and the Position of This Study

When the existing literature is examined, it is observed that studies on the analysis of ESG reports with artificial intelligence generally focus on a specific component. ESGReveal (Zou et al., 2023) focuses on structured data extraction from ESG reports; ClimateBERT (Bingler et al., 2022) on the classification of climate-risk disclosures according to TCFD categories; and Sustain.AI (Hillebrand et al., 2023) on matching text fragments in sustainability reports with GRI standards. Greenwashing-focused studies (Delmas & Burbano, 2011; Vinella et al., 2023), on the other hand, concentrate on the reliability of corporate statements and on misleading sustainability language.

This study proposes to combine these approaches under a single integrated AI Agent architecture. In the proposed model, sustainability reports are made queryable through RAG, ESG indicators are transformed into a structured data table with an LLM, climate disclosures are separated into TCFD categories, report passages are matched with GRI standards, textual-disclosure quality is measured, and a greenwashing risk score is produced.

3. METHOD AND MODEL DESIGN

The method of this study is based on a RAG-supported AI Agent architecture for extracting ESG indicators from corporate sustainability reports (Lewis et al., 2020; Zou et al., 2023). In the first stage, company reports are collected in PDF format, parsed into text fragments, and transferred to an embedding-based vector database. In the second stage, the RAG mechanism retrieves the text fragments related to the research questions and variable definitions. In the third stage, the large language model extracts the environmental, social, governance, and textual-disclosure indicators from the relevant text fragments in a structured form.

For the pilot application, the unit of analysis was defined as firm-year. Initially, the 2024 sustainability, integrated-annual, or TSRS-compliance reports of selected companies included in the BIST Sustainability Index (Borsa İstanbul, 2024) are used. In a broader application, the dataset can be transformed into a panel-data structure covering the 2019-2024 period.

Table 1. AI Agent-Based Data Processing Flow

Stage	Process	Output
1	Collection of PDF reports	Firm-year report pool
2	Text extraction and fragmentation	Page-, paragraph-, and sentence-level data
3	Adding metadata	Firm, year, sector, page no.
4	Retrieving relevant fragments with RAG	Evidence texts
5	Data extraction with the LLM	ESG variable table
6	Standard matching	GRI/TCFD scores
7	Textual scoring	TEXTIndex and greenwashing risk score
8	Model dataset	Regression or descriptive-analysis table

Table 2. Variable Groups

Variable Group	Example Variables	Measurement
Environmental	Scope 1, Scope 2, Scope 3, energy, water, waste, net-zero target	ton CO2e, MWh/GJ, m3, ton, 0/1
Social	Female-employee ratio, training hours, LTIFR, human-rights policy	%, hours, ratio, 0/1
Governance	Independent board, ESG committee, ethics policy, anti-corruption	%, 0/1
Textual	Vague expression, numerical evidence, evidence-backed claim, GRI/TCFD compliance	0-100 score
Control	Firm size, ROA, leverage, sector, year	log assets, ratio, dummy variable

3.1. Normalization and Index Construction

Variables with different units of measurement are converted to the 0-100 range before index construction. For variables for which a higher value is favorable, the following normalization is used:

$$X_{it}+ = ((X_{it} - \min(X)) / (\max(X) - \min(X))) \times 100 \quad (1)$$

For variables for which a lower value is favorable, reverse normalization is applied:

$$X_{it}- = ((\max(X) - X_{it}) / (\max(X) - \min(X))) \times 100 \quad (2)$$

After the normalization process, composite indices are constructed for the environmental, social, governance, and textual-disclosure dimensions:

$$ENVIndex_{it} = (ScopeScore_{it} + RenewableScore_{it} + EnergyScore_{it} + TargetScore_{it}) / 4 \quad (3)$$

$$SOCIndex_{it} = (FemaleEmpScore_{it} + TrainingScore_{it} + SafetyScore_{it} + HumanRightsScore_{it}) / 4 \quad (4)$$

$$GOVIndex_{it} = (BoardIndScore_{it} + ESGCommitteeScore_{it} + EthicsScore_{it} + AntiCorruptionScore_{it}) / 4 \quad (5)$$

$$TEXTIndex_{it} = (QuantEvidence_{it} + EvidenceBacked_{it} + (100 - Vague_{it})) / 3 \quad (6)$$

$$OverallESGIndex_{it} = 0.30 \cdot ENVIndex_{it} + 0.20 \cdot SOCIndex_{it} + 0.20 \cdot GOVIndex_{it} + 0.30 \cdot TEXTIndex_{it} \quad (7)$$

3.2. Greenwashing Risk Score

In the study, greenwashing risk is measured through the use of vague expressions, a lack of numerical evidence, and a lack of evidence-backed claims. The proposed score is calculated as follows:

$$GRS_{it} = 0.40 \cdot Vague_{it} + 0.30 \cdot (100 - QuantEvidence_{it}) + 0.30 \cdot (100 - EvidenceBacked_{it}) \quad (8)$$

Table 3. Interpretation Ranges of the Greenwashing Risk Score

Greenwashing Risk Score	Risk Level	Interpretation
0-33	Low	Disclosures are numerical, evidenced, and transparent
34-66	Medium	Some disclosures are vague or insufficiently evidenced
67-100	High	Risk of vague, unevidenced, or selective disclosure is high

3.3. Research Hypotheses and the Regression Model

Table 4. Research Hypotheses

Hypothesis	Description	Expected Direction
H1	The environmental index reduces greenwashing risk	Negative
H2	The social index reduces greenwashing risk	Negative
H3	The governance index reduces greenwashing risk	Negative
H4	The textual-disclosure index reduces greenwashing risk	Negative
H5	The vague-expression ratio increases greenwashing risk	Positive
H6	The numerical-evidence ratio reduces greenwashing risk	Negative
H7	The GRI/TCFD compliance score increases disclosure quality	Positive

$$GRS_{it} = \beta_0 + \beta_1 ENVIndex_{it} + \beta_2 SOCIndex_{it} + \beta_3 GOVIndex_{it} + \beta_4 TEXTIndex_{it} + \beta_5 SIZE_{it} + \beta_6 ROA_{it} + \beta_7 LEV_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

In the main model, the greenwashing risk score is treated as the dependent variable. In the model, firm size, profitability, leverage, firm fixed effects, and year effects can be used as control variables. In the pilot application, which includes a single year and a small number of firms, descriptive analysis and evidence-based data extraction take priority over regression. Once a multi-year, multi-firm dataset is constructed, panel-data models, fixed-effects/random-effects comparisons, and robust standard-error checks can be applied.

3.4. Developed Prototype Application: The SustainData Platform and Software Architecture

The Sustainability Report Analysis Model and the multi-agent architecture proposed in this study have been prototyped under the name "SustainData (Sustainability Research & Data Analysis Platform)," which runs both locally and in the cloud, to be tested by researchers, auditors, and decision-makers. The developed platform is designed with a modular architecture to process unstructured sustainability reports (PDF), to interpret them according to GRI and TCFD standards, to perform textual risk analyses, and to present the findings with verifiable evidence.

The platform's technical components, data flow, and layered software architecture are structured under three main headings:

Frontend Layer: Managing user interaction and dynamic data visualizations, this layer was developed using a modern, asynchronous web architecture (Vite-powered React). Through the interface, users can filter the company to be analyzed, the relevant year, and the specific set of ESG metrics to be queried (GRI, TCFD, or general sustainability themes). The analysis results are presented to the end user with dynamic charts in the form of structured tables, numerical-evidence ratios, and greenwashing risk scores.

Backend API and Analysis Layer: The API layer that provides the application's logical operation, session management, and data-flow synchronization is built on a Node.js (Express) architecture. The semantic chunking of PDF documents, the vectorized indexing of texts, and the management of the RAG (Retrieval-Augmented Generation) prompts to be sent to the large language models (LLMs) are carried out through Python-based background services. To preserve data privacy and flexibility, the system has a hybrid API integration managed through environment variables (.env).

Data and Persistence Layer (Database): User roles (Administrator, Viewer, etc.), analysis history, and the structured data extracted from the reports are stored in a relational model. In the prototype stage, data integrity is secured by integrating local file-based record systems (users.json) and a cloud-based relational database (Supabase/PostgreSQL).

Data Processing and Analysis Flow (Pipeline)

When a sustainability report is uploaded to the SustainData platform or a dataset registered in the system is triggered, the following processing steps are carried out:

Report Input (PDF) → Text Fragmentation & Vectorization → RAG-Based Information Retrieval → LLM & Agent Analysis → Metric Calculation (GRI/TCFD/Greenwashing) → Structured Output (Interface)

To minimize the risk of hallucination by narrowing the context sent to the large language models, the system runs in-document source-citation algorithms. Each extracted metric and score (Numerical-Evidence Ratio, Vague-Expression Ratio, etc.) is made verifiable by referencing the relevant page and paragraph in the original PDF document. In this way, the model is intended to adhere to the principles of transparency and to be used with confidence in academic studies.

4. FINDINGS / PILOT APPLICATION DESIGN

In this section, a pilot application design is presented in order to demonstrate the applicability of the proposed AI Agent-based ESG analysis model. The main purpose of the pilot application is to show that the environmental, social, governance, and textual-disclosure indicators can be extracted from corporate sustainability reports using a large language model and the RAG approach.

In the pilot design, the unit of analysis was defined as firm-year. In the first stage, the 2024 sustainability or integrated-annual reports of selected companies included in the BIST Sustainability Index are considered. For the illustrative demonstration of the application, the variable-extraction and evidence-table structure was developed using the 2024 reports of Tüpraş and Arçelik (Arçelik, 2024; Tüpraş, 2024).

Table 5. Sentence-Level Scoring Example

Sentence Type	ESG Dimension	Assessment	Greenwashing Risk
Sentence containing a numerical emission-reduction target	Environmental	Contains strong evidence	Low
General sustainability commitment	Environmental / General	Contains vague expression	Medium / high
Performance disclosure matched with a GRI code	ESG / Standard	Strong standard compliance	Low
Statement emphasizing only positive performance	Environmental / Social	May be selective reporting	Medium
Target present but no realization data	Environmental	Lack of evidence	Medium / high

For this reason, the proposed model treats ESG reporting not merely as content analysis but as evidence-based sustainability data analytics. The TEXTIndex and Greenwashing Risk Score variables make it possible to evaluate reports not only through quantitative performance indicators but also through their disclosure language and level of evidence.

5. COUNTRY-LEVEL EMPIRICAL FINDINGS: DETERMINANTS OF THE NATIONAL GREENWASHING INDEX

To complement the firm-level, evidence-based approach designed in Section 4, the greenwashing phenomenon is examined empirically in this section using real data at the country level. The analysis covers the 2010-2023 period (14 years, N = 280 balanced panel) for 20 countries drawn from the World Bank's World Development Indicators (WDI) dataset. The raw environmental, social, and governance/macro indicators were rescaled to the 0-100 range by Min-Max normalization, and a composite index for each dimension (ENVIndex, SOCIndex, GOVIndex) was constructed via principal component analysis (PCA).

The dependent variable is the National Greenwashing Index (NGI / policy-implementation divergence), which is derived from the difference between managerial/institutional capacity (GOVIndex) and actual environmental performance (ENVIndex) and is scaled to the 0-100 range. To avoid an endogeneity (circularity) problem, ENVIndex was not taken as an explanatory variable; the effects of the social and macroeconomic indicators on the divergence were evaluated using XGBoost (SHAP) and dynamic panel (fixed-effects) models.

Table 6. Descriptive Statistics (N = 280; 20 countries × 14 years)

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Greenwashing Index	37.92	18.38	0.00	100.00
ENVIndex	72.72	14.25	23.88	88.38
SOCIndex	70.58	15.61	22.13	86.65
GOVIndex	55.20	9.85	22.88	68.55
Log GDP pc	10.15	0.99	7.12	11.41
GDP Growth (%)	2.41	3.19	-10.94	11.81
Inflation (%)	3.56	5.93	-1.14	72.31

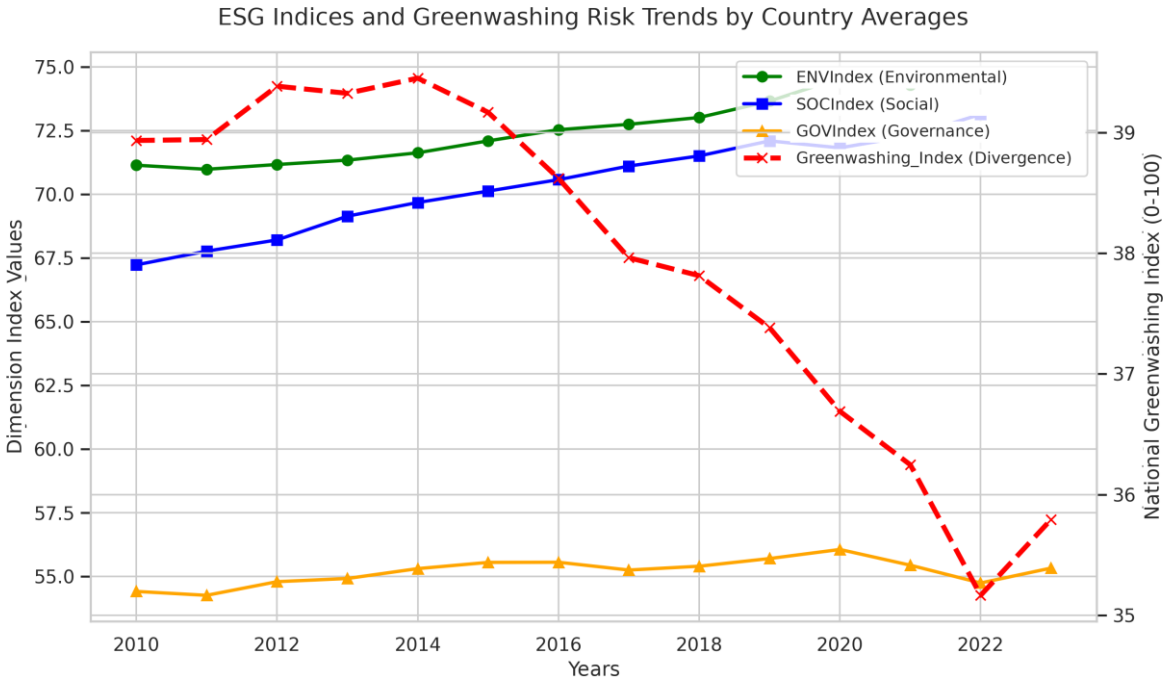


Figure 1. Time Series of ESG Indices and Greenwashing Risk by Country Averages (2010-2022)

Figure 1 shows that the environmental, social, and governance indices rise steadily over the years, whereas the national greenwashing (divergence) index declines markedly after 2014. This pattern indicates that the gap between institutional capacity and environmental action narrows over time, although a slight upward tendency re-emerges at the end of the period.

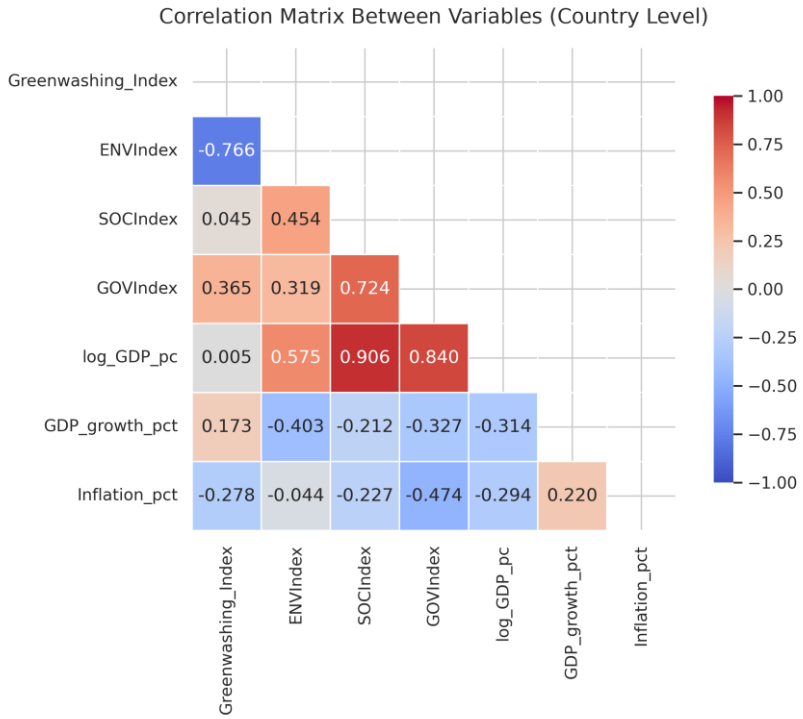


Figure 2. Correlation Matrix Between Variables (Country Level)

The correlation matrix (Figure 2) confirms that the greenwashing index is strongly and negatively correlated with the environmental index (-0.77); in countries with high environmental performance, the divergence risk is low. The governance index exhibits a positive relationship with greenwashing (0.37), while the social index is almost neutral (0.05). The high correlations between the social and governance indices and per-capita income (0.91 and 0.84, respectively) indicate that income level moves together with institutional capacity.

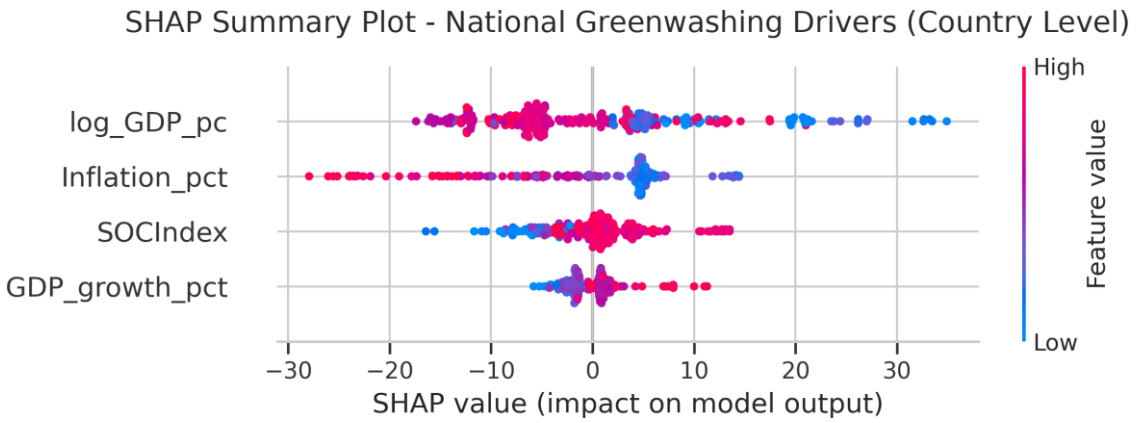


Figure 3. SHAP Summary Plot of National Greenwashing Drivers (XGBoost)

The SHAP summary plot for the XGBoost model (Figure 3) reveals that the per-capita income level (log_GDP_pc) is the factor that most strongly increases divergence risk: even though high-income countries adopt environmentally friendly laws and discourse, they may lag behind in actual action because of their consumption and industrial activities. By contrast, high values of the social index (SOCIndex) act as a strong brake that reduces divergence. Inflation and growth rates, on the other hand, exhibit more limited and context-sensitive effects.

Table 7. Dynamic Panel Regression Results (Dependent Variable: National Greenwashing Index)

Variable	Pooled OLS	Fixed Effects	Significance
Constant	4.162	-44.317	
Greenwashing (t-1)	0.998***	0.640***	p<0.01
SOCIndex	0.023*	-0.164**	p<0.05
Log GDP pc	-0.571*	6.906**	p<0.05
GDP Growth (%)	0.079*	-0.044	—
Inflation (%)	-0.088	-0.166***	p<0.01

*Note: *** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.10. The Fixed-Effects model includes country and year fixed effects.*

The dynamic panel results (Table 7) reveal three fundamental findings. First, the highly significant and positive lagged greenwashing term (t-1) indicates that the divergence exhibits strong institutional/behavioral inertia. Second, the negative and significant social-index coefficient in the fixed-effects model (-0.164; p<0.05) shows that social-welfare and equality reforms work to inhibit the divergence. Third, the positive and significant coefficient of per-capita income (6.906; p<0.05) confirms the SHAP finding that economic development is a structural factor that increases divergence risk.

6. RECORDING AS AN AI AGENT AND A REPEATABLE WORKFLOW

In this study, the data-collection and analysis process was designed as a re-runnable AI Agent workflow. The ESG-AI Agent receives sustainability reports in PDF format, fragments the report text at the sentence and paragraph level, retrieves the relevant evidence texts via the RAG approach, and, with the help of a large language model, transforms the environmental, social, governance, and textual-disclosure variables into a structured data table.

For each extracted value, the agent should produce the company name, year, variable, value, unit, evidence sentence, page number, source URL, confidence score, and a manual-check flag. This approach increases the auditability of the artificial-intelligence outputs and helps the researcher construct the final dataset reliably. The workflow is made repeatable through a standard project structure in which the reports, prompts, outputs, and configuration files are kept in separate folders.

Table 8. Proposed ESG AI Agent Flow on n8n

Node / Step	Task
Manual Trigger	Starts the workflow
Google Drive	Retrieves the PDF report from the folder
PDF Text Extractor	Extracts the PDF text
Text Splitter	Splits the text into pages/paragraphs/sentences
LLM Node	Extracts the ESG variables
Code Node	Converts the JSON output into a table
Google Sheets	Writes to the main data table
LLM Node 2	Performs sentence scoring
Code Node 2	Computes TEXTIndex and the Greenwashing Score

7. CONCLUSION AND EVALUATION

This study proposes a conceptual and applied model demonstrating that sustainability reports can be transformed into structured ESG datasets through large language models, RAG, and an AI Agent approach. The proposed system treats corporate reports not merely as documents to be read but as verifiable data sources with an evidence sentence, page number, unit, year, and confidence score.

The fundamental contribution of the model is that it combines the environmental, social, governance, and textual-disclosure dimensions under a single integrated analysis architecture. While the ENVIndex, SOCIndex, GOVIndex, and TEXTIndex variables make it possible to measure companies' sustainability disclosures along different dimensions, the Greenwashing Risk Score enables reports to be evaluated in terms of vague expression, a lack of numerical evidence, and a lack of evidence-backed claims.

The pilot application design demonstrates the evidence-based data-collection and verification protocol through the 2024 reports of Tüpraş and Arçelik, and lays the groundwork for a firm-year dataset covering the 2019-2024 period for the companies in the BIST Sustainability Index.

The study also examines the greenwashing phenomenon empirically at the country level using real data. XGBoost/SHAP and dynamic panel models were applied to the National Greenwashing Index (the divergence between institutional capacity and environmental action) constructed for 20 countries and the 2010-2023 period using World Bank WDI data. The findings reveal that per-capita income is the strongest factor increasing divergence risk, whereas social development (SOCIndex) acts as a brake that reduces this divergence. The high significance of the lagged greenwashing term indicates that the divergence exhibits strong institutional inertia. When combined with the firm-level, evidence-based indicators that the proposed AI Agent architecture would produce, these macro findings make it possible to monitor greenwashing risk at both the micro and macro levels. The fact that the average SHAP contributions of the digital-infrastructure indicators are negative indicates that development in these areas acts to lower the predicted emissions. This finding shows that the structured ESG data produced

by the proposed AI Agent architecture can constitute a strong input not only for descriptive reporting but also for transparent and auditable predictive models.

The study also has limitations. First, the values extracted by the AI Agent must necessarily pass through a manual verification process. Second, different report formats and units of measurement may complicate data standardization. Third, the greenwashing risk score should be regarded not as a definitive verdict but as an early-warning indicator that requires audit and review.

In future studies, it is recommended that the model be tested on a larger number of companies and years, that the LLM outputs be compared with human coders, and that the resulting ESG-AI scores be related to financial-performance and corporate-reputation indicators.

REFERENCES

Arçelik. (2024). 2024 sustainability report. Arçelik A.Ş. https://www.arcelikglobal.com/en/sustainability/

Bingler, J. A., Kraus, M., Leippold, M., & Webersinke, N. (2022). Cheap talk and cherry-picking: What ClimateBERT has to say on corporate climate risk disclosures. Finance Research Letters, 47, 102776. https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102776

Borsa İstanbul. (2024). BIST Sustainability Indices ground rules. Borsa İstanbul A.Ş. https://www.borsaistanbul.com/en

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. California Management Review, 54(1), 64-87. https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64

Global Reporting Initiative. (2021). GRI Standards. GRI. https://www.globalreporting.org/standards/

Hillebrand, L., Pielka, M., Leonhard, D., Deußer, T., Dilmaghani, T., Kliem, B., Loitz, R., Morad, M., Temath, C., Bell, T., Stenzel, R., & Sifa, R. (2023). sustain.AI: A recommender system to analyze sustainability reports. Proceedings of the Nineteenth International Conference on Artificial Intelligence and Law (ICAIL '23). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3594536.3595131

IFRS Foundation. (2023). IFRS S2 Climate-related disclosures. IFRS Foundation. https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s2-climate-related-disclosures/

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 9459-9474. https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/6b493230205f780e1bc26945df7481e5-Abstract.html

Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2017). Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures: Final report. TCFD. https://www.fsb-tcfd.org/

Tüpraş. (2024). 2024 integrated annual report. Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. https://www.kgk.gov.tr/Portalv2Uploads/files/Duyurular/v2/Surdurulebilirlik/Raporlar/TUPRAS2024EntegreFaaliyetRaporu.pdf

Vinella, A., Capetz, M., Pattichis, R., Chance, C., Ghosh, R., & Chang, K.-W. (2023). Leveraging language models to detect greenwashing [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2311.01469

Webersinke, N., Kraus, M., Bingler, J. A., & Leippold, M. (2022). ClimateBERT: A pretrained language model for climate-related text [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2110.12010

Zou, Y., Shi, M., Chen, Z., Deng, Z., Lei, Z., Zeng, Z., Yang, S., Tong, H., Xiao, L., & Zhou, W. (2023). ESGReveal: An LLM-based approach for extracting structured data from ESG reports [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2312.17264

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

COMPARATIVE ANALYSIS OF FEATURE ENGINEERING APPROACHES IN IOT INTEGRATED PREDICTIVE MAINTENANCE WITH LIQUID NEURAL NETWORKS

SIVI YAPAY SINIR AĞLARI ILE NESNELERIN İNTERNETI ENTEGRELI ÖNLEYICI BAKIMDA ÖZNITELIK MÜHENDISLIĞI YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALIZI

Assist.Prof.Dr. Narin Aslan
Firat University Faculty of Technology, Department of Mechatronic Engineering, 23200, Elazig/Türkiye, ORCID NO: 0000-0002-7609-1557

Assist.Prof.Dr. Ayhan Altinors
Firat University Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, 23200 Elazığ/Türkiye, ORCID NO: 0000-0003-2036-7080

ÖZET

Günümüz endüstriyel üretim tesislerinde, nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, olası donanım arızalarını sistemsel çöküşler yaşanmadan önce sezebilen proaktif kestirimci bakım uygulamaları endüstrinin odak noktası haline gelmiştir. Bu sistemlerin merkezinde yer alan yapay zeka modelleri, arıza tespiti konusunda büyük potansiyel taşısa da; üretim sahasının fiziksel gerçeklikleri olan mekanik titreşimler, çevresel faktörler ve sensör kalibrasyon sorunları, toplanan verilere yoğun bir parazit katmaktadır. Söz konusu gürültülü veriden en faydalı sinyallerin ayrıştırılması, arıza tahmin modellerinin hatalı uyarı vermemesi veya asıl tehlikeleri gözden kaçırmaması adına kritik bir adımdır. Sıklıkla tercih edilen geleneksel ve geometrik izdüşüme dayalı statik boyut indirgeme yöntemleri, bu tür parazitli ortamlarda istenen performansı veremeyerek ciddi kayıplar yaşamaktadır. Bu araştırmada, bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla, IoT ile desteklenen kestirimci bakım mimarileri için gürültüye karşı üstün dirence sahip, iki aşamalı (özellik seçimi ve özellik çıkarımı) ve dinamik bir özellik mühendisliği çerçevesi tasarlanmıştır. Modelin dayanıklılığını ölçmek için saha koşullarını birebir taklit eden zaman serisi verilerine %15 oranında Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN) ilave edilmiştir. Kurulan mimarinin ilk aşamasında, verinin yüksek boyutlu yapısını kırarak en anlamlı nitelikleri seçmek üzere Öz-Dikkat (Self-Attention), XGBoost ve gölge özellik analizi yapan Boruta algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. İkinci fazda ise ayrıştırılan bu niteliklerin dinamik bir uzaya aktarımı için klasik Kernel PCA ile diferansiyel zaman analizi yapabilen Sıvı Sinir Ağları (LNN) temelli LNN-Reservoir sistemleri yarıştırılmıştır. Deneysel bulgular, ilk aşamada Boruta algoritmasının %99.61 genel doğruluk ve %99.02 F1-skor değeri yakalayarak diğer alternatifleri açık ara geride bıraktığını göstermiştir. Özellik çıkarımı aşamasında ise geleneksel Kernel PCA yönteminin sensör gürültülerini asıl veri sanarak yanıldığı ve modelin genel isabet oranını %87 ile %89 bandına düşürdüğü görülmüştür. Bunun aksine, diferansiyel durum geçişlerini kullanan LNN-Reservoir altyapısı, dalgalanmaları kendi sıvı havuzu içinde sönümleyerek parazitleri başarıyla filtrelemiş, %98.5 üzeri kararlı bir doğruluk ve %95'i aşan bir duyarlılık (Recall) sağlamıştır. En çarpıcı sonuçlardan biri de XGBoost ile LNN-Reservoir kombinasyonunun entegre çalıştığı modelin, arızaları %100 oranında tespit ederek sistemde yanlış negatif (ıskalama) ihtimalini tamamen sıfırlamasıdır. Ayrıca hesaplanan AUC eğrilerinde LNN-Reservoir 0.998 değere ulaşırken Kernel PCA'in 0.935 seviyesinde kalması, sıvı sinir ağlarının statik yaklaşımlara kıyasla ne derece güvenilir olduğunu belgelemiştir. Elde edilen bulgular, önerilen dinamik mimarinin ağır sanayi gürültüsüne rağmen yüksek isabetle çalışan, uç bilişim donanımlarının sınırlı hesaplama kapasitesine uygun ve sektörel uygulanabilirliği oldukça yüksek yeni nesil bir çözüm sunduğunu teyit etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti (IoT), Sıvı Yapay Sinir Ağları (LNN), Öznitelik Mühendisliği, Gürültü Direnci, Uç Bilişim.

ABSTRACT

With the proliferation of Internet of Things (IoT) devices in contemporary industrial manufacturing plants, proactive predictive maintenance applications capable of detecting potential hardware failures before systemic collapses occur have become a focal point of the industry. Although the artificial intelligence models at the core of these systems possess significant potential for fault detection, physical realities of the production floor—such as mechanical vibrations, environmental factors, and sensor calibration issues—introduce heavy noise into the collected data. Isolating the most salient signals from this noisy data is a critical step to prevent fault prediction models from generating false alarms or overlooking actual hazards. Frequently preferred traditional and geometric projection-based static dimensionality reduction methods suffer severe performance degradation in such noisy environments, failing to yield the desired efficiency. To eliminate these drawbacks, this study designs a noise-resilient, two-stage (feature selection and feature extraction), and dynamic feature engineering framework tailored for IoT-supported predictive maintenance architectures. To evaluate the robustness of the model, 15% Additive White Gaussian Noise (AWGN) was introduced to time-series data that replicates actual field conditions. In the first stage of the constructed architecture, the performances of Self-Attention, XGBoost, and the shadow feature-based Boruta algorithm were compared to mitigate the high-dimensional structure of the data and select the most meaningful features. In the second stage, conventional Kernel PCA and Liquid Neural Network (LNN)-based LNN-Reservoir systems capable of differential time analysis were evaluated against each other for projecting these isolated features into a dynamic space. Experimental findings demonstrated that the Boruta algorithm vastly outperformed other alternatives in the first stage, achieving an overall accuracy of 99.61% and an F1-score of 99.02%. In the feature extraction phase, it was observed that the traditional Kernel PCA method misidentified sensor noise as actual data, thereby degrading the overall accuracy of the model to the 87%–89% band. Conversely, the LNN-Reservoir infrastructure utilizing differential state transitions successfully filtered out noise by dampening fluctuations within its liquid reservoir, yielding a stable accuracy above 98.5% and a recall exceeding 95%. One of the most striking results is that the integrated model combining XGBoost and LNN-Reservoir detected 100% of the faults, completely eliminating the probability of false negatives (missed alarms) in the system. Furthermore, in the calculated AUC curves, the LNN-Reservoir reached a value of 0.998 while Kernel PCA remained at 0.35, documenting the superior reliability of liquid neural networks compared to static approaches. The obtained findings confirm that the proposed dynamic architecture offers a highly viable next-generation solution for heavy industrial environments, operating with high accuracy despite noise and aligning with the limited computational capacity of edge computing hardware.

Keywords: Predictive Maintenance, IoT (Internet of Things), Liquid Neural Networks (LNN), Feature Engineering, Noise Robustness, Edge Computing.

1. INTRODUCTION

The Industry 4.0 revolution and the integration of Internet of Things (IoT) technologies into production lines have rendered "Predictive Maintenance" strategies imperative to forecast failures before they ocur (Cook et al., 2020). Machine learning and deep learning algorithms detect deviations in systems from their normal operating regimes by analyzing massive data streams obtained from sensors. However, sensor data collected from industrial sites inherently contains a high level of noise and interference due to environmental conditions, mechanical vibrations, and sensor calibration errors (Jiangtao et al., 2026). Filtering meaningful features from these complex and noisy datasets is of vital importance for the classification accuracy of models and for preventing them from missing failures in the field (Weihong et al., 2026).

Static and geometric projection-based dimensionality reduction algorithms, frequently utilized in the literature to process high-dimensional data, often fall short of capturing dynamic temporal changes in

time-series streams and instantaneous cross-sensor correlations. Particularly under noisy conditions, the severe performance degradation experienced by traditional algorithms in fault detection rates has necessitated the development of next-generation feature engineering architectures for edge computing-based IoT devices that are more dynamic, possess damping capabilities, and require low computational overhead. In this regard, flexible architectures capable of adapting to the differential nature of time-series data, such as Liquid Neural Networks (LNNs), offer strong potential to overcome the industrial noise problem (Bromberger et al., 2025; Leal et al., 2026; Aslan, 2025; Tian, 2021).

Recently, numerous studies and applications have been conducted on predictive maintenance for industrial machinery and equipment by utilizing sensor data through artificial intelligence methods;

The requirement for machine learning models adapted to heterogeneous data structures in industrial IoT anomaly detection has been heavily emphasized through a comprehensive review conducted by Cook et al., 2020. Leng et al. introduce Liquid Neural Networks (LNN) as a highly efficient, continuous-time alternative to traditional deep learning models for driving real-time optimization and resilience in Industry 5.0 applications. Aslan, introduced a dynamic liquid neural network reservoir architecture for COPD classification, incorporating time-adaptive leaky and spiking neurons alongside an embedded Transformer encoder. By utilizing time-varying activation coefficients and leakage parameters, the model achieved high temporal adaptability, reaching classification accuracies of up to 99.84% and 94.25% for leaky and spiking neurons, respectively. Liquid Neural Networks have been extensively and successfully employed for fault detection and diagnosis applications in recent literature (Oh et al., 2025; Tian et al., 2021; Wan et al., 2025; Dalla et al., 2026; Laib et al., 2026). In the context of industrial predictive analytics, several closely related studies have successfully leveraged hybrid pipelines combining Boruta for feature engineering, LNN reservoirs for temporal modeling, and XGBoost for classification within IoT-driven predictive maintenance frameworks (Yuan et al., 2023; Karbasi et. al., 2024; Yousefi & Varlıklar, 2026)

1.1. Research Objective

The primary objective of this study is to propose a fault-tolerant, hierarchical feature engineering framework capable of processing highly noisy sensor data in IoT-integrated predictive maintenance systems. Within the scope of this work, artificial noise was injected into sensor data to simulate harsh industrial conditions, and the "feature selection" performances of XGBoost, Self-Attention, and Boruta algorithms were rigorously investigated under this noisy environment. In the second stage, with the aim of projecting these selected features into a dynamic space, the feature extraction capacities of the conventional Kernel PCA method and the proposed LNN-Reservoir method were comparatively analyzed, aiming to demonstrate the noise-damping capability of the LNN architecture.

1.2. Novelties and Contributions of the Study

The fundamental novelties and contributions of this study to the literature are summarized in the following points:

- ✓ Unlike static methods, this architecture utilizes fluid dynamics and a state-transition matrix to absorb instantaneous sensor interference within its liquid reservoir and transform them into stable signals, thereby completely eliminating the risk of missing critical failures (false negatives).
- ✓ It is theoretically and statistically demonstrated that the conventional Kernel PCA method, which performs variance maximization in a high-dimensional space, erroneously interprets abrupt sensor noise as "essential variance" (true data deviation), thereby misleading the model.
- ✓ The standard Boruta algorithm’s structurally heavy multi-iteration process, which demands substantial computational overhead, was transformed into a deterministic "Single-Pass and Security-Shielded" model while preserving its noise-protection philosophy. Consequently, the computational processing time was significantly reduced for real-time applications.

- ✓ Deviating from classical transformer architectures, the "Value Matrix" computation was entirely bypassed, focusing directly on the cross-sensor covariance context. This innovation not only reduced the computational cost but also served as a filter that resolves the problem of multicollinearity.

2. MATERIALS AND METHODS

The hierarchical feature engineering pipeline proposed in this study consists of sequential phases: data preprocessing, feature selection, feature extraction, and model evaluation.

2.1. Dataset and Noise Injection

The dataset utilized in this study contains time-series sensor data obtained from machinery on industrial production lines; it is a comprehensive dataset designed to develop predictive maintenance, anomaly detection, and equipment health monitoring models (Ziya07, 2024). Simulating a real-time IoT sensor network, each record within this dataset encompasses a timestamp, machine ID, and core sensor measurements—such as vibration, acoustic signal, temperature, and electrical current—that reflect the operating status of the machine. To better capture the complex patterns of early-stage machine failures, the data are further decomposed and presented as signal components termed "Intrinsic Mode Functions" (IMF_1, IMF_2, IMF_3). All these features are mapped to a binary label indicating whether the machine is healthy (0) or faulty (1), providing an ideal foundation for training and testing machine learning-based industrial fault detection systems.

In order to simulate real-world interference, vibrations, and transmission errors, the predictive maintenance IoT dataset used in the analyzes was modeled using the formulation in Equation 1:

$$X_{noisy} = X_{original} + \eta \, . Z \tag{1}$$

where, $X_{original}$; represents the currently normalized feature matrix entering the model, and η; denotes the coefficient determining the severity of the noise (Aslan, 2025). In this context, a standard deviation noise at a scale of 15% of the data's variance was injected. The random matrix possessing a standard normal distribution with a mean of zero and a standard deviation of one is represented as in Equation 2:

$$Z \sim \mathcal{N}(0,1) \tag{2}$$

Through this mathematical framework, the Additive White Gaussian Noise (AWGN) integrated into the pipeline yields the final data stream as Equation 3:

$$X_{final_stream} = X_{original} + 0.15 \, . \, std(X_{original}) \, . \, Z \tag{3}$$

2.2. Feature Selection

In this study, three distinct methodologies were employed to mitigate the high dimensionality of the noisy raw data:

XGBoost: In theory, this method constructs trees by calculating an objective information gain ($\mathcal{L}_{gain}$) based on gradient (g_i) and hessian (h_i) derivatives. In this study, after all trees were established, the Out-of-Bag Permutation error was utilized to measure the final importance of the features.

The increase in OOB permutation error ($\Delta Err_{OOB}^{(j)}$) is calculated for each j sensor feature. A ReLU filter is applied to eliminate negative importance scores—which represent misleading variables that degrade rather than improve the model—and the global feature mean (μ_{xgb}) is established as the selection threshold.

$$I_{xgb}^{(j)} = \max(\Delta Err_{OOB}^{(j)}, 0) \tag{4}$$

$$\mu_{xgb} = \frac{1}{D}\sum_{k=1}^{D} I_{xgb}^{(k)} \tag{5}$$

$$selection\ matrix\ (idx_{xgb}) = \begin{cases} 1, & if\ I_{xgb}^{(j)} > \mu_{xgb} \\ 0, & in\ other\ cases \end{cases} \tag{6}$$

This method implemented in the code shifts the local information gains obtained at node splits into a global evaluation. Utilizing the mean threshold value filters out weak signals within the dataset, thereby guaranteeing the selection of only the sensors ($> \mu_{xgb}$) that provide a clear contribution to the model (Bentéjac, 2019).

Self-Attention: This method establishes a time- or sample-based (*NxN*) connection by utilizing Q, K, V matrices. The Query (Q_{feat}) and Key (K_{feat}) matrices are constructed within the feature space with a random weight matrix W_q and W_k .

$$Q_{feat} = X^T W_q \tag{7}$$

$$K_{feat} = X^T W_k \tag{8}$$

The global interaction matrix of features with each other $A \in \mathbb{R}^{DxD}$ is obtained by dot product scaled according to the row size N.

$$A = softmax\ (\frac{Q_{feat}\, K_{feat}^T}{\sqrt{N}}) \tag{9}$$

Finally, the attention score of each feature is calculated by taking the row averages, and the mean sensitivity threshold is utilized once again.

$$I_{attn.}^{(j)} = \frac{1}{D}\sum_{k=1}^{D} A_{j,k} \quad \rightarrow idx_{attn.} = \|\ (I_{attn.}^{(j)} > \mu_{attn}) \tag{10}$$

Here, $\|$ is an indicator function that returns 1 when the threshold is exceeded.

Unlike classic transformer networks, this mechanism encoded bypasses the Value (V) computation and focuses directly on the inter-sensor covariance context (Attention Matrix). While reducing the computational cost, this serves as a direct filter to resolve multicollinearity (Keles, 2023).

Boruta (Single-pass heuristic shadow analysis): The original Boruta tests features using a Binomial test (testing success probability over hundreds of iterations). However, this creates a very high computational load on sensor data. In this study, this iterative process has been transformed into a deterministic version that is "Single-Pass and Safety-Shielded.

First, the data matrix X and its randomly shuffled shadow copy X_{shadow} are horizontally concatenated: $\tilde{X} = [X, X_{shadow}]$. After the model is trained, the maximum importance value produced by the shadow features is defined as a Noise Wall Z_{max} .

$$Z_{max} = \max_{k \in \{1 \dots D\}} (I_{shadow}^{(k)}) \quad (11)$$

In order to select the real features (I_{real}), it is required that they exceed the maximum noise in a single pass. This Single-Pass Maximum Shadow Threshold approach, applied instead of the costly Binomial distribution test of standard Boruta, dramatically reduces the model's execution time in real-time predictive maintenance scenarios while successfully preserving the core philosophy of the noise wall concept. The added emergency fallback logic prevents the network from locking up even in extremely noisy folds (Anand, 2021).

2.3. Feature Extraction

The features filtered from the first stage were passed through two different transformers in order to be completely purified from noise:

Kernel PCA: Kernel PCA (KPCA) statically projects data into a much higher-dimensional feature space using the "Kernel Trick (Kernel Trick)" when the data cannot be linearly separated in its original space. This process is independent of the concept of time; meaning that noises or instantaneous spikes (spikes) in the data are directly mapped to the new space without being filtered (Marukatat, 2023).

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \left|\left|x_i, -x_j\right|\right|^2) \quad (12)$$

The process of centering the data around the origin is performed using Equation 12. Here, 1_N is a matrix with all elements equal to 1/N.

$$K_c = K - 1_N K - K 1_N, + 1_N, \mathrm{K} 1_N \quad (13)$$

Subsequently, the eigenvalue decomposition of the K_c matrix is performed to extract the principal components (v) with the largest eigenvalues: $K_c v = \lambda v$.

Liquid Neural Network: The internal state of the network (reservoir state) functions similarly to the attenuation (decay) of ripples created over time by a stone thrown into stagnant water. The specified differential state transition mechanism D_{sg}, instead of magnifying instantaneous noise spikes in sensors with a static projection, absorbs and smooths them through liquid dynamics, producing stable feature macros (time-filtered signals). Differential state updates in the time domain are modeled by preserving the previous state (h_{t-1}) with a specific decay coefficient (λ) and adding the newly arriving input (x_t) as an excitation to the liquid reservoir.

$$u_t = W_{in} x_t + W_{res} h_{t-1} \quad (14)$$

$$h_t = \tanh(\lambda . h_{t-1} + D_{sg} . u_t) \quad (15)$$

Here, W_{in}; is the input weight matrix that transfers sensor data to the liquid reservoir, W_{res}; is the internal reservoir matrix that controls the ripples within the liquid, λ and D_{sg}; are the decay and differential transition coefficients, respectively (Aslan, 2025).

3. Experimental Results

The experimental results of the IoT Integrated Predictive Maintenance data analyzed using the methods discussed in the methodology section are presented below. Table 1 provides the 5-fold cross-validation results of the raw performance metrics of the feature selection methods under noisy conditions.

Table 1: 5-fold cross-validation results of raw performance metrics of feature selection methods under noisy conditions (%)

XGBoost				
Fold	**Accuracy**	**Precision**	**Recall**	**F1_score**
1	98.61	99.23	93.75	96.28
2	99.17	99.53	96.59	98.00
3	98.61	97.44	96.62	97.02
4	99.17	98.18	96.91	97.53
5	99.17	99.52	96.88	98.15
Mean	**98.94**	**98.78**	**96.15**	**97.40**
Self Attention				
1	99.17	99.53	96.34	97.87
2	99.72	99.04	99.84	99.43
3	100	100	100	100
4	99.44	99.69	97.37	98.49
5	98.89	98.22	96.09	97.12
Mean	**99.44**	**99.30**	**97.93**	**98.58**
Baruta				
1	100	100	100	100
2	99.44	99.69	97.62	98.62
3	99.44	99.69	97.30	98.46
4	99.44	99.68	97.78	98.71
5	99.72	99.84	98.75	99.29
Mean	**99.61**	**99.78**	**98.29**	**99.02**

As presented in Table 1, the XGBoost algorithm leveraged the decision tree-based information gain criterion to evaluate features, yielding a mean accuracy of 98.94% and a mean F1-score of 97.40%. The accuracy fluctuation of the algorithm between Fold 1 and Fold 5 is considerably low (98.61% - 99.17%), which indicates that the model exhibits a stable variance. The weakest link of XGBoost is the Recall sensitivity value, which dropped to as low as 93.75% during the Fold 1 stage. The mean Recall value of XGBoost (96.15%) remained at the lowest level compared to the other two global and shadow variable-based algorithms. The Self-Attention mechanism, which computes the global dependency context of sensors on each other, outperformed the XGBoost model by producing a mean accuracy of 99.44% and

a mean F1-score of 98.58%. The model achieved 100% perfect classification success across all metrics during the Fold 3 stage. This confirms that the Self-Attention mechanism flawlessly resolves nonlinear multicollinearity within the respective data layer. However, during the Fold 5 stage, the model's accuracy decreased to 98.89% and its Recall value dropped to 96.09%, exhibiting a slight fluctuation (variance). This situation indicates that the attention mechanism might be partially sensitive to noisy or variable data layers. The Boruta algorithm, which competes real features against randomly shuffled shadow features, achieved the highest overall success among all tested methods with a mean accuracy of 99.61%, a mean precision of 99.78%, and a mean F1-score of 99.02%. Boruta managed to capture 100% full accuracy and 100% full recall even in the very first layer (Fold 1). When the experimental results are examined, it is observed that the Boruta algorithm provides a distinct superiority over the XGBoost and Self-Attention methods in clearing the feature clutter within the predictive maintenance dataset. In light of these findings, it is verified that the Boruta-based filtering pipeline is the most reliable feature selection approach against noise and instabilities in IoT-based PdM processes.

Table 2 presents the cross-combination performance metrics of hierarchical feature engineering models (LNN-Reservoir vs. Kernel PCA) under noisy conditions.

Table 2: Cross-Combination Performance Metrics of Hierarchical Feature Engineering Models (LNN-Reservoir vs. Kernel PCA) Under Noisy Conditions (%)

XGBoost – LNN Reservoir				
Fold	**Accuracy**	**Precision**	**Recall**	**F1_score**
1	99.72	99.84	98.96	99.39
2	96.94	98.32	87.21	91.81
3	99.44	99.69	97.67	98.65
4	99.44	99.69	97.67	98.65
5	99.72	99.84	98.81	99.32
Mean	**99.06**	**99.48**	**96.07**	**97.57**
XGBoost - Kernel PCA				
1	91.39	91.41	76.17	81.20
2	88.06	75.19	71.26	72.96
3	87.22	88.46	75.52	79.38
4	92.78	89.63	78.60	82.83
5	89.17	64.38	71.97	67.02
Mean	**89.72**	**81.81**	**74.70**	**76.68**
Self-Attention - LNN-Reservoir				

1	99.17	99.54	95.71	97.53
2	98.89	99.38	95.45	97.30
3	98.61	96.60	95.41	95.99
4	97.78	97.90	93.80	95.71
5	99.44	99.68	97.83	98.73
Mean	**98.78**	**98.62**	**95.64**	**97.05**
Self-Attention - Kernel PCA				
1	88.61	67.23	75.61	70.19
2	90.56	83.75	76.14	79.20
3	85.83	81.38	69.79	73.23
4	85.56	77.59	67.20	70.30
5	89.72	72.73	72.20	72.47
Mean	**88.06**	**76.54**	**72.19**	**73.08**
Boruta – LNN Reservoir				
1	98.33	99.09	91.89	95.13
2	98.89	98.25	96.18	97.19
3	98.89	98.48	96.84	97.64
4	98.89	99.37	95.65	97.41
5	99.17	99.53	96.67	98.04
Mean	**98.83**	**98.94**	**95.45**	**97.08**
Boruta - Kernel PCA				
1	81.39	75	64.77	67.15
2	85.56	55.72	58.93	56.63
3	87.22	70.14	66.98	68.35
4	91.39	76.98	81.26	78.89
5	89.44	61.81	69.83	64.37
Mean	**87**	**67.93**	**68.35**	**67.08**

As shown in Table 2, the feature extraction and dimensionality reduction results from the second stage of the hierarchical feature engineering framework reveal the clear superiority of the proposed LNN-Reservoir model over the conventional Kernel PCA method. Under 15% industrial noise (AWGN), Kernel PCA-based hierarchies dropped to the 87%–89% accuracy range because they encode noise variance as a principal data component. Furthermore, these configurations exhibited severe fluctuations between folds; for instance, the Boruta-KPCA combination dropped to 55.72% Precision in Fold 2. In contrast, the LNN-Reservoir architecture, leveraging its time-series memory and differential decay dynamics, successfully attenuated noise interference, maintaining a stable accuracy above 98.5% and an average Recall exceeding 95% across all selection channels. These findings confirm that the LNN-Reservoir architecture is the most robust and reliable approach against industrial noise in the dynamic space transformations of noisy sensor data during predictive maintenance processes.

Figure 1 illustrates a graphical comparison of the mean success rates achieved by the utilized XGBoost feature filter when integrated with the proposed LNN-Reservoir model versus the conventional Kernel PCA space transformation method.

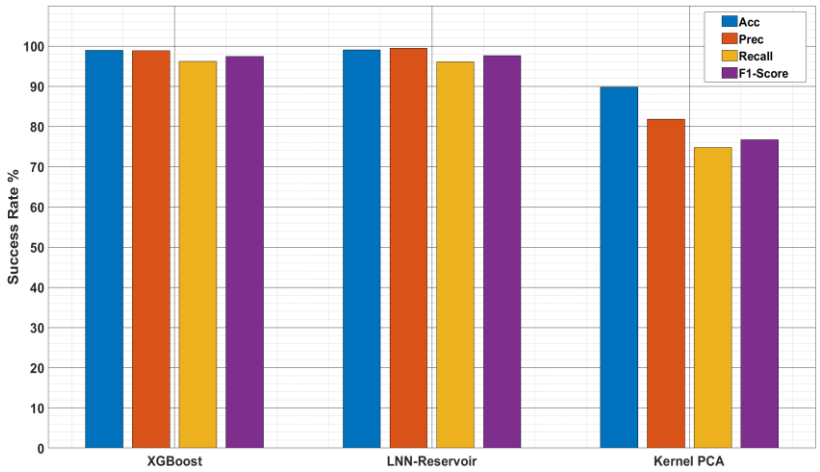


Figure 1: Comparison of Mean Performance Metrics of XGBoost-Based Solutions (Raw XGBoost, XGBoost-LNN Reservoir, and XGBoost-Kernel PCA)

When Figure 1, which visualizes the methodological success rates, is examined, the power of the LNN-Reservoir model based on differential liquid equations to attenuate industrial noise is clearly observed. The use of LNN-Reservoir following the raw XGBoost feature selection provided a stable classification pipeline by maintaining all metrics within the 96%-99% band. In contrast, the Kernel PCA method, which relies on static variance analysis, caused a dramatic collapse of up three to 20% in system performance (especially in F1-Score and Recall metrics) because it encoded noise fluctuations as principal data variance. This graphical evidence demonstrates the absolute superiority of the LNN architecture, which offers dynamic state-space transformation in IoT-based predictive maintenance processes, over conventional geometric dimensionality reduction methods in terms of noise resistance (robustness).

The confusion matrices generated to verify the classification accuracy of the proposed hierarchical architecture on a pixel basis and to examine the False Positive and False Negative tendencies of the model are comparatively presented in Figure 2. The analyses shed light on two scenarios that are critical for the sustainability of predictive maintenance processes.

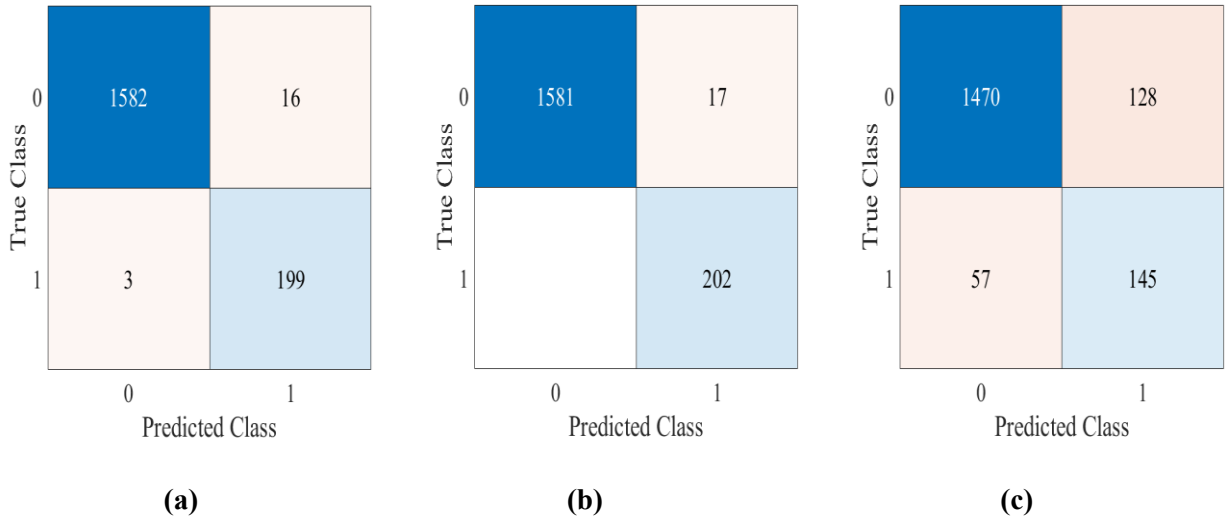
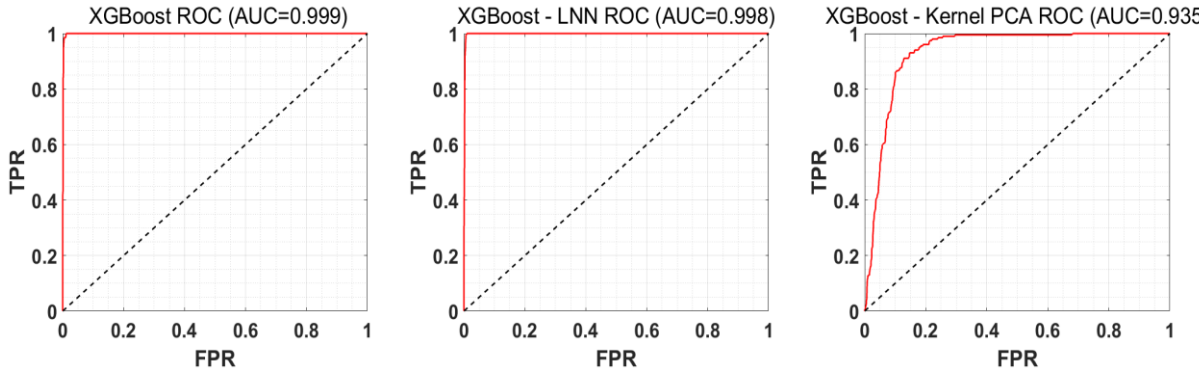


Figure 2: XGBoost confusion matrix (a) XGBoost feature selection, (b) XGBoost-LNN feature extraction, (c) XGBoost-Kernel PCA feature extraction

When the XGBoost feature selection model is examined, it correctly classified 1582 out of 1598 states belonging to healthy operating systems, while misdiagnosing 16 of them with a false anomaly. It predicted 3 of the 'Class 1' samples representing the fault state as healthy (Class 0). In the industrial field, these 3 misses represent a vulnerability indicator, as they could pave the way for sudden unplanned downtimes and mechanical catastrophic failures on the production line. In the hierarchical model obtained by passing the data through the XGBoost – LNN Reservoir layer, all 202 samples belonging to Class 1 (Fault) were predicted correctly with 100% completeness. Thanks to its noise attenuation capability, the model absorbed the noise and sharpened the fault signals. It generated only 17 false alarms (FP) in healthy states, remaining well within industrial acceptability limits. When Kernel PCA was used in the XGBoost – Kernel PCA feature extraction, the numbers in the confusion matrix degraded dramatically. The KPCA-based hierarchy triggered false alarms for 128 of the healthy states and, more importantly, completely missed 57 of the actual faults, encoding them as healthy. The 15% industrial noise injection confused the geometric boundaries of Kernel PCA within the RBF kernel space. Failing to distinguish the noise, KPCA filtered out the sensor deviations during faults by mistaking them for normal noise fluctuations; this reduced the fault detection capability (Class 1 accuracy) down to the 145/202 level. In order to verify the classification performance and class discrimination sensitivity of the proposed hierarchical framework under noisy IoT data, the Receiver Operating Characteristic (ROC) curves and the Area Under the Curve (AUC) values are comparatively presented in Figure 3. The obtained graphical results fully validate the models' resistance to noise from a theoretical perspective.



(a) (b) (c)

Figure 3: Comparative ROC Curves and AUC Scores of XGBoost-Based Solutions: (a) XGBoost, (b) XGBoost–LNN Reservoir, (c) XGBoost–Kernel PCA.

The ROC curves and AUC analysis presented in Figure 3 evaluate the models' capability to discriminate between classes independently of probabilistic thresholds. These results provide empirical validation for the noise attenuation theory of the proposed LNN-Reservoir architecture. The raw XGBoost (AUC=0.999) and the proposed hierarchical XGBoost-LNN Reservoir (AUC=0.998) models exhibited near-perfect classification performance, clinging completely to the upper-left corner, which is the limit of ideality. In contrast, the Kernel PCA architecture performing static space projection failed to suppress the artificial variance generated by the injected 15% industrial noise; this situation led to deviations in the decision boundaries, dropping the AUC value to the 0.0935 level. The ROC analysis findings clearly demonstrate that the LNN-Reservoir integration differentially eliminates noise components in complex IoT-based predictive maintenance signals and preserves the quality of class discrimination.

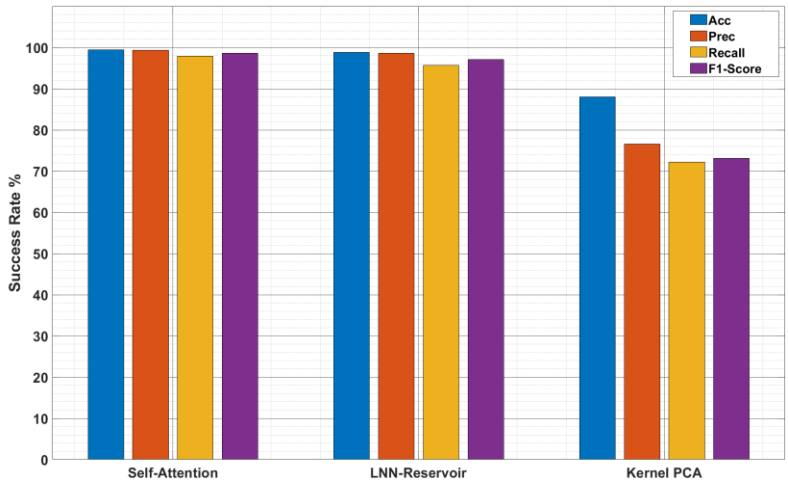
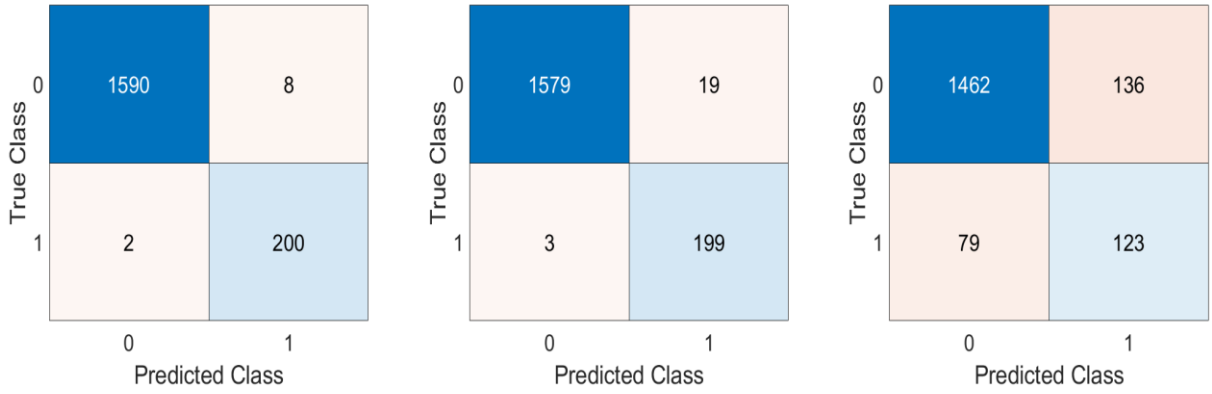


Figure 4: Comparison of Mean Performance Metrics of Self-Attention-Based Solutions (Raw Self-Attention, Self-Attention-LNN Reservoir, and Self-Attention-Kernel PCA).

As illustrated in Figure 4, feature selection in IoT-integrated predictive maintenance systems directly affects LNN performance. The Self-Attention and LNN-Reservoir methods, which mathematically preserve temporal dynamics and the correlation between signals, achieved a success rate of over 95% across all metrics, offering high reliability in fault detection. In particular, the high F1-Score (97%+) achieved by the LNN-Reservoir approach without requiring an external attention mechanism demonstrates that the model holds promise for being utilized as a lightweight architecture in industrial

edge computing processes. In contrast, the Kernel PCA method, which loses temporal sequence information, failed by delivering an unacceptably low recall (72%).

In order to analyze the classification performance of the proposed methods in more depth, the confusion matrices are presented in Figure 5.

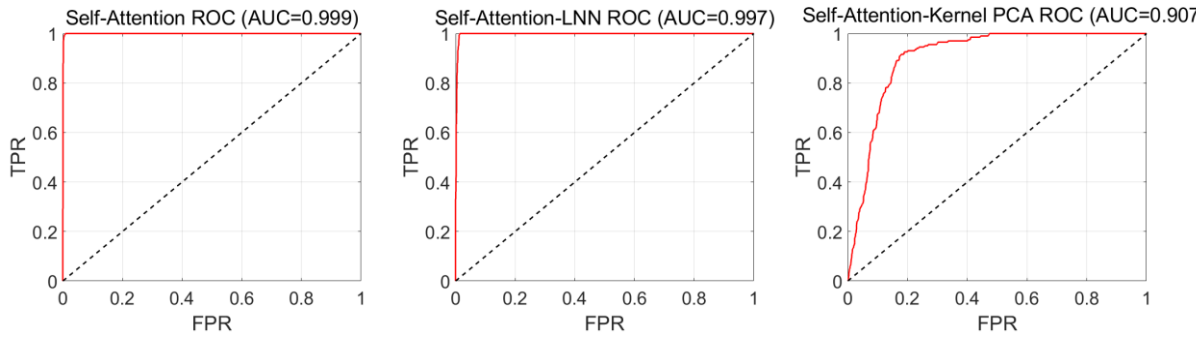


(a) **(b)** **(c)**

Figure 5: (a) Raw Self-Attention Confusion Matrix, (b) Self-Attention -LNN Confusion Matrix, (c) Self-Attention - KPCA Confusion Matrix

As illustrated in Figure 5, the Self-Attention and LNN-Reservoir approaches minimize operational risks, misclassifying only two and three fault states, respectively. In contrast, the Kernel PCA-based feature engineering approach exhibited a high-risk performance by failing to detect 79 fault states. Furthermore, the fact that the false alarm level (FP=19) generated by the LNN-Reservoir method remains within acceptable limits confirms that this method, combined with its low computational cost, is a powerful alternative for industrial IoT applications.

In order to validate the classification and discrimination performance of the methods, the ROC curves and AUC (Area Under the Curve) values are presented in Figure 6.



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 6: Self-Attention Tabanlı Çözümlerin Karşılaştırmalı ROC Eğrileri ve AUC Skorları: (a) Self-Attention, (b) Self-Attention –LNN Reservoir, (c) Self-Attention t–Kernel PCA.

The obtained findings demonstrate that the Self-Attention (AUC = 0.999) and LNN-Reservoir (AUC = 0.997) models, which successfully preserve temporal dynamics, exhibit near-perfect stability in discriminating between fault states and normal operating regimes. In particular, the high AUC value

achieved by the LNN-Reservoir model supports that the intrinsic reservoir dynamics of the LNN structure, without requiring external complex attention mechanisms, are highly effective for IoT-based predictive maintenance. On the other hand, the deviations in the curve of the Kernel PCA (AUC = 0.907) approach, which loses temporal patterns, statistically prove that the model is forced to generate more false alarms to reach higher sensitivity levels.

Figure 7 comparatively presents the effects of different feature engineering and selection approaches on the accuracy of the LNN-based predictive maintenance model.

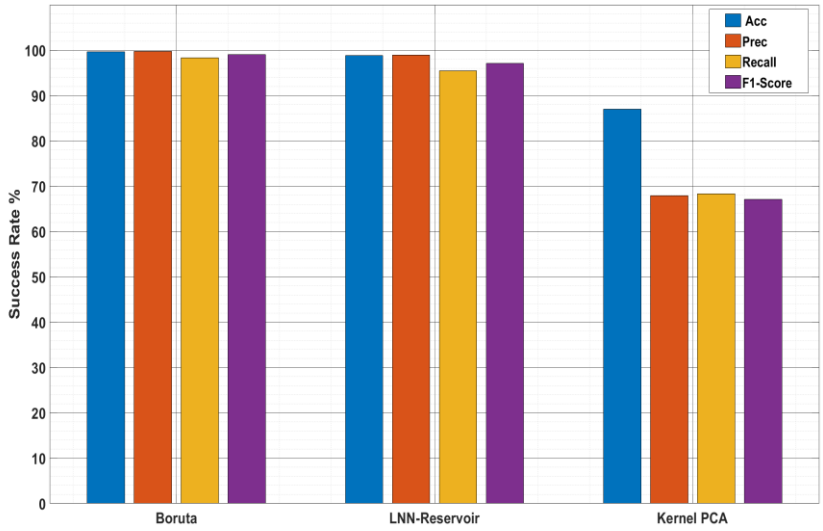
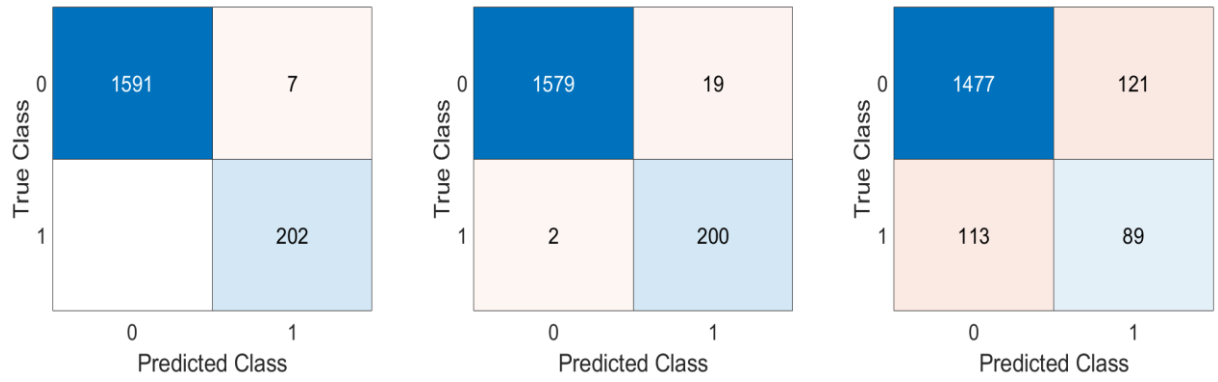


Figure 7: Comparison of Boruta-Based Solutions

According to the findings, the Boruta + LNN integration, which utilizes a random forest-based feature selection mechanism, achieved the highest success across all evaluation metrics (Acc: ~99.6%, F1: ~99%). Boruta's ability to successfully filter noisy IoT data maximized the predictive power of the LNN. On the other hand, the LNN-Reservoir approach, which directly uses the intrinsic state space of the LNN without requiring an external feature selector, exhibited a highly close and balanced performance to Boruta (F1: ~97%), proving to be a high-potential, lightweight alternative for hardware-constrained IoT/Edge systems. The Kernel PCA method, which performs dimensionality reduction by completely ignoring temporal dynamics, demonstrated an insufficient performance for industrial predictive maintenance scenarios, falling below 70% particularly in precision and sensitivity criteria.

In order to evaluate the micro-level classification success of the proposed feature engineering and selection approaches, the confusion matrices are presented in Figure 8.

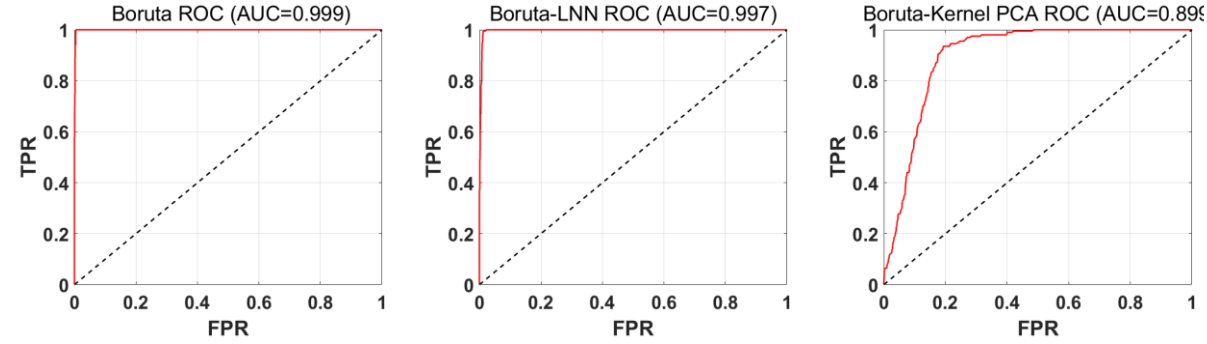


(a) **(b)** **(c)**

Figure 8: (a) Boruta Confusion Matrix, (b) Boruta - LNN Confusion Matrix, (c) Boruta – Kernel PCA Confusion Matrix

In predictive maintenance processes, False Negative (FN) errors, which express the failure to detect an actual system fault, carry the highest financial risk. When Figure 8 is examined, it is observed that the Boruta-LNN model achieved a value of 0 (zero) FN by flawlessly detecting all 202 fault states in the test set. This matrix verifies that this random forest-based selector approach provides the purest data space to the LNN model by filtering out the noise. The LNN-Reservoir method, which does not include an external optimization layer, missed only 2 fault states (FN = 2), proving to be an operationally safe and lightweight alternative for hardware-constrained industrial IoT devices. In contrast, the Kernel PCA approach, which destroys time-series information, failed to discriminate 113 fault states (FN = 113), falling far behind predictive maintenance standards.

In order to validate the discrimination performance and statistical stability of the proposed approaches in fault detection, the ROC curves and AUC values are presented in Figure 9.



(a) **(b)** **(c)**

Figure 9: Comparative ROC Curves and AUC Scores of Boruta-Based Solutions: (a) Boruta, (b) Boruta–LNN Reservoir, (c) Boruta-Kernel PCA.

The obtained experimental results reveal that the Boruta-LNN (AUC= 0.999) combination exhibits flawless stability in discriminating between the normal operating regime of the system and fault states. The most remarkable finding is the success achieved by the LNN-Reservoir (AUC = 0.997) model, which directly utilizes the intrinsic dynamics of the LNN without requiring an external feature selection algorithm. The marginal difference of 0.002 between these two methods confirms that the LNN-

Reservoir approach offers a highly reliable and lightweight architecture for industrial IoT and edge computing scenarios requiring a low computational load. In contrast, the Kernel PCA (AUC= 0.899) approach, which fails to preserve the chronological flow and trend relationships in the time series, lagged behind industrial predictive maintenance standards with distinct deviations in its curve.

Conclusion

In this study, the superiority of the two-stage, dynamic feature engineering model, developed as a solution to the intense sensor noise problem frequently encountered in industrial IoT systems, has been proven against conventional methods. In the first stage of the model, the Boruta algorithm formed a highly accurate baseline by successfully filtering noisy data and outperforming other methods. In the second stage, while the static-structured Kernel PCA remained insufficient in the face of noise, the LNN-Reservoir architecture succeeded in attenuating sudden interferences thanks to its dynamic structure, thereby completely eliminating the risk of missing faults.

Consequently, it has been demonstrated that this innovative LNN-based approach, which exhibits near-perfect performance and requires low computational power, provides a highly reliable predictive maintenance solution that can be integrated into edge computing devices to prevent unplanned downtimes.

REFERENCES

Anand, N., Sehgal, R., Anand, S., & Kaushik, A. (2021). Feature selection on educational data using Boruta algorithm. *International Journal of Computational Intelligence Studies*, *10*(1), 27-35. https://doi.org/10.1504/IJCISTUDIES.2021.113826

Aslan, N. (2025), "A novel hybrid liquid neural network with time dependent neuromorphic and transformer encoder based reservoir dynamics for respiratory sound classification". Engineering Applications of Artificial Intelligence, 162, 112728. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112728

Bentéjac, C., Csörgő, A., & Martínez-Muñoz, G. (2019). A comparative analysis of XGBoost. *arXiv preprint arXiv:1911.01914*. https://doi.org/10.1007/s10462-020-09896-5

Bromberger Dani, Alvaro Neuenfeldt Júnior, Vinícius Garcia, Matheus Francescatto. (2026), "Interpretable machine learning in industrial water pump failure prediction: the role of Shapley additive explanations values and data sampling techniques", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 165, Part B, 113558, ISSN 0952-1976. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.113558

Cook A.A., Misirli G., Fan Z. (2020) Anomaly detection for IoT time-series data: a survey. IEEE internet of things journal. № 7(7). P. 6481-6494. doi.org/10.1109/JIOT.2019.2958185

Dalla B, L., Karal, Ömer, EL-Sseid, M., & Alsharif, A. (2026). "An IoT-Enabled, THD-Based Fault Detection and Predictive Maintenance Framework for Solar PV Systems in Harsh Climates: Integrating DFT and Machine Learning for Enhanced Performance and Resilience", Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 4(1), 41-55. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i105

Jiangtao Li, Shanning Zhan, Haodong Guo, Zhifei Wu, A Multi-sensor Cross scale Time–Frequency Network for intelligent gear fault diagnosis in noisy environment, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 164, Part A, 2026, 113292, ISSN 0952-1976, https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.113292

Jing, G., Yan, W., & Hu, F. (2023). Predictive Control Method of Reaming up in the Raise Boring Process Using Kernel Based Extreme Learning Machine. Processes, 11(1), 277. https://doi.org/10.3390/pr11010277

Karbasi, M., Ali, M., Bateni, S. M., Jun, C., Jamei, M., Farooque, A. A., & Yaseen, Z. M. (2024). Multi-step ahead forecasting of electrical conductivity in rivers by using a hybrid Convolutional Neural Network-Long Short-Term Memory (CNN-LSTM) model enhanced by Boruta-XGBoost feature selection algorithm. *Scientific reports*, *14*(1), 15051. https://doi.org/10.1038/s41598-024-65837-0

Keles, F. D., Wijewardena, P. M., & Hegde, C. (2023, February). On the computational complexity of self-attention. In *International conference on algorithmic learning theory* (pp. 597-619). PMLR.

Laib A, Ouagueni F, Herizi A, Djeriou S, Ahmed H, Chedjara Z, et al. (2026) Vibration-based bearing fault diagnosis in noisy conditions using matrix pencil mean frequency and multilayer perceptron neural networks. PLoS One 21(3): e0345870. https://doi.org/10.1371/journal.pone.034587

Leal A. S., L. C. d. C. Santos and L. Berton, "A Review of Aircraft Predictive Maintenance Techniques Via Machine Learning," in IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 41, no. 5, pp. 4-24, May 2026, doi: 10.1109/MAES.2026.3653904

Leng Jiewu, Tengliang Zhu, Jiahe Li, Baicun Wang, Bo Yang, Xinyu Li, Qiang Liu, Xin Chen, Lihui Wang, Liquid neural network in smart manufacturing: A new opportunity, Advanced Engineering Informatics, Volume 70, 2026, 104222, ISSN 1474-0346, https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.104222

Marukatat, S. (2023). Tutorial on PCA and approximate PCA and approximate kernel PCA. *Artificial Intelligence Review*, *56*(6), 5445. doi.org/ 10.1007/s10462-022-10297-z

Oh, S., Kang, U., Kim, J., Hwang, J., Bang, J. I., Lee, K., & Lee, S. (2025). Optimizing Reservoir Connectivity: A Path to High-Performance Liquid State Machines. Neurocomputing, 132037. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.132037

Tian, S., Qu, L., Wang, L., Hu, K., Li, N., & Xu, W. (2021). A neural architecture search based framework for liquid state machine design. Neurocomputing, 443, 174-182. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.02.076

Wan, Y., Wang, S., & Liu, D. (2025). Fault diagnosis using liquid state machine with spiking-timing-dependent plasticity learning rule. Expert Systems with Applications, 271, 126736. doi.org/10.1016/j.eswa.2025.126736

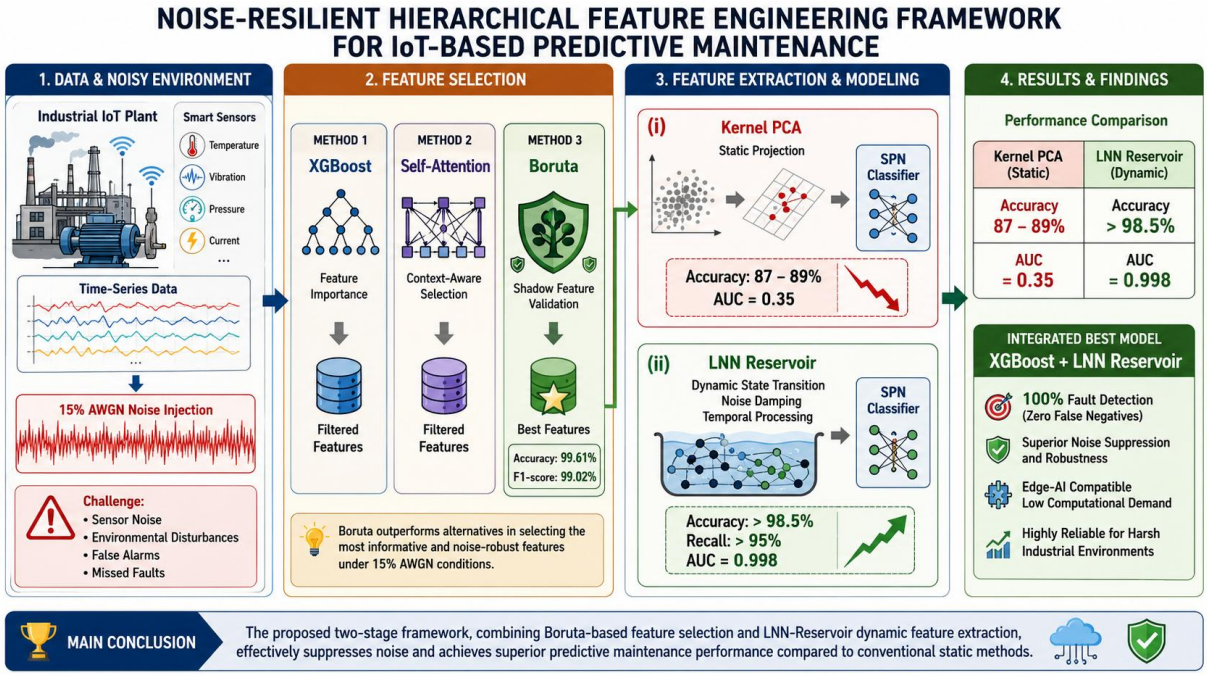
Weihong Wang, Xinwen Zhao, Tian Tan, Liming Zhang, MSMLPF: A multi-source fusion network with multi-level priori for imbalanced machinery fault diagnosis, Applied Soft Computing, Volume 191, 2026, 114588, ISSN 1568-4946, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2026.114588

Yuan X, Chen F., Z. Xia, L. Zhuang, K. Jiao, Z. Peng, B. Wang, R. Bucknall, K. Yearwood, Z. Hou, A novel feature susceptibility approach for a PEMFC control system based on an improved XGBoost-Boruta algorithm, Energy and AI, Volume 12, 2023, 100229, ISSN 2666-5468, https://doi.org/10.1016/j.egyai.2023.100229.

Yousefi, T., & Varlıklar, Ö. (2026). New hybrid multi-objective feature selection: Boruta-XGBoost. *PeerJ Computer Science*, *12*, e3463. doi.org/10.7717/peerj-cs.3463

Ziya07. (2024). IoT-integrated predictive maintenance dataset (Version 1) [Data set]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/ziya07/iot-integrated-predictive-maintenance-dataset

Appendix A. Graphical Abstract



BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ANALYZING OVER-ENGINEERING IN INDUSTRIAL PREDICTIVE MAINTENANCE: A COMPARATIVE EVALUATION OF FEATURE SELECTION AND DIMENSIONALITY REDUCTION APPROACHES

ENDÜSTRIYEL KESTIRIMCI BAKIMDA AŞIRI MÜHENDISLIK PROBLEMININ ANALIZI: ÖZELLIK SEÇIMI VE BOYUT İNDIRGEME YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESI

Assist.Prof.Dr. Narin Aslan
Firat University Faculty of Technology, Department of Mechatronic Engineering, 23200, Elazığ/Türkiye, ORCID NO: 0000-0002-7609-1557

Assist.Prof.Dr. Ayhan Altinors
Firat University Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, 23200 Elazığ/Turkiye, ORCID NO: 0000-0003-2036-7080

ÖZET

Dijital dönüşüm ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı endüstriyel uygulamaların ivme kazanması, modern üretim ekosistemlerinde üretilen sensör verilerinin boyutunu ve karmaşıklığını büyük oranda artırmıştır. Tesislerdeki operasyonel sürekliliği güvence altına almayı hedefleyen kestirimci bakım yaklaşımları, veri akışlarındaki mikro sapmaları proaktif olarak analiz ederek kritik bileşen arızalarını ve yüksek maliyetli üretim kayıplarını engellemede stratejik bir rol oynamaktadır. Ancak, çok boyutlu sensör sinyallerinin doğrudan işlenmesi, örüntü tanıma modellerinde yüksek hesaplama maliyetlerine ve aşırı öğrenme eğilimlerine zemin hazırlamaktadır. Bu durum, veri uzayındaki gürültüyü temizleyen ve boyut karmaşıklığını minimize eden özellik seçimi ile boyut indirgeme süreçlerini, model kararlılığı ve tahmin doğruluğu açısından zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, bir endüstriyel kestirimci bakım veri seti üzerinde "aşırı mühendislik" problemini ampirik olarak inceleyen detaylı ve metodolojik bir kıyaslama gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, istatistiksel bağımsızlığa dayanan Chi-Square ve özellikler arası bilgi tekrarını minimize edip hedef sınıfla uyumu maksimize eden Minimum Gereksizlik Maksimum Alaka Düzeyi (MGMA) algoritmaları kullanılarak ana özellik seçimi yapılmıştır. Filtrelenerek elde edilen bu veriler üç farklı senaryoda test edilmiştir: i) Özelliklerin doğrudan sınıflandırmaya sokulduğu "Saf" model, ii) Doğrusal boyut indirgeme sağlayan Temel Bileşenler Analizi (TBA) ve iii) Veriyi doğrusal olmayan dinamiklerle yüksek boyutlu hiper-uzaya haritalayan özgün bir güdümlü Sıvı Sinir Ağı (SSA) rezervuarı. Tüm senaryolarda karar mekanizması olarak aynı spiking nöral ağ sınıflandırıcısı standart şekilde kullanılmıştır. Geliştirilen modellerin kararlılığı 10-katlı çapraz doğrulama yöntemiyle test edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellik seçimi yöntemine göre boyut indirgeme algoritmalarının etkisinin dinamik olarak değiştiğini göstermiştir. İstatistiki bağımsızlığa dayanan Chi-Square grubunda SSA algoritması net bir üstünlük sergilemiştir; Chi-Square modelinin %98.39 olan doğruluk ve %98.06 olan kesinlik değerleri, SSA'nın doğrusal olmayan rezeruar haritalamasıyla sırasıyla %98.61 ve %98.87 seviyelerine yükselmiştir. Buna karşın, en yüksek sınıflandırma başarısı %98.94 doğruluk ve %99.40 kesinlik metrikleriyle MGMA modeliyle elde edilmiş, fakat bu grupta SSA kullanımı doğruluğu %98.39'a düşürmüştür. Sonuçlar; görece doğrusal ayrışımı zayıf özellik kümelerinde Chi-Square SSA'nın hiper-uzay haritalama gücünün performansı artırdığını, ancak hâlihazırda optimize edilmiş güçlü veri setlerinde MGMA ek algoritmaların gereksiz hesaplama yükü ve aşırı mühendislik nedeniyle başarım düşüşü yarattığını kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti (IoT), Sıvı Sinir Ağları (SSA), Minimum Gereksizlik Maksimum Alaka Düzeyi (MGMA), Chi-Square, Temel Bileşenler Analizi (TBA).

ABSTRACT

The acceleration of digital transformation and Internet of Things (IoT) based industrial applications has substantially increased the dimension and complexity of sensor data generated in modern production ecosystems. Predictive maintenance approaches, aiming to ensure operational continuity in facilities, play a strategic role in preventing critical component failures and high-cost production losses by proactively analyzing micro-deviations in data streams. However, the direct processing of multidimensional sensor signals paves the way for high computational costs and overfitting tendencies in pattern recognition models. This situation renders feature selection and dimensionality reduction processes, which filter noise in the data space and minimize dimensional complexity, mandatory for model stability and prediction accuracy. In this study, a detailed and methodological benchmarking that empirically examines the "over-engineering" problem on an industrial predictive maintenance dataset was conducted. In the first stage, primary feature selection was performed using Chi-Square, which is based on statistical independence, and Minimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR) algorithms, which minimize information redundancy between features and maximize alignment with the target class. These filtered data were evaluated across three distinct scenarios: i) the "Raw" model, in which features are directly fed into classification, ii) Principal Component Analysis (PCA), providing linear dimensionality reduction, and iii) an original guided Liquid Neural Network (LNN) reservoir that maps the data into a high-dimensional hyper-space with non-linear dynamics. In all scenarios, the same spiking neural network classifier was utilized in a standard manner as the decision mechanism. The stability of the developed models was validated using the 10-fold cross-validation method. The obtained findings demonstrated that the impact of dimensionality reduction algorithms varies dynamically depending on the feature selection method. In the Chi-Square group based on statistical independence, the LNN algorithm exhibited a clear superiority; the accuracy and precision values of the Raw Chi-Square model, which were 98.39% and 98.06% respectively, increased to 98.61% and 98.87%, respectively, through the non-linear reservoir mapping of LNN. On the other hand, the highest classification success was achieved by the MRMR model with metrics of 98.94% Accuracy and 99.40% Precision, however, the use of LNN in this group reduced the accuracy to 98.39%. The results prove that the hyper-space mapping power of Chi-Square LNN enhanced performance in feature sets with relatively weak linear separability; whereas in already optimized, robust datasets MRMR, additional algorithms caused a performance degradation due to unnecessary computational overhead and over-engineering.

Keywords: Predictive Maintenance, IoT (Internet of Things), Liquid Neural Networks (LNN), Minimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR), Chi-Square, Principal Component Analysis (PCA).

1. INTRODUCTION

Rapid advancement of digital transformation and Internet of Things (IoT)-based applications within industrial manufacturing ecosystems has significantly increased both the volume and structural complexity of sensor data generated in production facilities. Predictive maintenance approaches that proactively analyze micro-level deviations within these dynamic data streams play a strategic role in preventing critical component failures and avoiding costly operational downtime. However, directly feeding these high-dimensional sensor signals into artificial intelligence models not only leads to substantial computational costs for pattern recognition algorithms but also increases the risk of overfitting (Sundaram & Jayaprakas, 2025; Kaliyannan et. al., 2023).

Filtering irrelevant noise from the data space and minimizing dimensional complexity have become critical requirements for improving the stability and predictive capability of developed models. Although feature selection and dimensionality reduction techniques are widely employed in the literature to address this challenge, the application of additional complex algorithms to already

optimized feature sets may give rise to a phenomenon known as "over-engineering," which can ultimately result in performance degradation rather than improvement (Subramanian, 2022; Wu, 2025).

Jing et al. (2025), were proposed an integrated IoT-based framework for fault diagnosis and remaining life (RUL) estimation of aircraft hydraulic systems. Real-time sensor data is collected through a three-tier IoT architecture, while FMEA and FTA techniques are used to identify failure modes and analyze failure propagation mechanisms. An improved Kernel-PCA approach is employed to reduce data size while preserving critical degradation information. For RUL estimation, a two-stage prediction strategy combining STL decomposition, optimized ensemble learning, and a 1D-CNN–BiLSTM model is developed to capture both trend and residual features of the degradation process. Experimental results show that the proposed framework outperforms conventional methods, achieving RMSE and MAE values of 21.00 and 15.34, respectively. Wang et. al (2025) presented FreqMGCN-Net, a novel fault diagnosis method integrating IoT-enabled sensor networks for continuous data collection. A CNN enhanced with a frequency attention mechanism is used to extract fundamental frequency domain features from raw vibration signals. Additionally, the model integrates Multiple Parallel Graph Convolutional Networks (MGCN) and Semi-Supervised Meta-learning to process multi-sensor data from IoT devices and overcome challenges such as learning with a small number of examples and cross-domain generalization. Experimental results show that FreqMGCN-Net achieved 95.7% accuracy on the CWRU dataset and 93.4% on the Paderborn dataset, outperforming existing models in terms of accuracy, F1-Score, and recall. Olutimehin et. al. (2025) investigated the integration of artificial intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) technologies for predictive maintenance using the NASA C-MAPSS dataset. A quantitative methodology was employed, including transmission protocol analysis, cybersecurity assessment with an Isolation Forest-based Intrusion Detection System, scalability assessment in edge and cloud infrastructures, and predictive modeling with Long Short-Term Memory (LSTM) networks. The results show that MQTT achieved the lowest latency (50.21 ms), IDS reached an accuracy of 92.31%, edge systems supported up to 3352 MB before failure, and the LSTM model outperformed linear regression with an RMSE of 14.25 and an R^2 of 0.92. Yousuf et. al. (2024) developed an integrated system combining sensors, GSM communication, and a cloud-based Internet of Things (IoT) platform for condition monitoring and fault detection of AC induction motors. Experimental results showed that the system could detect anomalies in vibration, temperature, speed, three-phase current, and voltage parameters with high accuracy. The findings revealed that the proposed approach is effective in preventing motor failures by supporting predictive maintenance applications and provides reliable fault detection with a 99% accuracy rate. Elkateb et al. (2024) developed a real-time machine stop classification framework for knitting machines using machine learning techniques with AdaBoost as the primary classification algorithm. Machine operation data, including speed and pitch information, were collected and preprocessed before being fed into the learning model. The proposed approach is designed to define six different stop conditions: gate stop, feeder stop, needle stop, completed roll stop, idle stop, and lycra stop. To improve generalization performance, model parameters were optimized through hyper-parameter tuning and cross-validation procedures. Experimental results showed that the developed system achieved a classification accuracy of 92% on the test dataset. Li et. al. (2026) presented a "Multi-Sensor Cross-Scale Time-Frequency Network" model that combines multi-sensor data with regional variance-based wavelet methods for intelligent gear fault diagnosis and converts them into time-frequency images using EMD and WT techniques. This method, which extracts and classifies distinguishing features through cross-scale convolution and a deep separable structure with double residues, was tested on two different benchmark datasets. The developed model achieved a very high diagnostic accuracy of 99.70% in the original signals, while maintaining a high success rate of 94.06% even in challenging signals distorted by -6 dB Gaussian noise.

Purpose of study:

The primary objective of this study is to empirically investigate the effects of combining feature selection and dimensionality reduction techniques in industrial predictive maintenance systems and to determine the conditions under which additional preprocessing algorithms contribute to performance

improvement or lead to the phenomenon of over-engineering. Specifically, the study compares the classification effectiveness of the Chi-Square and MRMR feature selection methods and evaluates the impact of applying both linear PCA and nonlinear LNN dimensionality reduction approaches to the selected feature subsets. Through a comprehensive comparative analysis, the research aims to identify whether additional processing stages enhance predictive performance or introduce unnecessary computational complexity that ultimately degrades model accuracy and reliability.

2. MATERIALS AND METHODS

The methodology proposed in this study consists of preprocessing the data, applying two different feature selection methods, and then testing three different dimensionality reduction/mapping scenarios. A standard spiking neural network classifier was preferred as the decision mechanism in all scenarios, and model stability was tested with 10-fold cross-validation.

2.1. Materials

The dataset used in the study is a comprehensive dataset containing time-series sensor data obtained from machines in industrial production lines, designed for the purpose of developing predictive maintenance, anomaly detection, and equipment health monitoring models. Each record in this dataset, which simulates a real-time IoT sensor network, contains a timestamp, machine ID, and fundamental sensor measurements reflecting the operating status of the machine, such as vibration, acoustic signals, temperature, and electrical current. To better reflect the complex patterns of early-stage machine failures, the data is also decomposed and presented in the form of signal components called "Intrinsic Mode Functions" (IMF_1, IMF_2, IMF_3). All these features are paired with a binary label indicating whether the machine is healthy (0) or faulty (1), providing an ideal foundation for training and testing machine learning-based industrial fault detection systems (Ziya07, 2024).

2.2. Method

2.2.1. Z-score Normalization

Z-score normalization was applied to prevent the dominance of different scale features of the sensor data on the model. This process was performed using Equation 1 below, making the mean of the data 0 and the standard deviation 1:

$$X_{norm} = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{1}$$

here, X represents the original value, μ is the mean of the feature, and σ is its standard deviation (Aslan, 2025a).

2.2.2. Chi-Square (X^2) Feature Selection

This is a statistical method that measures how dependent each feature is on the target class. By calculating the difference between observed and expected frequencies, the features with the highest values are selected using the formula in Equation 2.

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \tag{2}$$

here, O_i represents the observed frequency value for the class, and E_i represents the expected frequency value under the assumption that the feature and the class are completely independent (Aslan, 2025b).

2.2.3. Minimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR)

It is a powerful information theory-based selection algorithm that aims to maximize the relevance of features to the target class while minimizing information duplication between features.

$$\max_{S}\left[\frac{1}{|S|}\sum_{f_i\in S} I\left(f_i;c\right)-\frac{1}{|S|^2}\sum_{f_i,f_j\in S} I\left(f_i;\,f_j\right)\right] \tag{3}$$

here, S represents the selected feature set, f_i and f_j are features, c is the target class, and I is the mutual information. The left side represents relevance, and the right side represents redundancy (Radovic, 2017)

2.2.4. Principal Component Analysis (PCA)

It is a dimensionality reduction technique that extracts new, uncorrelated linear components while preserving the high-dimensional basis of variance. It linearly reduces the complexity in predictive maintenance data. It is based on calculating the eigenvalue (λ) and eigenvector ($\boldsymbol{v}$) from the covariance matrix (C) of the data (Aslan, 2025b). It is calculated using Equations 4 and 5 below:

$$C=\frac{1}{n-1}X^T X \tag{4}$$

$$C\mathrm{v}=\lambda\mathrm{v} \tag{5}$$

2.2.5. Liquid Neural Network

It is a nonlinear, dynamic feature mapping and classification method. Input data is transferred to a hidden pool of neurons called a reservoir, which are interconnected with random weights. A spiking structure is used in this study (Aslan, 2025a). Here, energy accumulates in the reservoir, and when it exceeds a certain threshold, the neuron fires, producing a value of 1. Dynamic reservoir updating and firing are calculated using Equations 6 and 7 below:

$$S(t)=\alpha.S(t-1)+(X.W_{in}+S(t-1).W_{res}+b) \tag{6}$$

$$f(x)=\begin{cases}1, & if\ S(t)\geq\theta\\ 0, & if\ S(t)<\theta\end{cases} \tag{7}$$

here, $S(t)$ represents the instantaneous energy state of the reservoir, α the damping coefficient, θ the firing threshold, W_{in} the inlet weights, W_{res}, the in-reservoir weights, and X the feature vector.

3. EXPERIMENTAL FINDINGS

Examining the numerical data in Table 1, it is observed that the pure model, which achieved 98.39% accuracy, 98.06% precision, and 94.64% recall using the statistically based Chi-Square feature selection method, improved its performance across all metrics when integrated with nonlinear LNN reservoir mapping, reaching 98.61% accuracy, 98.87% precision, and 95.27% recall, making it the most successful architecture in the group. In contrast, when a linear dimensionality reduction algorithm, PCA, was applied to the same feature set, the model performance experienced a sharp decline, falling to 96.83% accuracy, 94.96% precision, and a significant loss of information in recall, which is the most critical metric for avoiding failures in predictive maintenance, dropping to 89.59%. This situation numerically confirms that the nonlinear complex patterns in industrial sensor data weaken fault detection capabilities when reduced with linear projections like PCA, while the LNN architecture optimizes classification success in data with weak linear separation capacity thanks to its hyper-space mapping power.

Table 1: Chi-Square Feature Selection and Size Reduction Classification Performance Metrics

Chi_Square			
Accuracy	**Precision**	**Recall**	**F1_Score**
98.39	98.06	94.64	96.18
Chi_Square - PCA			
96.83	94.96	89.59	96.89
Chi_Square - LNN			
98.61	98.87	95.27	96.89

Examining the performance graph in Figure 1, the success percentages of the dataset created using the Chi-Square feature selection method under three different scenarios are clearly visible.

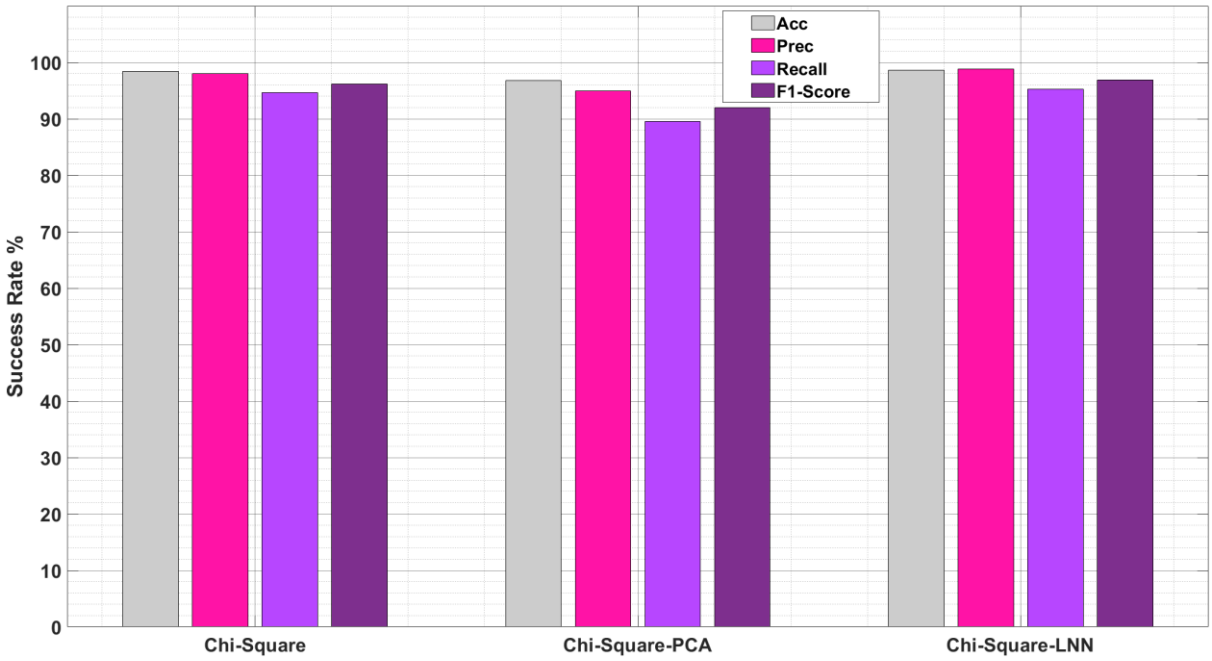


Figure 1: Comparative Bar Graph of Success Rates of Chi-Square Based Models

In the graphical distribution, it is observed that the pure Chi-Square model has a high baseline success line, but in the Chi-Square-LNN scenario where the data is mapped to high-dimensional hyperspace with nonlinear dynamics, all success bars reach their peak, especially the gray accuracy and pink precision columns. In contrast, in the Chi-Square-PCA model, which applies linear dimensionality reduction to the same feature set, a sharp decline is observed in all metric bars, especially the light purple recall and dark purple F1-score columns, which regress to their lowest levels in the graph. This visual change in the columns provides visual evidence that complex relationships in industrial predictive maintenance data suffer significant information loss when compressed with linear projections (PCA), while LNN reservoir mapping optimizes classification stability in this poorly discriminable data.

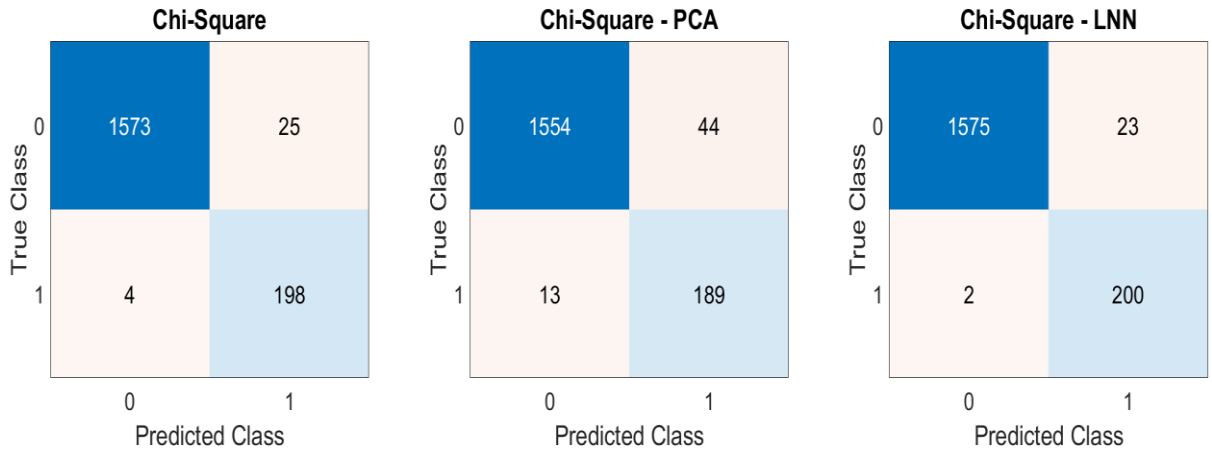


Figure 2: Complexity Matrices of Chi-Square Based Classification Models

Figure 2 shows that the pure Chi-Square model produces 1573 True Negative (TN) and 198 True Positive (TP) prediction values, along with 25 False Positive (FP) and 4 False Negative (FN) error margins. When nonlinear LNN reservoir mapping is applied, the optimization increases the TN value to 1575, the TP value to 200, false alarms (FP) to 23, and missed faults (FN), the riskiest element in predictive maintenance, to only 2. In contrast, in the PCA scenario applying linear dimensionality reduction to the same feature set, it is clearly observed that the accuracy rates decrease, false alarms (FP) increase to 44, and the number of missed critical faults (FN) rises to 13. This numerical distribution confirms that linear projection methods like PCA lead to significant information loss in industrial sensor data in datasets with relatively weak linear separation capacity, while the LNN architecture, thanks to its dynamic hyper-space mapping power, minimizes both false alarms and missed system failures, thereby maximizing the operational reliability of the decision-making process.

Table 2: Classification Performance Metrics of MRMR Feature Selection and Dimensionality Reduction Scenarios

MRMR			
Accuracy	**Precision**	**Recall**	**F1_Score**
98.94	99.40	96.15	97.65
MRMR - PCA			
97.00	96.22	90.62	92.96
MRMR - LNN			
98.39	98.82	93.86	96.06

When the performance data of the MRMR feature selection group is examined, it is seen that the "Pure MRMR" model, which is fed directly into the classifier without any additional dimensionality reduction or mapping, exhibits the highest classification success in the entire study with metrics of 98.94% accuracy, 99.40% precision, 96.15% recall, and 97.65% F1-score. When the linear dimensionality reduction method PCA is integrated into this already optimized and powerful feature set (MRMR - PCA), accuracy drops sharply to 97.00%, precision to 96.22%, and recall (indicating fault detection

capability) to 90.62%; while when the nonlinear hyper-space mapping algorithm LNN is included (MRMR - LNN), accuracy decreases to 98.39%, precision to 98.82%, recall to 93.86%, and F1-score to 96.06%. This apparent downward trend in numerical metrics empirically demonstrates that using additional layers or transformation algorithms on efficient datasets that minimize information redundancy and perfectly match the target class does not contribute positively to the system; on the contrary, it creates unnecessary computational complexity, leading to a disadvantage in model performance and loss of performance due to what is called "over-engineering" in the literature.

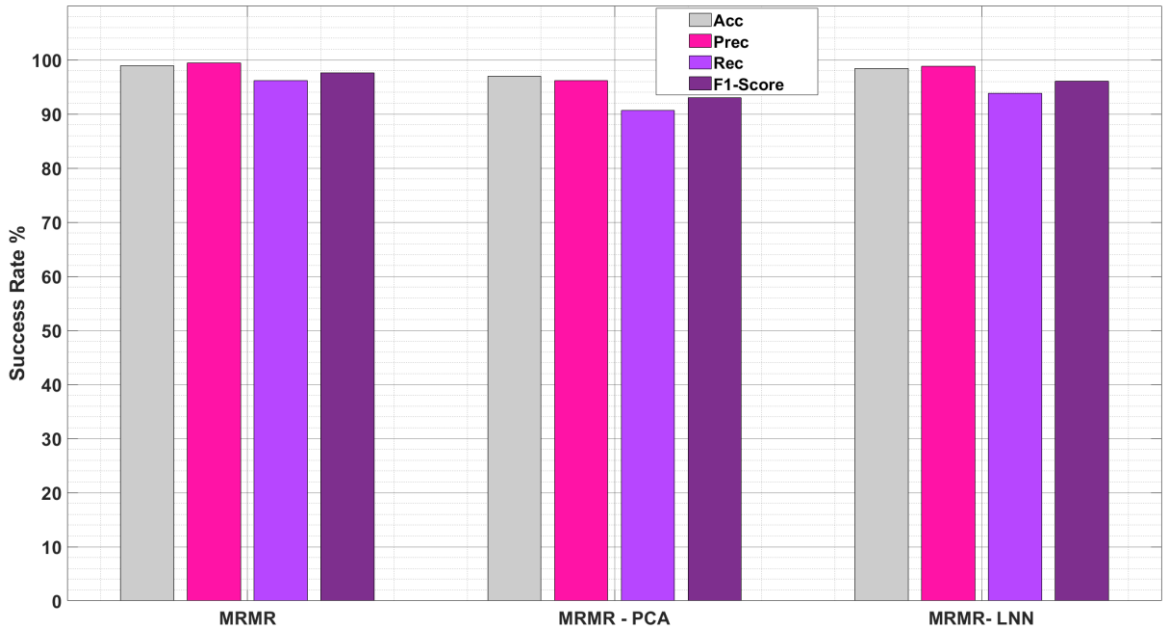


Figure 3: Comparative Bar Graph of Success Rates of MRMR-Based Models

When examining the performance graph of the MRMR based models presented in Figure 3, it is noticeable that the "Pure MRMR" model, which proceeds directly to classification after feature selection, achieves the highest and most balanced success level in the study, especially in terms of accuracy (gray) and precision (pink). However, when additional dimensionality reduction or mapping layers are added to this optimized dataset with minimized information redundancy, a downward trend is observed in all metric bars; particularly in the linear projection MRMR-PCA scenario, the light purple sensitivity (Recall) and dark purple F1-Score columns recede to the lowest levels of the graph, while in the MRMR-LNN model with nonlinear dynamics, the performance bars are clearly shorter compared to the pure model. This general downward trend in the graphical bars visually confirms that integrating algorithms that add complexity to a well-designed and already stable feature space does not contribute to predictive maintenance performance; on the contrary, it creates "over-engineering," weakening the system's distinctiveness and fault detection stability.

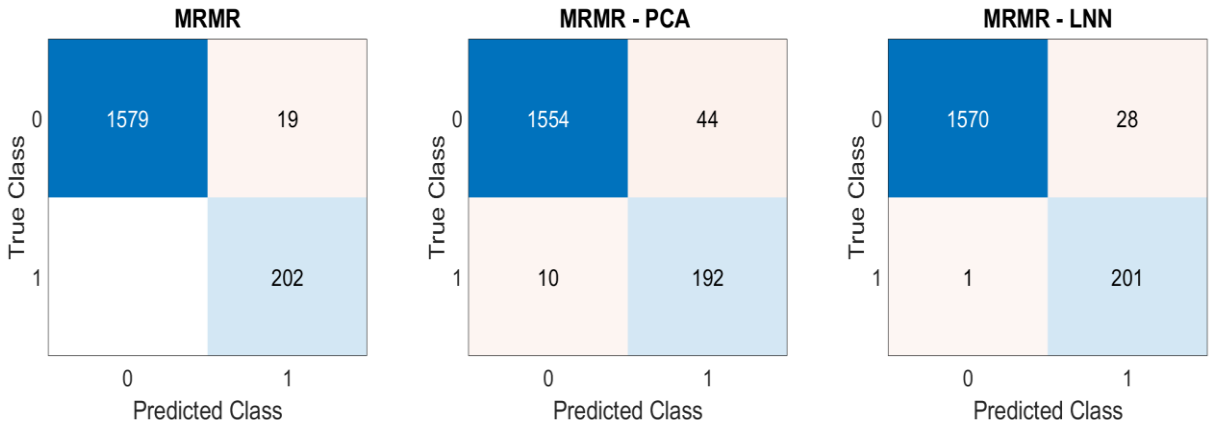


Figure 4: Complexity Matrices of MRMR-Based Classification Models

Figure 4 shows, through an examination of the complexity matrices, how adding dimensionality reduction or mapping algorithms to an already optimized dataset using the MRMR feature selection method negatively impacts classification decisions. The "Pure MRMR" model, without any additional processing, performs the classification task with the highest accuracy, predicting 1579 True Negatives (TN) and 202 True Positives (TP), while making only 19 False Positives (FP) and no False Negatives (FN), as shown in the diagram, demonstrating near-perfect stability. However, when PCA, which provides linear dimensionality reduction, is integrated into this robust dataset (MRMR-PCA), the number of correct decisions drops sharply, with the TN value decreasing to 1554 and the TP value to 192; false alarms increase to 44, and the number of missed faults (FN) rises to 10. Similarly, when the LNN algorithm, which maps the data to hyper-space using nonlinear dynamics (MRMR - LNN), was added, the success of the pure model could not be achieved; the TN value decreased to 1570, false alarms (FP) increased to 28, and the failure-missing error (FN) was 1. In conclusion, these matrix data empirically demonstrate that in stable datasets optimized with the MRMR algorithm, additional processing steps do not provide any performance gain; on the contrary, they disrupt the system, increasing the margin of error and downtime risks due to the "over-engineering" problem described in the literature.

Conclusion

In this study, the "over-engineering" problem encountered in the processing of IoT-based sensor data in industrial predictive maintenance was empirically analyzed under different feature selection and dimensionality reduction scenarios. The results of the LNN classifier, tested with 10-fold cross-validation, show that the model success is directly dependent on the structural characteristics of the dataset and the quality of the additional layers applied. In the Chi-Square feature set, which is based on statistical independence and has relatively weak linear decomposition capacity, the LNN reservoir mapping with nonlinear dynamics optimized the performance, increasing the accuracy from 98.39% to 98.61%, and reducing the operational risk of missed faults (FN) from 4 to 2. In contrast, the robust "Raw MRMR" model (98.94% accuracy, 99.40% precision, 0 FN errors), which minimizes information redundancy, ensures full compatibility with the target class, and already offers the highest performance, experienced a significant performance loss when manipulated with additional algorithms (PCA or LNN). In particular, the PCA application, a linear dimensionality reduction method, led to information loss in both feature sets (Chi-Square and MRMR), dramatically increasing the number of false alarms (FP) and missed faults (FN) in the error matrices. All these findings provide empirical evidence to the literature that not every additional layer or transformation algorithm guarantees success in predictive maintenance architectures; on the contrary, "over-engineering" steps in correctly designed and already

stabilized data spaces create unnecessary computational load, weakening the system's distinctiveness and operational safety.

REFERENCES

Aslan, N. (2025). A novel hybrid liquid neural network with time dependent neuromorphic and transformer encoder based reservoir dynamics for respiratory sound classification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *162*, 112728.

Aslan, N., Türker, M., Kaplan, F. A., & Koca, G. Ö. (2025) Classification of Sign Language Gestures Using Principal Component Analysis and Chi-Square Feature Selection Method, *7th International Black Sea Modern Scientific Research Congress*, 611-620.

Elkateb, S., Métwalli, A., Shendy, A., & Abu-Elanien, A. E. (2024). Machine learning and IoT–Based predictive maintenance approach for industrial applications. *Alexandria Engineering Journal*, *88*, 298-309.

Jing, Y., Yang, H., Jiao, J., Lu, C., & Dui, H. (2025). IoT-enhanced fault diagnosis and two-stage RUL prediction method for aircraft hydraulic systems based on sensor data. *IEEE Sensors Journal*.

Kaliyannan, G. V., Sri Anbupalani, M., Kandasamy, S., Sivaraj, S., & Gunasekaran, R. (2023). Role of IoT in industry predictive maintenance. *Integration of mechanical and manufacturing engineering with IoT: a digital transformation*, 191-213.

Li, J., Zhan, S., Guo, H., & Wu, Z. (2026). A Multi-sensor Cross scale Time–Frequency Network for intelligent gear fault diagnosis in noisy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *164*, 113292.

Olutimehin, A. T., Olaniyi, O. O., Popoola, A. D., Ogunmolu, A. M., & Kolo, F. H. O. (2025). AI and IoT integration for predictive maintenance and risk management in smart manufacturing. *Asian Journal of Research in Computer Science*, *18*(7), 120-142.

Radovic, M., Ghalwash, M., Filipovic, N., & Obradovic, Z. (2017). Minimum redundancy maximum relevance feature selection approach for temporal gene expression data. *BMC bioinformatics*, *18*(1), 9.

Subramanian, S. (2022). Integrating IoT and Manufacturing process for Real-Time Predictive Maintenance in High-Throughput Production Environments. *IoT and Edge Comp. J*, *2*(2), 1-36.

Sundaram, P., & Jayaprakash, M. (2025, October). Enhanced Fault Detection in Industrial Machines Using IoT-Integrated Deep Learning with Optimized Feature Extraction Techniques. In *2025 10th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 84-91). IEEE.

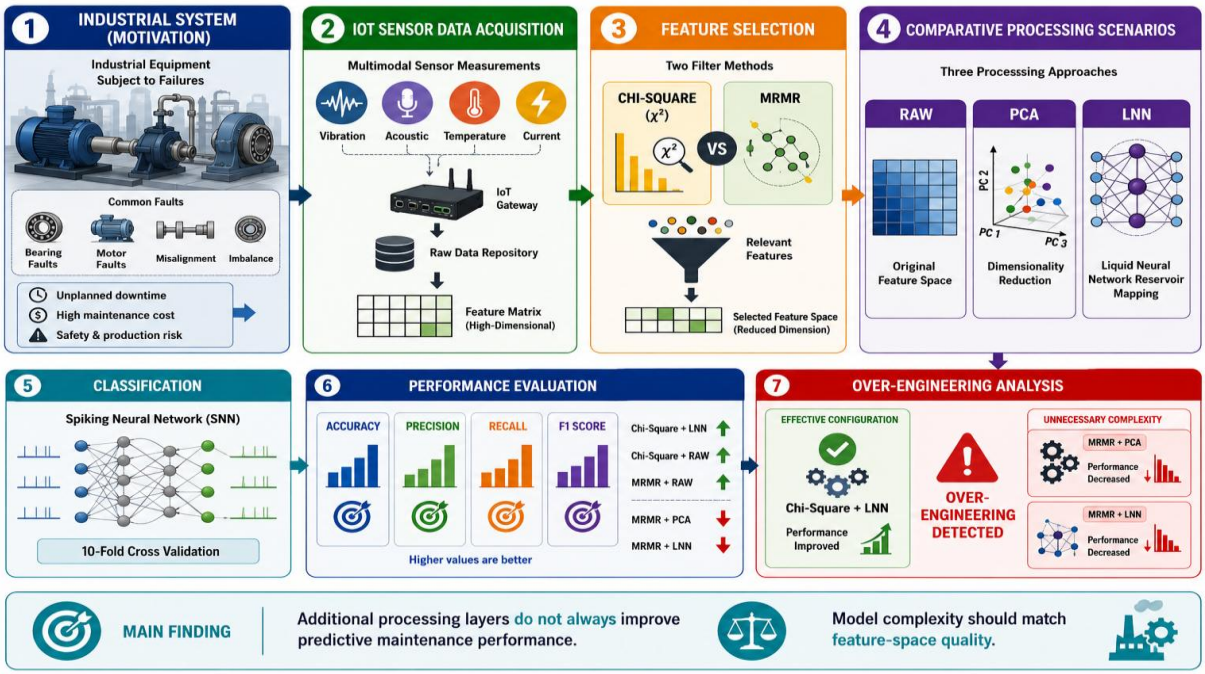
Yousuf, M., Alsuwian, T., Amin, A. A., Fareed, S., & Hamza, M. (2024). IoT-based health monitoring and fault detection of industrial AC induction motor for efficient predictive maintenance. *Measurement and Control*, *57*(8), 1146-1160.

Wang, J., Abdullah, S., Gao, C., Arifin, A., & Sing, S. S. K. (2025). FreqMGCN-Net: An IoT-Integrated Multi-Parallel Graph Convolutional Network with frequency attention for motor bearing fault diagnosis. *Alexandria Engineering Journal*, *128*, 175-185.

Wu, L., Li, B., Du, J., & Khalingarajah, H. (2025). AI-driven predictive analytics for sustainable cities and communities: Urban waste management in Bangkok. *Big data and computing visions*, *5*(3), 184-203.

Ziya07. (2024). *IoT-integrated predictive maintenance dataset* (Version 1) [Data set]. Kaggle.https://www.kaggle.com/datasets/ziya07/iot-integrated-predictive-maintenance-dataset

Appendix A. Graphical Abstract


1 INDUSTRIAL SYSTEM (MOTIVATION)
Industrial Equipment Subject to Failures
Common Faults
Bearing Faults
Motor Faults
Misalignment
Imbalance
Unplanned downtime
High maintenance cost
Safety & production risk
2 IOT SENSOR DATA ACQUISITION
Multimodal Sensor Measurements
Vibration
Acoustic
Temperature
Current
IoT Gateway
Raw Data Repository
Feature Matrix (High-Dimensional)
3 FEATURE SELECTION
Two Filter Methods
CHI-SQUARE (χ^2)
VS
MRMR
Relevant Features
Selected Feature Space (Reduced Dimension)
4 COMPARATIVE PROCESSING SCENARIOS
Three Processsing Approaches
RAW
PCA
LNN
Original Feature Space
PC 2
PC 1
PC 3
Dimensionality Reduction
Liquid Neural Network Reservoir Mapping
5 CLASSIFICATION
Spiking Neural Network (SNN)
10-Fold Cross Validation
6 PERFORMANCE EVALUATION
ACCURACY
PRECISION
RECALL
F1 SCORE
Higher values are better
Chi-Square + LNN
Chi-Square + RAW
MRMR + RAW
MRMR + PCA
MRMR + LNN
7 OVER-ENGINEERING ANALYSIS
EFFECTIVE CONFIGURATION
Chi-Square + LNN
Performance Improved
OVER-ENGINEERING DETECTED
UNNECESSARY COMPLEXITY
MRMR + PCA
Performance Decreased
MRMR + LNN
Performance Decreased
MAIN FINDING
Additional processing layers do not always improve predictive maintenance performance.
Model complexity should match feature-space quality.

AKILLI ŞEBEKELERDE ELEKTRİK HIRSIZLIĞI TESPİTİ İÇİN ZAMANSAL ÖZELLİK FÜZYONUNA DAYALI LORAS TABANLI HİBRİT BİR YAKLAŞIM

A LORAS-BASED HYBRID FRAMEWORK WITH TEMPORAL FEATURE FUSION FOR ELECTRICITY THEFT DETECTION IN SMART GRIDS

Ecenur BOYACI

Karabük Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Karabük, Türkiye

ORCID NO: 0009-0005-4969-2444

Prof. Dr. Hakan KUTUCU

Karabük Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Karabük, Türkiye

ORCID NO: 0000-0001-7144-7246

ÖZET

Elektrik hırsızlığı, akıllı şebekelerde teknik olmayan kayıpların başlıca nedenlerinden biridir. Bu durum, elektrik dağıtım şirketleri için ekonomik, operasyonel ve güvenilirlik açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Akıllı sayaç altyapılarının yaygınlaşmasıyla birlikte günlük elektrik tüketimi daha ayrıntılı biçimde izlenebilmekte ve bu kayıtlar veri odaklı yöntemlerle şüpheli tüketici davranışlarının tespitinde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, SGCC akıllı sayaç veri seti kullanılarak elektrik hırsızlığı tespiti için zamansal özellik füzyonuna dayanan LoRAS tabanlı hibrit bir makine öğrenmesi yaklaşımı önerilmektedir.

Veri seti, 42.372 tüketiciye ait 1.035 günlük elektrik tüketim kaydından oluşmaktadır. Hedef değişken normal tüketici ve hırsızlık/şüpheli tüketici sınıflarını içermektedir. Hırsızlık sınıfı orijinal veri dağılımının yalnızca %8.53'ünü oluşturduğundan problem dengesiz ikili sınıflandırma görevi olarak ele alınmıştır. Bu nedenle model performansı yalnızca doğruluk değeriyle değil, precision, recall, F1-score, ROC-AUC, PR-AUC, MCC ve confusion matrix sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir.

Önerilen yöntemde öncelikle eksik tüketim kayıtları ele alınmış ve veriler ölçeklendirilmiştir. Ardından azınlık sınıfının temsilini güçlendirmek amacıyla LoRAS tabanlı sentetik örnek üretimi uygulanmıştır. Daha sonra ham günlük tüketim kayıtları, zamansal-istatistiksel özelliklerle birleştirilmiştir. Bu özellikler; eksik değer oranı, sıfır tüketim davranışı, tüketim dağılımı, değişim eğilimleri, segment tabanlı istatistikler ve gecikmeli korelasyonları kapsamaktadır. Ayrıca CNN, LSTM ve CNN-LSTM modelleri iki şekilde test edilmiştir: bağımsız derin öğrenme sınıflandırıcıları olarak ve embedding üreticileri olarak. Elde edilen derin temsiller LightGBM modellerine aktarılmış ve ikinci ana model olarak validation-weighted hibrit ensemble yaklaşımı da denenmiştir. Böylece derin öğrenme temsilleri, zamansal tüketim davranışı ve boosting tabanlı sınıflandırma aynı çerçevede karşılaştırılmıştır.

Deneysel sonuçlar, ezberlemeyi kontrol etmek amacıyla düzenleme uygulayan, ayarlanmış LoRAS-TFF-LightGBM yapılandırmasıyla en iyi performansın elde edildiğini göstermektedir. Nihai model test kümesinde 0.9551 accuracy, 0.9733 precision, 0.9359 recall, 0.9542 F1-score, 0.9879 ROC-AUC ve 0,9904 PR-AUC değerlerine ulaşmıştır. Confusion matrix sonucuna göre model 7.553 normal tüketiciyi ve 7.254 hırsızlık/şüpheli tüketiciyi doğru sınıflandırmıştır. Öğrenme eğrisi ve düzenlileştirme analizleri, modelin güçlü tahmin performansı sağlarken genelleme davranışını da kontrollü biçimde koruduğunu göstermektedir. Genel olarak önerilen hibrit yapı; LoRAS tabanlı veri dengeleme, zamansal özellik füzyonu, derin temsil öğrenimi ve LightGBM sınıflandırmasını bir araya getirerek akıllı şebekelerde elektrik hırsızlığı tespiti için güçlü, pratik ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik hırsızlığı tespiti, SGCC, LoRAS, LightGBM, dengesiz sınıflandırma

ABSTRACT

Electricity theft is one of the major causes of non-technical losses in smart grids. It creates significant economic, operational, and reliability-related risks for electricity distribution utilities. With the widespread deployment of smart meter infrastructures, we can monitor daily electricity consumption in greater detail. We can also use these records to detect suspicious consumer behavior through data-driven methods. In this study, we propose a LoRAS-based hybrid machine learning approach with temporal feature fusion for electricity theft detection, using the SGCC smart meter dataset.

The dataset contains 1.035 daily electricity consumption values for 42.372 consumers. The target variable consists of normal and theft/suspicious consumer classes. Since the theft class represents only 8.53% of the original data distribution, we treat the problem as an imbalanced binary classification task. Therefore, we evaluate model performance not only by accuracy but also by precision, recall, F1-score, ROC-AUC, PR-AUC, MCC and confusion matrix results.

In the proposed methodology, we first handle missing consumption records and scale the data. We then apply LoRAS-based synthetic sample generation to strengthen the representation of the minority class. Next, we combine raw daily consumption records with temporal-statistical features. These features include the missing-value ratio, zero-consumption behavior, consumption distribution, variation trends, segment-based statistics, and lag correlations. We also test CNN, LSTM and CNN-LSTM models in two ways: as standalone deep learning classifiers and as embedding generators. We feed the extracted deep representations into LightGBM models, and we test a validation-weighted hybrid ensemble as a second main model. In this way, we compare deep learning representations, temporal consumption behavior and boosting-based classification in one framework.

Experimental results show that we obtain the best performance with our tuned LoRAS-TFF-LightGBM configuration, which applies regularization to control overfitting. This final model achieves 0.9551 accuracy, 0.9733 precision, 0.9359 recall, 0.9542 F1-score, 0.9879 ROC-AUC and 0.9904 PR-AUC on the test set. According to the confusion matrix, the model correctly classifies 7.553 normal consumers and 7.254 theft/suspicious consumers. Learning-curve and regularization analyses indicate that the model achieves strong predictive performance while maintaining controlled generalization. Overall, our hybrid framework combines LoRAS-based data balancing, temporal feature fusion, deep representation learning and LightGBM classification to deliver a robust, practical solution for electricity theft detection in smart grids.

Keywords: Electricity theft detection, SGCC, LoRAS, LightGBM, imbalanced classification

GİRİŞ

Elektrik dağıtım sistemlerinde kayıplar genel olarak teknik ve teknik olmayan kayıplar olarak sınıflandırılmaktadır. Teknik kayıplar hatlar, transformatörler ve diğer elektriksel ekipmanların fiziksel özelliklerinden kaynaklanırken teknik olmayan kayıplar elektrik hırsızlığı, sayaç manipülasyonu, yetkisiz bağlantılar, faturalama hataları ve ödeme problemleriyle ilişkilidir(Carr & Thomson, 2022). Bu kayıplar, dağıtım şirketleri için gelir kaybına, operasyonel verimsizliğe ve şebeke güvenilirliğinde düşüşe neden olabilmektedir (Council of European Energy Regulators, 2025).

Akıllı şebekeler ve gelişmiş ölçüm altyapıları, tüketici düzeyindeki elektrik tüketim davranışlarının daha ayrıntılı izlenmesini mümkün hale getirmiştir. Akıllı sayaç verileri, geleneksel saha denetimleriyle kolayca belirlenemeyen düzensiz tüketim örüntülerinin tespit edilmesi açısından önemli bir veri kaynağıdır. Tüketim örüntülerine dayalı elektrik hırsızlığı tespiti Zheng ve arkadaşlarının çalışmasıyla önemli bir araştırma alanı haline gelmiş, SGCC veri seti ise bu alanda yaygın kullanılan bir kıyaslama veri seti olmuştur (Zheng et al., 2018).

Bu problem; yüksek boyutlu, eksik değer içerebilen ve zaman serisi niteliği taşıyan tüketim kayıtlarıyla çalışılmasını gerektirdiği için zordur. Ayrıca hırsızlık sınıfının azınlıkta olması ve tüketici davranışlarının düzensizliği model eğitimini güçleştirmektedir. Bu nedenle yalnızca accuracy değerine dayalı değerlendirme yanıltıcı olabilir; çoğunluk sınıfını iyi öğrenen bir model yüksek doğruluk elde ederken hırsızlık sınıfını yeterince yakalayamayabilir (Ibrahem et al., 2021; Khan, 2020). Bu çalışmada bu nedenle accuracy ile precision, recall, F1-score, ROC-AUC, PR-AUC ve MCC metrikleri de değerlendirilmiştir.

Literatürde klasik makine öğrenmesi, boosting tabanlı sınıflandırıcılar, topluluk öğrenmesi yaklaşımları ve derin öğrenme modelleri elektrik hırsızlığı tespiti için yaygın biçimde kullanılmaktadır. AdaBoost ve Random Forest gibi topluluk yöntemleri güçlü temel yaklaşımlar sunarken, XGBoost ve LightGBM gibi gradyan artırma yöntemleri yüksek boyutlu tablosal verilerde etkili sonuçlar üretebilmektedir (Irfan et al., 2022; Ke et al., 2017). CNN, LSTM ve CNN-LSTM mimarileri günlük tüketim dizilerindeki yerel ve ardışık örüntüleri öğrenmek için kullanılmaktadır. Güncel çalışmalar bu mimarileri LoRAS, encoder-decoder yapıları ve hibrit topluluk modelleriyle birlikte değerlendirmektedir (Elshennawy et al., 2025; Hasan et al., 2019; Kumawat, 2024; Nirmal et al., 2024; Shahzadi, 2024). Bunun yanında SMOTE ve LoRAS gibi sentetik örnek üretme yaklaşımları, dengesiz sınıflandırma problemlerinde azınlık sınıfının daha iyi temsil edilmesine katkı sağlamaktadır (Bej et al., 2021).

Bu çalışmanın amacı, SGCC veri seti üzerinde LoRAS tabanlı azınlık sınıfı artırımı, zamansal-istatistiksel özellik füzyonu, derin temsil öğrenimi ve LightGBM tabanlı sınıflandırmayı birleştiren kaynaklarla karşılaştırılabilir bir hibrit elektrik hırsızlığı tespit çerçevesi geliştirmektir. Güncel elektrik hırsızlığı tespiti çalışmaları makine öğrenmesi, derin öğrenme, optimizasyon ve açıklanabilirlik bileşenlerini birlikte ele alma eğilimindedir (Abro et al., 2025; Iftikhar et al., 2024; Javaid et al., 2025; Kabir, 2025; Lepolesa et al., 2022). Bu çalışmanın temel katkısı; tek bir model sonucunu raporlamak yerine derin öğrenme, derin temsil + boosting, LoRAS ile dengelenmiş LightGBM ve olasılık düzeyi hibrit topluluk yapılarını aynı deneysel çerçevede karşılaştırmasıdır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

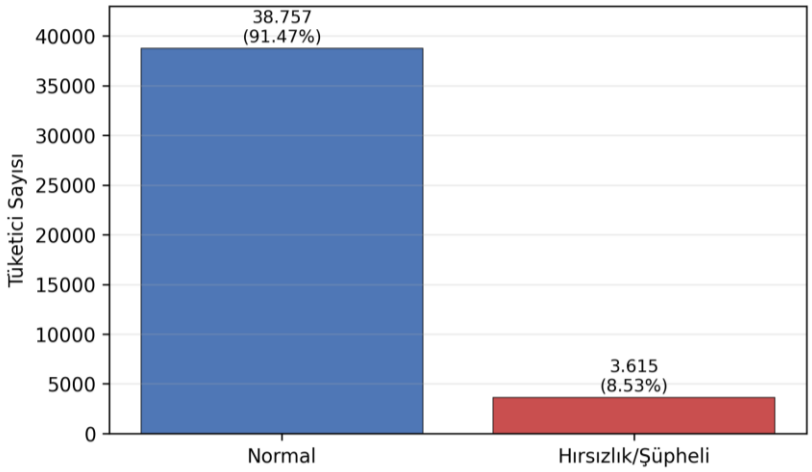
Veri Seti ve Deneysel Düzen

Çalışmada SGCC Electricity Theft Detection Dataset kullanılmıştır. Veri seti 42.372 elektrik tüketicisini ve her tüketici için 1.035 günlük elektrik tüketim kaydını içermektedir. Hedef değişken FLAG olup 0 normal tüketicileri, 1 ise hırsızlık/şüpheli tüketicileri göstermektedir. Tüketici kimlik bilgisi olan CONS_NO sütunu, tüketim davranışına ilişkin doğrudan tahmin edici bilgi taşımadığı için model girdilerinden çıkarılmıştır.

Orijinal veri seti yüksek oranda dengesizdir. Normal tüketiciler 38.757 kişi ile veri setinin %91.47'sini, hırsızlık/şüpheli tüketiciler ise 3.615 kişi ile %8.53'ünü oluşturmaktadır. Deneysel değerlendirme, güncel LoRAS tabanlı SGCC çalışmalarıyla karşılaştırma yapabilmek amacıyla kaynaklarla karşılaştırılabilir dengelenmiş veri düzeninde gerçekleştirilmiştir. Bu düzende LoRAS tabanlı sentetik örnek üretimi kullanılarak azınlık sınıfının temsili güçlendirilmiştir. Buna ek olarak geliştirme sürecinde daha sıkı bir split-first düzeni de dikkate alınmıştır. Bu düzende veri önce eğitim ve test kümelerine ayrılıp sonrasında veri artırımı yalnızca eğitim verisine uygulanmaktadır. Bu nedenle raporlanan sonuçlar doğrudan saha performansı tahmini olarak değil, kaynaklarla karşılaştırılabilir deneysel sonuçlar olarak yorumlanmalıdır.

Tablo 1. SGCC veri setinin genel özellikleri

Özellik	Açıklama
Veri seti	SGCC Electricity Theft Detection Dataset
Veri tipi	Akıllı sayaç günlük elektrik tüketimi
Tüketici sayısı	42.372
Günlük kayıt sayısı	1.035
Hedef değişken	FLAG
Normal sınıf	38.757 tüketici (%91.47)
Hırsızlık/şüpheli sınıf	3.615 tüketici (%8.53)

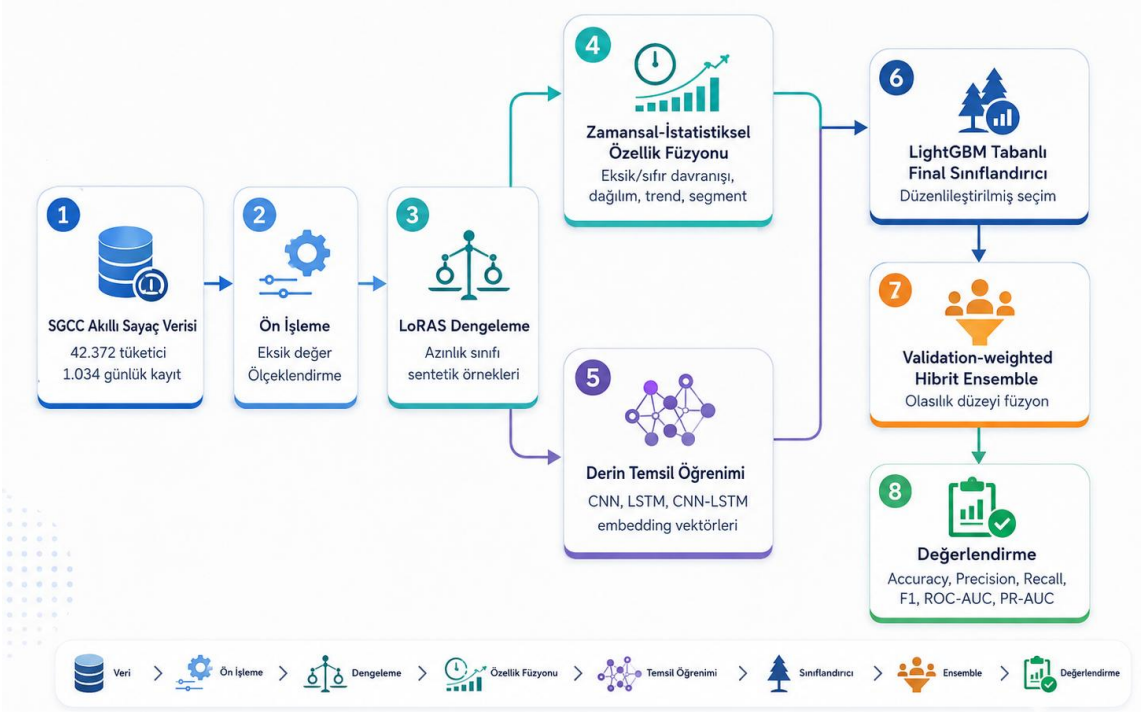


Şekil 4. Orijinal SGCC veri setinde sınıf dağılımı.

Önerilen Hibrit Yaklaşım

Önerilen yaklaşım üç temel temsil türünü değerlendirmiştir. İlk temsil türü ham günlük tüketim kayıtlarından oluşmaktadır. İkinci temsil türü, eksik ve sıfır tüketim davranışı, merkezi eğilim, dağılım, değişim örüntüleri, segment istatistikleri, takvim özetleri ve gecikmeli korelasyonlar gibi zamansal-istatistiksel özellikleri içermektedir. Üçüncü temsil türü ise CNN, LSTM ve CNN-LSTM modellerinden çıkarılan derin temsil vektörlerinden oluşmaktadır.

Model kümesinde ana model olarak LoRAS-TFF-LightGBM, ikinci ana model olarak doğrulama başarısına göre ağırlıklandırılmış hibrit modeli kullanılmıştır. CNN, LSTM ve CNN-LSTM modelleri ise hem bağımsız sınıflandırıcılar hem de derin temsil üreticileri olarak değerlendirilmiştir. Embedding + LightGBM varyantları, derin temsillerin zamansal-istatistiksel özelliklerle birleştirildiğinde boosting tabanlı sınıflandırıcıya ne ölçüde katkı sağladığını incelemek amacıyla test edilmiştir.



Şekil 5. Elektrik hırsızlığı tespiti için önerilen hibrit iş akışı

Tablo 2. Çalışmada kullanılan model aileleri

Model	Çalışmadaki Rolü	Seçilme Nedeni
LoRAS-TFF-LightGBM	Ana model	Dengesizlik giderme, zamansal özellikler ve verimli boosting sınıflandırmasını birleştirir
Validation weighted hybrid	İkinci ana model	Model olasılık çıktılarını doğrulama F1-score değerlerine göre ağırlıklandırır
CNN	Bağımsız derin model / derin temsil kaynağı	Yerel zamansal tüketim örüntülerini öğrenir
LSTM	Bağımsız derin model / derin temsil kaynağı	Günlük tüketim kayıtlarındaki ardışık bağımlılıkları öğrenir
CNN-LSTM	Bağımsız derin model / derin temsil kaynağı	Yerel örüntü çıkarımı ve sıralı modellemeyi birleştirir
Embedding + LightGBM	Hibrit alternatif	Derin temsilleri boosting tabanlı sınıflandırma ile kullanır

Değerlendirme Metrikleri

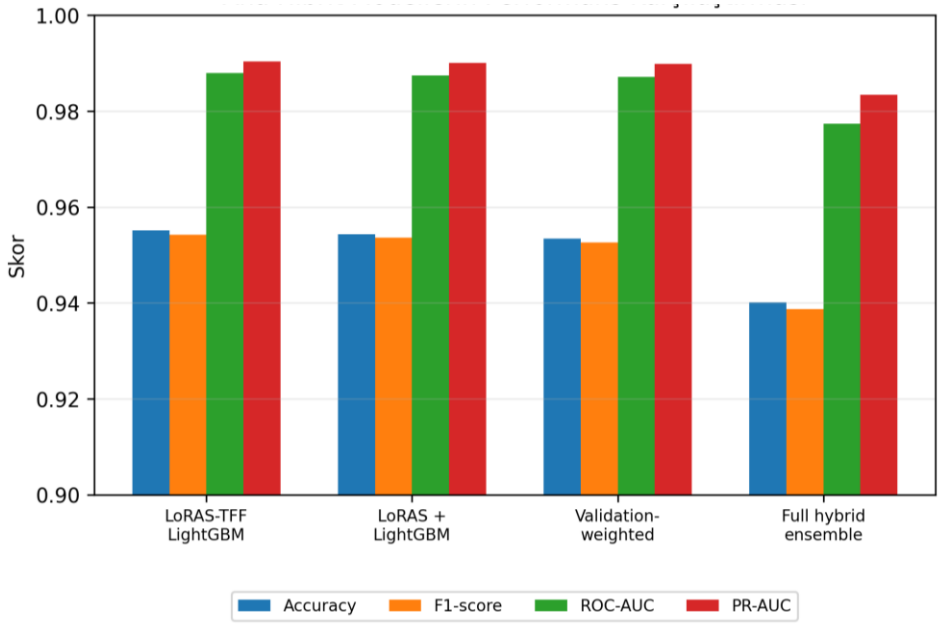
Modeller accuracy, precision, recall, F1-score, ROC-AUC, PR-AUC, MCC ve hata matrisi ile değerlendirilmiştir. Elektrik hırsızlığı tespitinde veri dengesiz olduğu için accuracy tek başına yanıltıcıdır. Precision yanlış alarm maliyetini, recall hırsızlık/şüpheli tüketicileri yakalama başarısını, F1-score ise bu iki hedef arasındaki dengeyi göstermektedir. ROC-AUC ve PR-AUC metrikleri de eşik değerinden bağımsız ayrıştırma gücünü ve pozitif sınıf performansını incelemek için kullanılmıştır.

Model Karşılaştırmaları ve Bulgular

Nihai model karşılaştırması Tablo 3'te verilmiştir. En iyi performans, LoRAS-TFF-LightGBM hibrit modeliyle elde edilmiştir. Bu model literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılabilir dengelenmiş veri düzeninde 0.9551 accuracy ve 0.9542 F1-score değerine ulaşmıştır. Literatürde bulunan LoRAS + LightGBM çalışmalarıyla karşılaştırıldığında önerilen model F1-score, ROC-AUC ve PR-AUC değerlerinde küçük ancak tutarlı bir iyileşme sağlamıştır.

Tablo 3. Kaynaklarla karşılaştırılabilir hibrit modellerin performans sonuçları

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC	PR-AUC
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,029)	0.9551	0.9733	0.9359	0.9542	0.9879	0.9904
Literatürdeki LoRAS + LightGBM çalışması	0.9543	0.9688	0.9388	0.9536	0.9874	0.9901
Doğrulama ağırlıklı hibrit topluluk	0.9534	0.9684	0.9373	0.9526	0.9871	0.9899
Tam hibrit topluluk	0.9401	0.9616	0.9169	0.9387	0.9774	0.9834
LSTM derin temsil + LightGBM	0.9323	0.9585	0.9038	0.9303	0.9755	0.9811
CNN-LSTM derin temsil + LightGBM	0.9321	0.9571	0.9048	0.9302	0.9755	0.9812
CNN derin temsil + LightGBM	0.9314	0.9604	0.9000	0.9292	0.9752	0.9810



Şekil 6. Ana hibrit modellerin performans karşılaştırması

Bağımsız CNN, LSTM ve CNN-LSTM modelleri en güçlü final sınıflandırıcılar olmamıştır. Bu modeller hırsızlık/şüpheli tüketicilerin önemli bir kısmını tespit edebilmiş olsa da precision değerleri LightGBM tabanlı hibrit modellere göre daha düşük kalmıştır. Bu nedenle derin modeller karar verici yöntem olarak kullanılmak yerine özellik çıkarıcı olarak kullanılmıştır. CNN, LSTM ve CNN-LSTM modellerinin öğrendiği derin temsil özellikleri zamansal-istatistiksel özelliklerle birleştirilip LightGBM ile sınıflandırıldığında performans belirgin şekilde artmıştır. Bu bulgu, ilgili veri setinde derin modellerin bağımsız final sınıflandırıcı olmaktan çok temsil öğrenimi bileşeni olarak daha faydalı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Derin öğrenme, derin temsil ve hibrit modellerin ayrıntılı karşılaştırması

Model	Temsil	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
Validation weighted hybrid	Weighted olasılıklı ensemble	0.9534	0.9684	0.9373	0.9526	0.9871
Full hybrid ensemble	Deep + embedding olasılıkları	0.9401	0.9616	0.9169	0.9387	0.9774
LSTM embedding + LightGBM	Deep embedding + temporal features	0.9323	0.9585	0.9038	0.9303	0.9755
CNN-LSTM embedding + LightGBM	Deep embedding + temporal features	0.9321	0.9571	0.9048	0.9302	0.9755
CNN embedding+ LightGBM	Deep embedding + temporal features	0.9314	0.9604	0.9000	0.9292	0.9752
Deep soft voting	CNN/LSTM/CNN-LSTM ortalama olasılıkları	0.6319	0.5866	0.8932	0.7081	0.7507
CNN-LSTM	LoRAS ile dengelenmiş günlük tüketim dizisi	0.5623	0.5351	0.9497	0.6845	0.6553
CNN	LoRAS ile dengelenmiş günlük tüketim dizisi	0.5637	0.5362	0.9430	0.6837	0.6778
LSTM	LoRAS ile dengelenmiş günlük tüketim dizisi	0.5000	0.5000	1.0000	0.6666	0.5915

Düzenlileştirme ve Genelleme Kontrolü

Nihai LightGBM tabanlı modelin kararlılığını değerlendirmek amacıyla düzenleme ve genelleme kontrolleri yapılmıştır. LoRAS ile dengelenmiş veri üzerinde boosting tabanlı modeller yüksek sınıflandırma başarısı gösterebilse de modelin yalnızca eğitim verisine uyum sağlayıp sağlamadığının ayrıca incelenmesi gerekir. Bu nedenle aşırı uyum/ezber kontrolü, modelin yalnızca eğitim verisine gereğinden fazla özelleşmesini önlemek ve farklı veri bölümlerinde benzer bir performans sergileyip sergilemediğini görmek için temel bir değerlendirme adımı olarak ele alınmıştır. Literatürde de aşırı uyumun azaltılması ve modelin genelleme yeteneğinin korunması, özellikle derin öğrenme ve hibrit modelleme süreçlerinde önemli bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir.

Elde edilen doğrulama ve test sonuçlarının birbirine yakın olması, modelde belirgin bir doğrulama-test aşırı uyumu olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, öğrenme eğrilerinde eğitim ve doğrulama sonuçları arasında görülen farkı azaltmak için daha düşük öğrenme oranları ve hafif düzenlileştirme değerleri denenmiştir. Bu kontroller sonucunda final model, yalnızca sınıflandırma başarısı açısından değil, farklı veri bölümlerinde daha dengeli ve kararlı sonuçlar verebilmesi açısından da değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Öğrenme oranı farklılaştırılmış düzenlileştirilmiş LightGBM model seçimi sonuçları

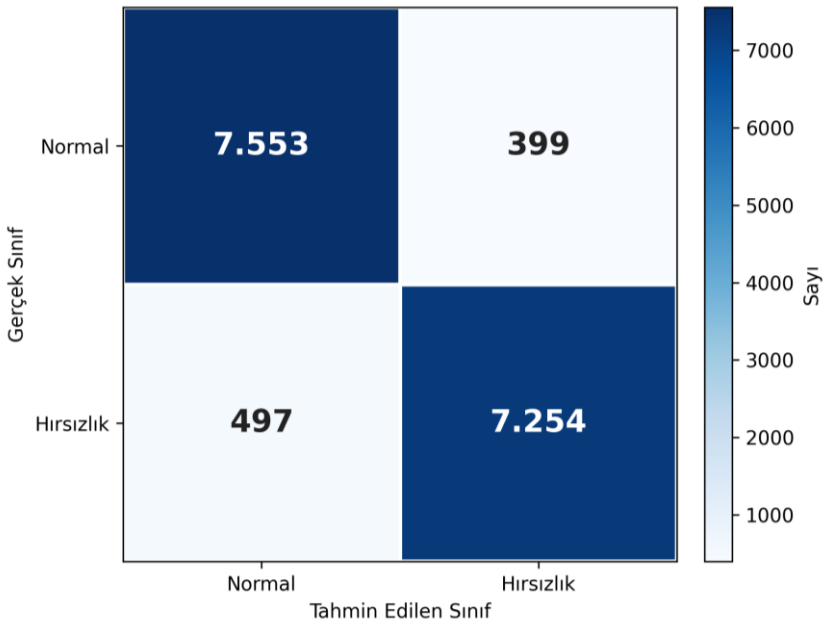
Model (learning rate)	Logloss gap	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC	PR-AUC
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,029)	0.1044	0.9551	0.9733	0.9359	0.9542	0.9879	0.9904
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,031)	0.1051	0.9552	0.9773	0.9320	0.9541	0.9878	0.9904
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,027)	0.1016	0.9549	0.9738	0.9350	0.9540	0.9876	0.9902
Literatürdeki LoRAS-LightGBM modeli	0.1048	0.9543	0.9688	0.9388	0.9536	0.9874	0.9901
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,033)	0.1050	0.9542	0.9676	0.9399	0.9535	0.9876	0.9902
LoRAS-TFF-LightGBM (lr=0,025)	0.0959	0.9526	0.9666	0.9376	0.9519	0.9871	0.9899

0.029 öğrenme oranına sahip LoRAS-TFF-LightGBM modeli, test performansı ve genelleme davranışı arasında en dengeli sonucu verdiği için final model olarak seçilmiştir. 0.027 öğrenme oranına sahip varyant daha düşük logloss farkı üretmiş olsa da genel tahmin başarısı, final modele kıyasla sınırlı ölçüde daha düşük kalmıştır. Bu nedenle bu varyant, nihai model yerine düzenlileştirmenin model davranışı üzerindeki etkisini görmek açısından yararlı bir karşılaştırma noktası olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Nihai LoRAS-TFF-LightGBM modelinin seçilen hiperparametreleri

Parametre	Değer
n_estimators	1180
learning_rate	0.029
num_leaves	60
max_depth	8
min_child_samples	62
subsample	0.91
colsample_bytree	0.88
reg_alpha	0.20
reg_lambda	1.20
min_split_gain	0.01
subsample_freq	1
threshold	0.385

Final modelin hata matrisi, dengelenmiş test kümesinde modelin 7.553 normal tüketiciyi ve 7.254 hırsızlık/şüpheli tüketiciyi doğru sınıflandırdığını göstermektedir. Yanlış pozitif ve yanlış negatif sayılarının görece düşük düzeyde kalması, Tablo 3'te verilen precision ve recall değerlerini desteklemektedir.



Şekil 7. Final LoRAS-TFF-LightGBM modeline ait hata matrisi

SONUÇ

Bu çalışmada, akıllı şebekelerde elektrik hırsızlığı tespiti için LoRAS tabanlı hibrit bir modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen LoRAS-TFF-LightGBM modeli; azınlık sınıfının LoRAS ile güçlendirilmesini, zamansal-istatistiksel özelliklerin çıkarılmasını ve LightGBM tabanlı sınıflandırmayı aynı yapı içinde birleştirmektedir. Deneysel bulgular, dengelenmiş veri düzeninde en başarılı ve dengeli sonucun düzenlileştirilmiş LoRAS-TFF-LightGBM modeliyle elde edildiğini göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, bu problemde en güçlü yaklaşımın bağımsız CNN, LSTM veya CNN-LSTM sınıflandırıcıları olmadığını ortaya koymuştur. Bu derin öğrenme modelleri hırsızlık/şüpheli tüketicilerin önemli bir bölümünü tespit edebilse de precision ve F1-score değerleri LightGBM tabanlı hibrit modellere göre daha düşük kalmıştır. Buna karşılık, derin öğrenme modellerinden elde edilen temsil özellikleri zamansal-istatistiksel özelliklerle birleştirilip boosting tabanlı bir sınıflandırıcıya aktarıldığında daha etkili ve dengeli sonuçlar alınmıştır. Bu durum, derin öğrenme modellerinin bu çalışmada doğrudan karar verici olmaktan çok, tüketim verisindeki gizli örüntüleri çıkaran bir özellik çıkarıcı olarak daha faydalı olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın önemli bir sınırlılığı, ana deneysel sonuçların LoRAS ile dengelenmiş veri düzeni üzerinde raporlanmış olmasıdır. Bu düzen, güncel LoRAS tabanlı çalışmalarla karşılaştırma yapmayı kolaylaştırsa da LoRAS artırımı eğitim, doğrulama ve test ayrımından önce uygulandığı için veri bölmeleri arasında sentetik örnek benzerliği oluşma olasılığını tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar doğrudan gerçek saha performansı olarak değil, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılabilir deneysel performans olarak değerlendirilmelidir.

Gelecek çalışmalarda önerilen çerçeve birkaç yönden geliştirilebilir. İlk olarak LoRAS parametreleri daha sistematik biçimde optimize edilebilir. Ayrıca daha gerçekçi bir genelleme değerlendirmesi için önce veri bölme işleminin yapıldığı, ardından LoRAS'ın yalnızca eğitim verisine uygulandığı split-first bir deney düzeni kurulabilir. Bunun yanında transformer veya temporal convolutional network gibi güncel zaman serisi mimarileri denenebilir. Son olarak, SHAP ya da LIME gibi açıklanabilir yapay zekâ yöntemleriyle model kararlarının daha yorumlanabilir hale getirilmesi mümkündür. Bu tür çalışmalar, modelin daha zorlu ve saha koşullarına daha yakın senaryolarda performansını koruyup koruyamadığını göstermenin yanı sıra, hırsızlık/şüpheli tüketim kararlarında hangi tüketim dönemlerinin ve davranış özelliklerinin daha belirleyici olduğunu ortaya koymaya katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abro, S. A., Laghari, J. A., & Memon, S. A. (2025). Non-technical loss detection in power distribution networks using machine learning. *Scientific Reports*, *15*, 36189.

Bej, S., Davtyan, N., Wolfien, M., Nassar, M., & Wolkenhauer, O. (2021). LoRAS: An oversampling approach for imbalanced datasets. *Machine Learning*, *110*, 279–301.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, *45*, 5–32.

Carr, D., & Thomson, M. (2022). Non-technical electricity losses. *Energies*, *15*(6), 2218. https://doi.org/10.3390/en15062218

Chawla, N. V, Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, *16*, 321–357.

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.

Council of European Energy Regulators. (2025). *3rd CEER report on power losses*. https://www.ceer.eu/publication/3rd-ceer-report-on-power-losses/

Elshennawy, N. M., Ibrahim, D. M., & Gab Allah, A. M. (2025). An efficient electricity theft detection based on deep learning. *Scientific Reports*, *15*, 12866. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93140-z

Hasan, M. N., Toma, R. N., Nahid, A. A., Islam, M. M. M., & Kim, J. M. (2019). Electricity theft detection in smart grid systems: A CNN-LSTM based approach. *Energies*, *12*(17), 3310.

Ibrahem, M. I., Nabil, M., Fouda, M. M., Mahmoud, M., Alasmary, W., & Alsolami, F. (2021). Efficient privacy-preserving electricity theft detection with dynamic billing and load monitoring for AMI networks. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(2), 1243–1258. https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3026692

Iftikhar, H., Khan, N., Raza, M. A., Abbas, G., Khan, M., Aoudia, M., Touti, E., & Emara, A. (2024). Electricity theft detection in smart grid using machine learning. *Frontiers in Energy Research*, *12*.

Irfan, M., Ayub, N., & Althobiani, F. (2022). Energy theft identification using AdaBoost ensembler in the smart grids. *Computers, Materials & Continua*, *72*(1), 2141–2158.

Javaid, N., Hasnain, M., & Ammar, M. (2025). An AI explained data-driven framework for electricity theft detection with optimized and active machine learning. *Applied Energy*, *401*, 126632. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126632

Jokar, P., Arianpoo, N., & Leung, V. C. M. (2016). Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *7*(1), 216–226. https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2425222

Kabir, M. (2025). *Optimized ensemble learning and explainable artificial intelligence for electricity theft detection using SGCC and PRECON datasets*.

Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T. Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *30*.

Khan, Z. A. (2020). Electricity theft detection using supervised learning techniques on smart meter data. *Sustainability*, *12*(19), 8023. https://doi.org/10.3390/su12198023

Kumawat, M. (2024). Integrated encoder-decoder-based wide and deep convolution neural networks strategy for electricity theft arbitration. *Journal of Engineering and Applied Science*, *71*, 94. https://doi.org/10.1186/s44147-024-00428-4

Lepolesa, L. J., Achari, S., & Cheng, L. (2022). Electricity theft detection in smart grids based on deep neural network. *IEEE Access*, *10*, 39638–39655. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166146

Nirmal, S., Patil, P., & Kumar, J. R. R. (2024). CNN-AdaBoost based hybrid model for electricity theft detection in smart grid. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, *7*, 100452.

Shahzadi, S. (2024). A novel data driven approach for combating energy theft in urbanized smart grids using artificial intelligence. *Expert Systems with Applications*, *253*, 124182.

Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, *15*, 1929–1958.

Zheng, Z., Yang, Y., Niu, X., Dai, H. N., & Zhou, Y. (2018). Wide and deep convolutional neural networks for electricity-theft detection to secure smart grids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *14*(4), 1606–1615.

İÇ MEKÂN KALABALIK SAYIMI İÇİN KLASİK REGRESYON, YOĞUNLUK HARİTASI TABANLI CNN'LER VE TRANSFER ÖĞRENME ENSEMBLE MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Muhammed Fatih Gür

Karabük Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-1442-6527

Prof. Dr. Hakan Kutucu

Karabük Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7144-7246

Özet

İç mekân kamera görüntülerinden otomatik kalabalık sayımı önemli bir bilgisayarlı görü problemidir. Güvenlik yönetimini, acil durum planlamasını, bina analitiğini ve kaynak tahsisini desteklemektedir. Bu çalışmada, Mall Dataset üzerinde dört model ailesi değerlendirilmektedir. Bu aileler; klasik regresyon modelleri, yoğunluk haritası tabanlı evrişimli sinir ağları, transfer öğrenme tabanlı sayım regresörleri ve sabit eşit ağırlıklı bir ensemble modelidir. Resmî veri seti sayfası, veri setinin 640x480 çözünürlükte 2.000 kareden oluştuğunu bildirmektedir. Ayrıca kapsamlı biçimde etiketlenmiş 60.000'den fazla yaya baş konumu bulunduğunu da belirtmektedir. Yerel mall_gt.mat dosyasını ayrıştırdığımızda 62.315 nokta anotasyonu elde ettik. Veri seti ardışık video karelerinden oluştuğu için kronolojik bir bölümleme kullandık. Bu tercih, veri sızıntısını azaltmakta ve daha gerçekçi bir değerlendirme protokolü sağlamaktadır. Eğitim için 1-1400 arasındaki kareleri, doğrulama için 1401-1600 arasındaki kareleri ve nihai test için 1601-2000 arasındaki kareleri kullandık. Modelleri Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve saniyedeki kare sayısı (FPS) cinsinden çıkarım hızı kullanarak değerlendirdik. Ayrıca yalnızca tahmin doğruluğunu değil, hesaplamaya dayalı uygulanabilirliği de dikkate aldık; çünkü kalabalık sayım sistemlerinin çoğu zaman pratik gerçek zamanlı izleme koşullarında çalışması gerekmektedir. Klasik yöntemler arasında doğrusal regresyon MAE = 2.523 ve RMSE = 3.116 değerlerini elde etmiştir. Bu sonuç, sağlanan özellik temsilinin anlamlı bir temel model oluşturduğunu göstermektedir. MCNN-benzeri yoğunluk haritası modeli MAE = 3.824, RMSE = 5.092 ve 258.55 FPS değerlerine ulaşmıştır. Bu nedenle yüksek çıkarım hızı sunmuş, ancak en güçlü transfer öğrenme modellerinden daha düşük sayım doğruluğu göstermiştir. Transfer öğrenme modelleri arasında EfficientNet-B0 MAE = 1.981 ve RMSE = 2.557 değerlerini elde ederken, ResNet18 MAE = 2.044 ve RMSE = 2.493 değerlerini elde etmiştir. Deneylerimizde, genel olarak en iyi sonucu ResNet18 ve EfficientNet-B0 modellerinin sabit eşit ağırlıklı ensemble yapısıyla elde ettik. Bu ensemble modelinde test kümesi üzerinde ağırlık ayarlaması yapılmamış ve model MAE = 1.817 ile RMSE = 2.290 değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, önceden eğitilmiş evrişimli omurgaların görece küçük sabit kameralı bir iç mekân veri setinde bile sayım regresyonu için yararlı görsel ipuçlarını yakalayabildiğini göstermektedir. Genel olarak bulgularımız, transfer öğrenme tabanlı sayım regresyonunun küçük ölçekli, sabit kameralı bir iç mekân ortamında hafif yoğunluk haritası temel modellerine karşı güçlü ve gerçek zamanlı uygulanabilir bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, daha geniş genelleme iddialarında bulunmadan önce ek iç mekân CCTV veri setleri üzerinde daha fazla doğrulama yapılması gerektiğini belirtmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: kalabalık sayımı; derin öğrenme; yoğunluk haritası; transfer öğrenme; iç mekân CCTV; Mall Dataset.

COMPARING CLASSICAL REGRESSION, DENSITY-MAP CNNs AND TRANSFER-LEARNING ENSEMBLES FOR INDOOR CROWD COUNTING

Abstract

Automatic crowd counting from indoor camera images is an important computer vision problem. It supports safety management, emergency planning, building analytics and resource allocation. In this study, we evaluate four model families on the Mall Dataset. These families are classical regression models, density-map-based convolutional neural networks, transfer-learning-based count regressors and a fixed equal-weight ensemble. The official dataset page reports 2,000 frames at 640x480 resolution. It also reports more than 60,000 exhaustively labelled pedestrian head positions. When we parsed the local mall_gt.mat file, we obtained 62,315 point annotations. Because the dataset consists of consecutive video frames, we used a chronological split. This choice reduces leakage and gives us a more realistic evaluation protocol. We used frames 1-1400 for training, 1401-1600 for validation and 1601-2000 for final testing. We evaluated the models using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and inference speed in frames per second (FPS). We also considered computational feasibility, not only predictive accuracy, because crowd-counting systems often need to operate under practical real-time monitoring conditions. Among the classical methods, linear regression obtained MAE = 2.523 and RMSE = 3.116. This result shows that the provided feature representation forms a meaningful baseline. The MCNN-like density-map model achieved MAE = 3.824, RMSE = 5.092 and 258.55 FPS. It therefore offered high inference speed but lower counting accuracy than the strongest transfer-learning models. Among the transfer-learning models, EfficientNet-B0 obtained MAE = 1.981 and RMSE = 2.557, while ResNet18 obtained MAE = 2.044 and RMSE = 2.493. In our experiments, we obtained the best overall result with a fixed equal-weight ensemble of ResNet18 and EfficientNet-B0. This ensemble used no test-set weight tuning and it reached MAE = 1.817 and RMSE = 2.290. These results suggest that pretrained convolutional backbones can capture useful visual cues for count regression, even in a relatively small fixed-camera indoor dataset. Overall, our findings indicate that transfer-learning-based count regression can be a strong, real-time-feasible alternative to lightweight density-map baselines in a small, fixed-camera indoor setting. However, we note that further validation on additional indoor CCTV datasets is required before we can make broader generalization claims.

Keywords: crowd counting; deep learning; density map; transfer learning; indoor CCTV; Mall Dataset.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

QUANTITATIVE APPROACH IN DECISION-MAKING: THE CILOS METHOD

KARAR VERMEDE NESNEL BİR YÖNTEM: CİLOS

Berna (KIRAN) BULĞURCU

Cukurova University, The Faculty of Economics and Administrative Science, Business Administration Department, Adana, Türkiye, ORCID ID:0000-0002-9695-2668

Sumaya ALTORK

Cukurova University, The Faculty of Economics and Administrative Science, Business Administration Department, Adana, Türkiye, ORCID ID: 0009-0003-9086-4434

Abstract

Selecting the most appropriate alternative among several options is considered to be one of the most challenging issues that have been faced by decision makers recently. Hence, in order to make an accurate decision, it is essential to correctly identify the criteria related to the alternatives and to evaluate the data associated with these criteria in a reliable manner.

Due to this reason, the evaluation of multiple criteria together without contradiction constitutes the subject of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) problems. Under the MCDM methods, the approaches that are used in evaluating the criteria are divided into two classifications: subject and objective methods. Subjective weighting mainly depends on personal judgements which may result in some bias, and inconsistent evaluations, while objective methods are based on statistical calculations, where numerical data plays a major role in the process.

At this point, the Criterion Impact Loss (CILOS) method, developed by Zavadskas and Podvezko in 2016, become an important tool among the objective weighting methods. The CILOS method differs from other objective weighting methods as it determines criterion weights through the evaluation of the impact loss during the assessment process. This method has been applied in several areas ranging from finance and engineering to sports and education. In this study, theoretical structure of the CILOS method is examined, and its characteristics and differences from other evaluating methods are presented.

Additionally, the advantages and limitations of the CILOS method are discussed, and its areas of application are examined as well.

Keywords: Objective weighting, Criteria Impact Loss, Decion Making

Özet

Birçok gerçek yaşam probleminde karar vericiyi en çok zorlayan şey pek çok seçenek arasından doğru tercihi yapabilmektir. Doğru tercih için alternatiflerin açıklayıcılarının doğru tespit edilmiş olması ve sonrasında da bu açıklayıcılara ilişkin verilerin de güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu sebeple çok fazla açıklayıcının yani bir başka ifade ile kriterlerin, birbirleriyle çelişmeden tek bir sepette bir arada değerlendirilmesi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinin konusunu oluşturmaktadır. ÇKKV yöntemleri arasında kriterlerin değerlendirildiği yöntemler öznel ve nesnel olarak ikiye ayrılmaktadır. Öznel yöntemlerin kişisel önyargılar ve tutarsız değerlendirmeler içerebileceği düşüncesi ile nicel verinin ağırlıkta olduğu istatistiki hesaplamalara dayanan nesnel yöntemlerin son yıllarda daha fazla ilgi gördüğü aşikardır.

Bu noktada, Zavdaskas ve Podvezko tarafından 2016 yılında geliştiren Kriter Etki Kaybı (CILOS) yöntemi diğer nesnel yöntemler arasında yerini almıştır. Finans alanından mühendisliğe, spor alanından

eğitim alanına kadar pek çok alanda uygulama fırsatı bulan bu yöntemin nasıl bir yöntem olduğunun ortaya konduğu bu çalışmada diğer nesnel yöntemlerle aralarındaki farklılıklar da sunulmaktadır.

Teorik altyapısının nasıl inşa edildiğinin ortaya konduğu bu çalışmada CILOS yönteminin avantajları ve sınırlılıklarını da yer verilmiş ve farklı uygulama alanlarından örnekler sunularak bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesnel Değerlendirme, Kriter Etki Kaybı, Karar Verme.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

BIT-PHASE FLIP QUANTUM ERROR CORRECTION AND ANALYSIS

Prof. Dr. Ramazan KATIRCI

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Merkez, Sivas. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2448-011X

Yük. Zir. Müh. Kübra ÇELİK DURAN

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bitki Koruma Merkez, Sivas. ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0001-5728-1411

Zeliha Elif ÇUBUK

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Merkez, Sivas.ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-5831-0314

ÖZET

Kuantum bilgi işlem, klasik bilgisayarların ötesinde çözümler sunan yenilikçi bir alandır. Ancak, kuantum sistemlerinin kırılgan yapısı nedeniyle hata düzeltme protokolleri, güvenilir ve uzun süreli kuantum hesaplama için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Shor tabanlı bir kuantum hata düzeltme devresi, faz ve bit hatalarını tespit ve düzeltme adımlarıyla Qiskit ortamında uygulandı. Shor kodunun dokuz kübitlik klasik yapısına kıyasla, beş kübit kullanılarak daha kompakt bir prototip geliştirildi. Devre, hataları tanımlamak ve düzeltmek için sendrom kübitlerinin kullanımını vurgulamaktadır. Sendrom kübitleri, hatanın türünü (bit-flip veya faz-flip) ve yerini belirlemek üzere ölçümler sağlayarak, düzeltici işlemleri yönlendiren kritik bilgiler sunmuştur. Bu süreç, hata düzeltmenin temel işleyişini hem görsel hem de sayısal bir yaklaşımla açıklamaktadır. Çalışmada, küçük ölçekli bir sistemde Shor kodunun ilkeleri test edilmiş ve bu ilkelerin daha büyük kuantum sistemlerine uyarlanabilirliğini ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, uzun süreli kuantum hesaplama ve güvenilir kuantum iletişiminde hata düzeltme protokollerinin kritik önemini vurgulamaktadır. Bu örnek, kuantum teknolojilerinde güvenilirliğin sağlanması için temel bir adım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuantum hata düzeltme, bit-flip hatası, Qiskit, Shor kodu, topolojik kodlar, yüzey kodları.

ABSTRACT

Quantum computing is an innovative field that offers solutions beyond the capabilities of classical computers. However, due to the fragile nature of quantum systems, error correction protocols are critically important for reliable and long-term quantum computing. In this study, a Shor-based quantum error correction circuit was implemented in the Qiskit environment with steps to detect and correct phase and bit errors. Compared to the classical nine-qubit structure of the Shor code, a more compact prototype using five qubits was developed. The circuit emphasizes the use of syndrome qubits to identify and correct errors. Syndrome qubits provided crucial information by measuring the type (bit-flip or phase-flip) and location of errors, guiding corrective operations. This process explains the fundamental functioning of error correction through both visual and numerical approaches. The study tested the principles of the Shor code in a small-scale system and demonstrated its applicability to larger quantum systems. The results highlight the critical importance of error correction protocols for long-term quantum computing and reliable quantum communication. This example represents a foundational step in ensuring reliability in quantum technologies.

Keywords: Quantum error correction, bit-flip, Qiskit, Shor code, topological codes, surface codes.

INTRODUCTION

Quantum computers have been attracting increasing attention in recent years because of their potential to offer computational power beyond that of classical computers (Feynman, 1982). One of the most fundamental challenges in realizing large-scale quantum computations is the noise and errors inherent in quantum systems (Nielsen & Chuang, 2010). These errors arise from the interaction of quantum bits (qubits) with their environment during computation or data storage. The resulting errors can be broadly categorized into two main groups: bit errors (bit-flips) and phase errors(phase-flips) (Preskill, 1998). In current experimental studies, hardware-level innovations and error-correction protocols designed to mitigate the effects of these errors are gaining importance (Arute et al., 2019).

A bit error is an unintended transition between the $|0\rangle$ and $|1\rangle$ states in quantum mechanics, which correspond to the 0 and 1 states in the classical digital world. In other words, the transition of the $|0\rangle$ state to the $|1\rangle$ state or the $|1\rangle$ state to the $|0\rangle$ state is defined as a bit-flip error. On the other hand, a phase error is a more abstract concept, indicating a disruption in the phase information of the quantum state. For instance, a superposition state such as $(|0\rangle+|1\rangle)$ can transform into the $(|0\rangle-|1\rangle)$ state due to a phase error (Rieffel & Polak, 2011). In this regard, as phase is essential in terms of the interference effects that form the basis of quantum computing, large-scale quantum algorithms are notably sensitive to phase errors. Different methods, such as topological approaches and surface codes, also hold the potential to offer resistance to both bit and phase errors (Fowler et al., 2012; Freedman et al., 2003; Dennis et al., 2002).

Quantum error correction (QEC) protocols have been developed to detect and correct bit and phase errors (Nielsen & Chuang, 2010; Gottesman, 1997). Given that the direct application of classical error correction methods to the quantum world is not possible owing to the risk of measurements disturbing quantum states, new strategies specific to quantum computing are required. In this respect, the Shor, Steane (Steane, 1996ab), and CSS (Calderbank-Shor-Steane) codes represent some of the most well-known and extensively studied QEC protocols. Particularly, Shor's 9-qubit code stands out as one of the first theoretical frameworks to provide protection against both bit and phase errors by distributing the information of a single logical qubit across nine physical qubits (Shor, 1995). Moreover, in more recent topological-based models, fault-tolerant structures are also being investigated through ion (anion)-based computations (Kitaev, 2003).

The Shor code is based on a two-layer repetition code scheme. In the first layer, classical repetition logic, which distinguishes between the $|0\rangle$ and $|1\rangle$ states, is used to correct bit errors. In the second layer, the Hadamard gate is applied to detect and correct phase errors in the $|+\rangle$ and $|-\rangle$ bases (Gottesman, 1997). This scheme is a significant step not only for achieving high error tolerance but also for scaling quantum computers and enabling fault-tolerant computations (Devitt et al., 2013). Alternative methods, such as topological codes, also pursue similar goals, specifically aiming to realize long-lived "quantum memory" in current quantum hardware where physical error rates are high (Dennis et al., 2002).

The ability to manage bit and phase errors simultaneously is of vital significance for the reliable use of quantum computers in practical applications. Peculiarly, large-scale algorithms with the potential to effectively solve problems such as factorization and discrete logarithms, including Shor's algorithm, are extremely sensitive to phase errors (Shor, 1997). Furthermore, various quantum applications, including chemical simulations, cryptography, and optimization, similarly require the control of both bit and phase errors. Though current physical quantum hardware cannot yet completely eliminate such errors, the theoretical foundation and experimental feasibility of quantum error-correcting codes are steadily improving (Rieffel & Polak, 2011). Specifically, the fact that topological approaches, such as surface codes, are beginning to yield practical results is accelerating the multifaceted progress of research (Fowler et al., 2012).

The quantum circuit presented in the present work incorporates an error correction mechanism that focuses specifically on phase errors using a small number of qubits. The circuit begins with the encoding of the input qubit, applies certain bit-flip or phase-flip gates at specific times to simulate the error, and

subsequently carries out the process of detecting and correcting the resulting error via syndrome measurements. The Hadamard gates used during the error-correction encoding enable the necessary phase-based measurements, while feedback steps based on the measurement results execute the corresponding corrections. Thus, this study presents an important example of work aimed at making quantum computers more resilient to bit and phase errors.

METHODOLOGY

In this study, a Shor-based quantum error correction circuit was simulated using a five-qubit example in the Qiskit environment. While the original Shor code offers a comprehensive structure that corrects both bit and phase errors simultaneously using nine physical qubits, this study demonstrates the fundamental steps of phase error detection and correction using a smaller-scale circuit. At the beginning of the circuit, a simple preparation operation (e.g., an X gate) is applied to the first qubit, which represents the input qubit, to obtain the $|1\rangle$ state, after which the encoding phase begins.

The initial encoding steps involve both repetition using CNOT gates to protect against bit-flip errors and a transformation using Hadamard gates to enable phase-based measurements. This prepares syndrome qubits capable of detecting phase errors, and X (bit-flip) and Z (phase-flip) gates are applied to specific qubits for error simulation. In the next stage of the circuit, syndrome information is read out via classical or control qubits, and corrective operations (CNOT or multi-control gates) are activated depending on the type of error.

Finally, at the end of the circuit, all qubits are measured to observe the final state of both the information qubit and the syndromes. This allows us to assess the extent to which the applied phase or bit errors have been corrected by the error correction mechanism. This design serves as a prototype exhibiting the fundamental principles of the Shor code using fewer qubits, offering a small-scale reflection of the same logic and gate sequences used in adapting the code to real systems.

FINDINGS AND DISCUSSION

Figure 1 illustrates the basic steps of an error-correction protocol designed to protect three data qubits (q0, q1, q2). The q3 and q4 qubits in the circuit function as syndrome (auxiliary) qubits; these qubits are used to measure information that enables the detection and correction of errors that may occur in the data qubits. The red squares in the schematic represent Hadamard gates, the dark blue boxes represent X (bit-flip) errors, and the light blue box represents Z (phase) errors. When examined together with the CNOT gates and measurement blocks in between, it is possible to observe how the system generates a syndrome output in the event of bit-flip or phase errors. The circuit can be interpreted in several stages: in the first stage, the data qubits and syndrome qubits are in their initial states; next, the scenario of applying an error to the data (using X or Z gates) or no error at all is evaluated; finally, measurements are taken on the syndrome qubits to determine what type of error occurred.

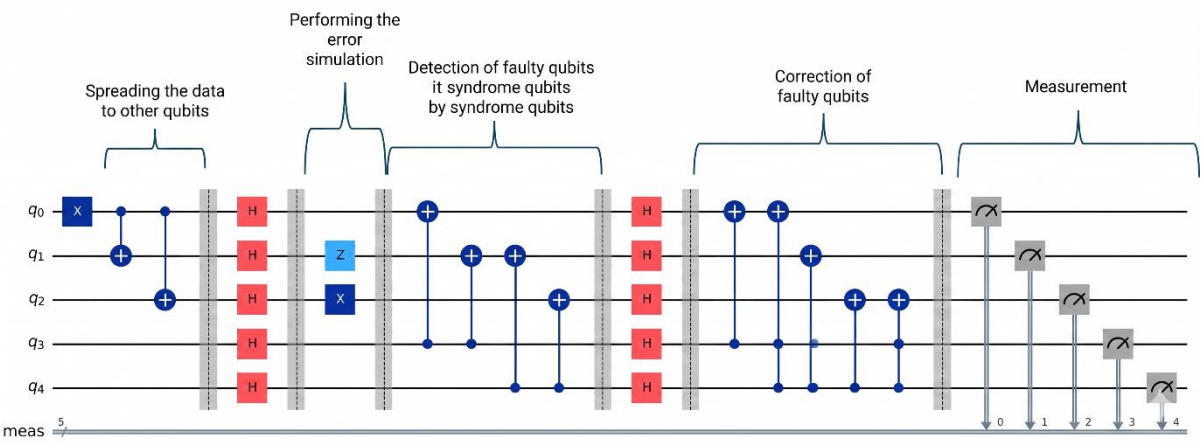


Figure 1. Quantum circuit for bit-flip and phase error correction.

Table 1 summarizes the results for the different types of errors in the circuit and the data qubits on which these errors occurred. Upon examining the table, the first columns of each row indicate the presence of an error (1 or 0), the type of error (X or Z), and the data qubit affected by the error (q0, q1, or q2). Additionally, under the heading "Data Qubits (q0, q1, q2)," it can be seen that the logical state calculated after the error results in |000> or |111>; which indicates that, in a simple encoding scheme such as a triple repetition code, the system has pulled the data qubits into a specific common state (all |0> or all |1>). In the "Syndrome Qubits (q3, q4)" column, it is noted that the syndrome bits (|00>, |01>, |10>, |11>) obtained from the measurement change depending on the location and type of the error. For example, in the first row of the table, where the entry reads "1, q0 (X error), q0 (Z error), |111>, |01>," both a bit-flip and a phase error were applied to the same data qubit (q0), resulting in the data qubits reaching the |111> state, while the syndrome qubits were measured as |01>. Similarly, in other error scenarios, different combinations of syndrome qubits are obtained, thereby distinguishing which qubit was affected and the type of error (bit-flip or phase).

When the circuit and table are read together, it becomes clearer how the "error detection and correction" mechanism, which lies at the heart of QEC, works. The output states in the table show how the circuit encodes error information based on the measurement results and how it uses this information to verify the data qubits. The system includes steps to restore data qubits to their original state in the case of a bit-flip error, and to appropriately correct the phase component in the case of a phase error. Thus, a separate syndrome value (|00>, |01>, |10>, |11>) is measured for each error, and a corresponding correction gate (X or Z) can be applied. Even though this method is on a small scale, it represents the foundation of a scalable error correction approach for larger and more complex quantum systems. Quantum error correction protocols are essential for long-term quantum computing and reliable quantum communication. The circuit and table presented here provide an academically significant example by visually and numerically illustrating how these protocols work.

Table 1. Error Behaviors in Data and Syndrome Qubits.

Input (q0)	Bit-flip error(X)	Phase error (Z)	Data Qubits (q0,q1,q2)	Syndrome Qubits (q3, q4)
1	q0	q0	|111>	|01>
1	q0	q1	|111>	|11>
1	q0	q2	|111>	|10>
1	q1	q0	|111>	|01>
1	q1	q1	|111>	|11>
1	q1	q2	|111>	|10>
1	q2	q0	|111>	|01>
1	q2	q1	|111>	|11>
1	q2	q2	|111>	|10>
0	q0	-	|000>	|00>
0	q1	-	|000>	|00>
0	q2	-	|000>	|00>

CONCLUSION

Within the scope of this study, a Shor-based quantum error correction circuit was successfully implemented using a five-qubit example. The basic principles of the Shor code were validated using a smaller number of qubits. Mechanisms for detecting and correcting phase and bit errors were implemented in the circuit designed within the Qiskit environment. Table and circuit analyses show that QEC can effectively utilize syndrome qubits and correct errors depending on the error type. This strategy represents a significant step toward the scalability of error correction protocols in larger and more complex quantum systems. The results obtained play a critical role in the development of long-term quantum computing and reliable quantum communication systems.

REFERENCES

Arute, F. et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. Nature, 574(7779), 505–510. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5

Dennis, E., Kitaev, A., Landahl, A., Preskill, J. (2002). Topological quantum memory. Journal of Mathematical Physics, 43(9), 4452–4505. https://doi.org/10.1063/1.1499754

Devitt, S. J., Munro, W. J., Nemoto, K. (2013). Quantum error correction for beginners. Reports on Progress in Physics, 76(7), 076001. https://doi.org/10.1088/0034-4885/76/7/076001

Feynman, R. P. (1982). Simulating physics with computers. International Journal of Theoretical Physics, 21(6), 467–488. https://doi.org/10.1007/BF02650179

Fowler, A. G., Mariantoni, M., Martinis, J. M., Cleland, A. N. (2012). Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation. Physical Review A, 86(3), 032324. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.032324

Freedman, M. H., Kitaev, A., Larsen, M. J., Wang, Z. (2003). Topological quantum computation. Bulletin of the American Mathematical Society, 40(1), 31–38. https://doi.org/10.1090/S0273-0979-02-00964-3

Gottesman, D. (2009). An introduction to quantum error correction and fault-tolerant quantum computation. arXiv preprint arXiv:0904.2557.

Kitaev, A. Y. (2003). Fault-tolerant quantum computation by anyons. Annals of Physics, 303(1), 2–30. https://doi.org/10.1016/S0003-4916(02)00018-0

Nielsen, M. A., Chuang, I. L. (2010). Quantum computation and quantum information. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667

Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2, 79. https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79

Rieffel, E. G., & Polak, W. H. (2011). Quantum computing: A gentle introduction. MIT Press.

Shor, P. W. (1995). Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory. Physical Review A, 52(4), R2493–R2496. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.52.R2493

Shor, P. W. (1997). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. SIAM Journal on Computing, 26(5), 1484–1509. https://doi.org/10.1137/S009753979529317X

Steane, A. M. (1996a). Error correcting codes in quantum theory. Physical Review Letters, 77(5), 793–797. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.793

Steane, A.M. (1996b). Multiple-particle interference and error correction in quantum computing. Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 452(1954), 2551–2577. https://doi.org/10.1098/rspa.1996.0136

PEDAGOGICAL INNOVATION IN THE DIGITAL AGE: REDEFINING THE ART AND SCIENCE OF TEACHING

Ravana GULIYEVA
Department of Chemistry, Faculty of Chemistry, Baku State University, Baku, Azerbaijan
Nigar ALIYEVA, PhD
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan, ORCID: 0009-0003-6116-6223
Xeyale ABDUNOVA
Department of Nature Protection and Biodiversity, Faculty of Ecology and Soil Science, Baku State University, Baku, Azerbaijan
Aydan RASHIDOVA
Mathematics Teacher, Faculty of Mathematics, Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan, ORCID: 0009-0006-8673-1614
Aygun BABAYEVA
Faculty of Philology, Azerbaijan University of Languages, Baku, Azerbaijan

Abstract
The rapid advancement of digital technologies has fundamentally transformed the educational landscape, compelling educators and institutions to critically reassess long-standing pedagogical paradigms. This study examines the intersection of technological innovation and teaching practice, exploring how digital tools, platforms, and methodologies are redefining both the art and science of instruction in contemporary educational settings. Drawing on perspectives from diverse disciplinary backgrounds — including the natural sciences, mathematics, and the humanities — the present work offers a multidisciplinary analysis of how pedagogical innovation manifests across academic contexts.
Central to this investigation is the recognition that digitalization in education is not merely a matter of tool adoption, but a deeper pedagogical shift that demands new competencies from educators. Concepts such as blended learning, flipped classrooms, gamification, and adaptive learning systems are increasingly integrated into curricula at all levels of education. These approaches not only diversify instructional delivery but also foster greater learner autonomy, engagement, and personalized learning pathways. At the same time, they raise critical questions about equity of access, digital literacy, and the evolving role of the teacher as facilitator rather than sole knowledge transmitter.
Our research highlights the importance of evidence-based pedagogical design in the digital environment. By synthesizing current literature and drawing on classroom-level observations from science, mathematics, and language education, we identify key principles that underpin effective digital pedagogy: alignment between learning objectives and digital tools, fostering collaborative and inquiry-based learning, maintaining formative assessment cycles, and building inclusive digital environments that accommodate diverse learner needs. Special attention is given to the challenges faced by educators in navigating rapid technological change while sustaining pedagogical quality and student-centered values.
The findings underscore that successful pedagogical innovation in the digital age requires systemic support at the institutional level, continuous professional development for educators, and a commitment to reflective teaching practice. Rather than positioning technology as an end in itself, this study advocates for a humanistic, learner-centered approach in which digital tools serve as enablers of deeper understanding, creativity, and critical thinking. The conclusions drawn are relevant to educators, curriculum designers, and policymakers seeking to navigate the complex terrain of 21st-century education with both scientific rigor and pedagogical wisdom.
Keywords: pedagogical innovation, digital education, blended learning, teaching practice, educational technology, learner-centered approach.

CHEMICAL BIOLOGY AT THE CROSSROADS: NEW FRONTIERS IN MOLECULAR DIAGNOSTICS AND THERAPEUTIC DESIGN

Ravana GULIYEVA
Department of Chemistry, Faculty of Chemistry, Baku State University, Baku, Azerbaijan
Humira HUSEYNOVA, Dr.Sc
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan
ORCID: 0000-0002-3704-0298
Nigar ALIYEVA, PhD
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan
ORCID: 0009-0003-6116-6223
Fidan MAMMADOVA, PhD
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan
ORCID: 0009-0009-9627-2011

Abstract
Chemical biology stands at a pivotal intersection of chemistry and the life sciences, offering transformative tools for understanding biological processes at the molecular level. This study explores emerging frontiers in chemical biology with a particular focus on two interrelated domains: molecular diagnostics and therapeutic design. As complex diseases such as cancer, neurodegenerative disorders, and multidrug-resistant infections continue to pose significant global health challenges, the demand for highly specific, sensitive, and rapid diagnostic platforms has never been greater. Simultaneously, the rational design of novel therapeutics — guided by precise molecular interactions — is redefining the boundaries of drug discovery and development.
In the field of molecular diagnostics, recent advances in biosensor technology, fluorescent probes, and nucleic acid amplification strategies have enabled the detection of disease-associated biomarkers with unprecedented precision. Chemical biology approaches, including the use of small-molecule sensors, aptamer-based recognition elements, and activity-based probes, are being harnessed to identify early-stage pathological changes at the cellular and subcellular level. These innovations hold particular promise for point-of-care diagnostics, where speed, portability, and cost-effectiveness are critical.
On the therapeutic front, the integration of chemical biology with structural biology, computational modeling, and proteomics has accelerated the identification of novel drug targets and the development of highly selective bioactive molecules. Strategies such as targeted covalent inhibition, proteolysis-targeting chimeras (PROTACs), and nucleic acid-based therapeutics are reshaping how we approach disease intervention. Furthermore, plant-derived bioactive compounds and secondary metabolites — a key area of expertise of our research group — are being systematically investigated for their potential as lead molecules in drug development pipelines, particularly in the context of oxidative stress modulation and enzyme inhibition.
This presentation synthesizes current progress and highlights key challenges at the chemical biology crossroads, with emphasis on interdisciplinary collaboration as the driving force behind next-generation diagnostic and therapeutic innovations. We discuss selected case studies from our own research on plant biochemistry and molecular physiology that illustrate how fundamental findings can bridge toward applied biomedical outcomes. The convergence of chemical tools, biological insight, and computational power is positioning chemical biology as one of the most dynamic and consequential fields in contemporary science.
Keywords: chemical biology, molecular diagnostics, therapeutic design, biosensors, drug discovery, bioactive compounds.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

EXPLOITING FOLK PAINTING MATERIALS TO DEVELOP MULTIMEDIA DESIGN COMPETENCE FOR STUDENTS AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF ART EDUCATION

PhD Candidate, MA. Bui Thi Nam

Faculty of Fine Arts – National University of Art Education Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

In the context of rapid digital transformation and the widespread use of artificial intelligence (AI) in media production, multimedia products increasingly face the risk of aesthetic homogenization and loss of cultural identity. Vietnamese folk paintings such as Dong Ho, Hang Trong, and Kim Hoang offer rich symbolic systems, distinctive color schemes, and cultural values that can be applied in multimedia design education. This study aims to explore methods of exploiting folk painting materials to develop multimedia design competence for students. The research employs document analysis, surveys, interviews, and design-based research through pilot teaching modules. Results show that students improve both creative thinking and technical skills while enhancing cultural awareness. Their works demonstrate originality and a strong connection between traditional and modern elements. The study concludes that integrating folk painting into multimedia design education is an effective approach to enhancing students' competence and preserving cultural heritage in the digital era.

Keywords: Folk painting; Multimedia design; Design competence; Cultural identity; Digital heritage; Art education; Vietnam.

INTRODUCTION AND PURPOSE

In the digital era, multimedia communication dominates modern life. However, many products lack cultural identity. Vietnamese folk painting provides valuable resources for developing unique design products.

This study aims to identify theoretical foundations and propose teaching methods to integrate folk painting into multimedia education, thereby enhancing students' creative and professional competencies.

RESEARCH METHODS

The study uses document analysis, surveys, interviews, and design-based research. Teaching modules are developed using project-based learning and digital tools such as vector graphics, 3D modeling, and AR/VR technologies.

RESULTS

Students show increased engagement, improved technical skills, and stronger creative expression. Their works demonstrate a combination of traditional motifs and modern multimedia design. Cultural awareness is also significantly enhanced.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Integrating folk painting into multimedia education enriches teaching content and supports the development of creativity and cultural identity. This approach should be expanded to meet current educational and technological demands.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

EXPLOITING DONG HO FOLK PAINTINGS TO DEVELOP DESIGN AND TEACHING-ORGANIZATION COMPETENCE FOR ART EDUCATION STUDENTS THROUGH DIGITAL PROJECT-BASED LEARNING

PhD Candidate, M.A. Bui Thi Nam

Faculty of Art Education, National University of Art Education

ABSTRACT

This paper examines the pedagogical potential of Dong Ho folk paintings in multimedia design education for students majoring in Art Education, especially in the context of digital technology increasingly shaping creative practice and art teaching. The study argues that Dong Ho folk paintings should not be used merely as decorative or illustrative references. Rather, they can become a meaningful cultural and visual source through which students learn to analyze, transform, and reorganize traditional artistic language in contemporary digital design environments.

The research was conducted through document analysis, practical investigation, and a pedagogical experiment organized according to project-based learning. The findings indicate that, when students are placed in a structured project process, they not only improve their image-processing and design skills but also gradually develop a more conscious design mindset. They learn to identify visual problems, select relevant folk-art elements, test design solutions, receive feedback, and adjust their products with clearer expressive purposes.

The study also shows that the integration of traditional folk materials into project-based learning contributes to the development of students' professional competence as future art teachers. It helps them understand how artistic materials can be transformed into learning tasks, how creative activities may be organized, and how design products can be evaluated. On this basis, the paper proposes digital project-based learning as a feasible approach to developing both design competence and teaching-organization competence for students of Art Education.

Keywords: Dong Ho folk paintings; Art Education; project-based learning; digital technology; multimedia design; teaching-organization competence.

1. INTRODUCTION

The rapid development of digital technology has significantly changed the ways images are created, processed, and communicated in multimedia design. Digital tools have expanded visual expression, accelerated image production, and opened up new possibilities for creative experimentation. At the same time, the digital environment also reveals a risk of visual homogenization, in which many design products become repetitive in form and weakly connected to specific cultural contexts.

In this situation, the exploitation of traditional artistic materials becomes a meaningful direction for contemporary design education. Dong Ho folk paintings, with their distinctive compositions, lines, colors, symbolic images, and printing techniques, are not only a reflection of Vietnamese cultural life but also a condensed system of visual language. These characteristics provide a valuable basis for transforming traditional visual elements into contemporary design products while preserving the spirit of Vietnamese folk aesthetics.

From the perspective of an art education lecturer, the central issue is not simply how to bring traditional materials into the classroom. More importantly, it is necessary to organize learning activities so that students can approach, analyze, restructure, and creatively transform those materials. This orientation is consistent with experiential learning, in which knowledge is formed through action, reflection,

conceptualization, and further experimentation (Kolb, 1984). It also corresponds with Dewey's view that educational experience must be connected with meaningful activity and guided reflection (Dewey, 1938).

In the training of Art Education students, this requirement becomes even more evident. Students need creative competence, but they also need the ability to design and organize art teaching activities appropriate to the nature of the subject. In practice, however, the use of traditional visual materials in art education often remains at the level of illustration or formal reference. It has not yet been systematically linked with teaching methods that develop students' professional competence as future art teachers.

For this reason, the present paper investigates the possibility of exploiting Dong Ho folk paintings in multimedia design education for Art Education students through digital project-based learning. The study focuses on clarifying how traditional visual materials can be transformed into design language and how this process may contribute to the development of students' design competence and teaching-organization competence.

2. THEORETICAL BASIS

This study is grounded in modern theories of teaching and learning that emphasize the shift from knowledge transmission to the organization of learning activities in which learners act as active subjects. According to Piaget (1950), knowledge is not a ready-made system to be received passively; rather, it is constructed through learners' interaction with the environment and through their own cognitive activity.

In terms of organizing learning processes, experiential learning provides an important theoretical foundation. Kolb (1984) argues that learning takes place through a cycle of concrete experience, reflective observation, abstract conceptualization, and active experimentation. Each stage contributes to the formation and reconstruction of knowledge. This view is closely related to Dewey's argument that experience becomes educational only when it is organized, guided, and reflected upon by the learner (Dewey, 1938).

From this theoretical foundation, project-based learning can be regarded as a suitable approach for organizing learning activities toward competence development. Thomas (2000) states that project-based learning enables learners to engage in complex tasks and develop understanding through problem solving. Helle, Tynjala, and Olkinuora (2006) also show that this approach contributes to creativity, collaboration, and self-directed learning, especially in practice-oriented fields.

In art education, this approach is particularly meaningful because learning is closely connected with visual practice and aesthetic experience. Nguyen Thu Tuan (2015) argues that art teaching should place learners in practical situations where they can work directly with materials and develop aesthetic perception through experience. This suggests that the selection of teaching methods affects not only the final product but also the way learners approach creative activity.

In multimedia communication, design language increasingly combines multiple visual elements. Kress and van Leeuwen (2001) argue that meaning in contemporary communication is created through the interaction of images, colors, layout, and modes of representation, rather than through verbal language alone. This places new demands on art education: it should not stop at manual skills or technical procedures, but should also develop students' ability to organize, transform, and communicate visual elements in digital environments.

From these theoretical perspectives, the exploitation of Dong Ho folk paintings in teaching should not be understood as the mere addition of traditional material to a lesson. It needs to be placed within a structured learning process in which students analyze, transform, experiment with, and apply traditional

visual elements. This is a necessary basis for developing both creative competence and the competence to design and organize art teaching activities.

3. RESEARCH METHODOLOGY

The study was conducted through a combination of theoretical analysis, practical investigation, and pedagogical experimentation. This approach made it possible to examine the research problem not only at the conceptual level but also within the concrete context of Art Education training, where learning is closely connected with practice and experience.

Document analysis and synthesis were used to establish the theoretical foundation of the study. The selected documents focused on three main groups: modern teaching theory, project-based learning, and art education. The analysis did not merely systematize existing viewpoints; it sought to clarify the relationship among these approaches in organizing competence-oriented learning activities.

A practical survey was conducted to collect information about how students approach traditional visual materials in design learning. The participants included students majoring in Art Education and several lecturers who directly teach related courses. The survey focused on students' ability to identify visual characteristics, their ways of exploiting folk paintings in design exercises, and their level of using digital technology in the learning process.

The pedagogical experiment was organized according to a project-based learning model. Students were assigned design tasks related to the exploitation of visual materials from Dong Ho folk paintings. The experimental process included the following stages: analyzing traditional materials, experimenting with visual transformation, developing design products, presenting outcomes, receiving feedback, and revising products. This process allowed students to participate in the entire creative process instead of merely completing a final product.

The evaluation combined product assessment with process assessment. The criteria were developed based on the characteristics of art and design practice, including the ability to exploit traditional materials, the appropriateness of compositional organization, the degree of creativity, and the ability to apply digital technology. At the same time, students' learning processes were observed through classroom activities and discussions in order to clarify changes in their design thinking and approach.

This research orientation is compatible with design-based research in education, in which teaching is regarded as an experimental environment for testing and refining pedagogical solutions (Design-Based Research Collective, 2003). Through this approach, the study does not stop at describing a teaching phenomenon; rather, it aims to propose a feasible teaching model for art education practice.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The experimental results show a clear difference in the way students approached design activities when shifting from traditional teaching methods to project-based learning. This change was reflected not only in the final products but also in the entire process of forming ideas and transforming visual materials.

4.1. Comparison between two teaching approaches

In traditional teaching, learning activities are often organized through explanation and demonstration. The lecturer provides knowledge, models, and requirements; students then reproduce or imitate what has been introduced. In this approach, design exercises tend to be reproductive. They emphasize formal correctness and visual similarity rather than the search for new design solutions. As a result, students' products may become similar in composition and image treatment, with limited evidence of personal interpretation.

By contrast, in project-based learning, students are placed in situations that require them to identify their own approaches and solve design problems. Instead of following a given model, learners have to analyze

visual materials, select relevant elements, test different design options, and make adjustments before completing their products. This process helps form a more grounded design mindset rather than an intuitive or purely decorative way of working.

Thomas (2000) argues that project-based learning enables learners to participate in complex tasks through which they develop independent thinking and problem-solving skills. The findings of this study indicate that this argument is appropriate in the context of art education, where students show visible progress in organizing ideas and treating visual images.

4.2. Illustration of differences in design products

Traditional approach



Figure 1. A Child Holding a Rooster - traditional Dong Ho visual material



Figure 2. The Mouse Wedding - traditional Dong Ho visual material



Figure 3. Chua Thuong Ngan - traditional folk visual material

In the group of products created through the traditional approach, students often retained the original forms of folk paintings. Images such as A Child Holding a Rooster, The Mouse Wedding, and Chua Thuong Ngan were mainly used as direct references. There was little transformation in composition, color, or visual structure. The exploitation of traditional materials therefore remained at the level of image reuse rather than deeper analysis of visual structure.

Project-based learning approach supported by digital technology



Figure 4. Digital transformation inspired by folk visual language

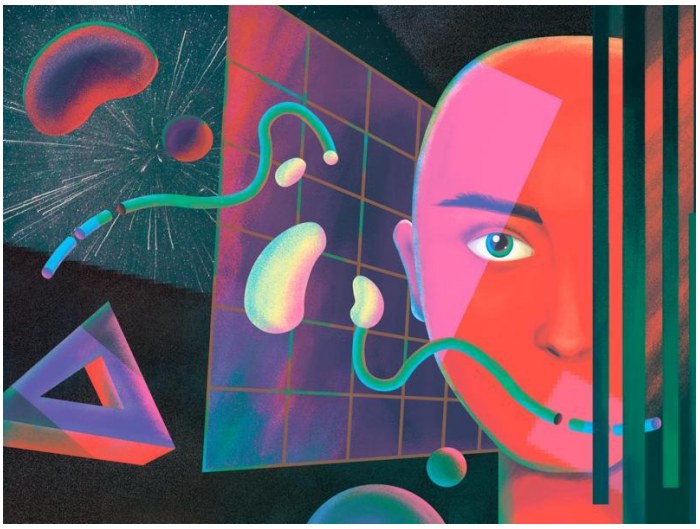


Figure 5. Experimental digital design outcome



Figure 6. Folk painting material used for further visual transformation

In the group of products developed through project-based learning and digital technology, the images were transformed into digital graphic forms. Students simplified and restructured visual masses, reorganized lines and colors, and adapted folk elements to serve communication purposes. Digital tools also enabled students to experiment with multiple design options more quickly and effectively.

This difference shows that the value of project-based learning lies not only in the final appearance of the products but also in the learning process. Students learned to ask questions about the source material, identify what should be preserved, decide what could be transformed, and consider how traditional visual language might function in contemporary digital design.

4.3. Analysis and discussion

The distinction between the two approaches is not merely a matter of product form. More importantly, it lies in the way learners approach the design problem. In traditional teaching, students tend to focus on completing the assigned task. In project-based learning, they are encouraged to participate in decision-making, idea development, experimentation, and adjustment.

A significant finding of the study is the role of digital technology in project-based learning. Technology does not simply shorten production time; it expands the possibilities for visual experimentation. It allows

learners to test, compare, and adjust design solutions quickly. This makes the creative process more flexible and contributes to improving the quality of design products.

Project-based learning also creates an interactive learning environment. Students have opportunities to exchange ideas, discuss visual solutions, receive feedback, and learn from one another. This is an important condition for developing the competence to organize teaching activities, which is a distinctive requirement for students of Art Education.

From these results, it can be seen that project-based learning not only improves design skills but also changes students' ways of thinking and approaching creative practice. The combination of traditional artistic materials and digital technology opens up the possibility of developing professional competence and pedagogical competence at the same time. This direction is consistent with the current renewal of art teacher education.

CONCLUSION

The research results show that exploiting Dong Ho folk paintings in project-based design teaching enriches learning content and directly influences the way students approach creative activity. When students no longer process images merely as illustrations, they begin to pay attention to visual structure, select and adjust visual elements according to specific expressive purposes, and make more conscious design decisions. This marks an important shift from reproductive practice to a more purposeful design approach.

The pedagogical experiment demonstrates that project-based learning enables students to participate in the entire creative process, from analyzing materials to completing design products. Through this process, students not only improve their design skills but also develop a more systematic way of working. They learn to experiment, adjust, and make decisions based on analysis. This is consistent with experiential learning theory, which views knowledge as being formed through action and reflection (Kolb, 1984; Dewey, 1938).

From the perspective of an art education lecturer, the significance of this study does not lie only in the design products created by students. More importantly, it lies in the change in students' awareness of teaching and learning activities. When students participate in a project-based learning model, they begin to understand how a lesson can be organized: how to define learning tasks, coordinate activities, support learners, and evaluate outcomes. This provides an initial basis for forming the competence to design and organize teaching, which is a core requirement in the training of art teachers.

At the same time, the study also indicates that the use of traditional materials in digital design education requires careful pedagogical guidance. Students need support in analyzing visual structure, identifying design potential, and developing appropriate ideas. Without such orientation, they may easily return to a superficial use of traditional images. This confirms the important role of lecturers in designing and guiding learning activities.

From the above analysis, it can be affirmed that the combination of traditional artistic materials, project-based learning, and digital technology is a suitable direction in contemporary art education. This approach contributes not only to the development of design competence but also to students' deeper awareness of cultural values in contemporary creative practice. Future studies should expand the scope of experimentation to other types of traditional materials and different teaching contexts, while continuing to examine the role of digital technology in supporting creative processes and organizing learning activities for students of Art Education.

REFERENCES

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. Educational Researcher, 32(1), 5-8.

Dewey, J. (1938). Experience and Education. New York: Macmillan.

Dinh, T. K. T. (2019). Experiential Activities in the New General Education Curriculum. Hanoi: University of Education Publishing House.

Do, H. T., & Pho, D. H. (2024). Theory of Teaching. Hanoi: University of Education Publishing House.

Helle, L., Tynjala, P., & Olkinuora, E. (2006). Project-based learning in post-secondary education: Theory, practice and rubber sling shots. Higher Education, 51(2), 287-314.

Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kress, G., & van Leeuwen, T. (2001). Multimodal Discourse: The Modes and Media of Contemporary Communication. London: Arnold.

Nguyen, L. B. (2017). Active Teaching and Learning: Selected Teaching Methods and Techniques. Hanoi: University of Education Publishing House.

Nguyen, T. T. (2015). Methods of Teaching Art. Hanoi: University of Education Publishing House.

Piaget, J. (1950). The Psychology of Intelligence. London: Routledge & Kegan Paul.

Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. San Rafael, CA: The Autodesk Foundation.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DEVELOPING SELF-STUDY COMPETENCE IN TEACHING INFORMATIONAL TEXT WRITING FOR 10TH-GRADE STUDENTS USING THE FLIPPED CLASSROOM MODEL

Chi Nguyen NGUYEN

Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam, ORCID ID: 0009-0009-6583-5096

Tuyet Minh QUACH

Can Tho University, Can Tho City, Vietnam, ORCID ID: 0009-0003-0650-5456

Anh Kiet NGUYEN

Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam

Minh Man LE

Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam

Thi Viet Thuan NGUYEN

Ho Chi Minh City University of Education, Ho Chi Minh City, Vietnam, ORCID ID: 0009-0009-5978-7438

ABSTRACT

Self-study is the shortest path for learners to deepen and master knowledge. Learning is not just reproducing and repeating knowledge through pure memorization, but effective learning must be built on exploration, curiosity, and creative thinking. In Vietnam, teaching and learning are facing great opportunities and challenges because traditional and modern teaching approaches are not yet synchronized, lack continuity, and have not developed in a balanced way. In teaching Literature, organizing learning activities based on traditional methods still play a certain role. In writing lessons, teachers mainly provide theory, guide the essay structure, and may even brainstorm ideas for the learners. However, in the current context, these traditional methods of teaching text creation (writing) seem unable to meet the requirements of educational innovation. This is because teaching writing not only requires students to follow a specific text format, but also requires them to master writing skills. To master these skills, learners need to be taught using a suitable method. Given the characteristics of the current 2018 General Education Curriculum, teaching informational text writing in Literature using the flipped classroom model has shown many advantages and positive results because the flipped classroom model both effectively teaches text creation through the writing process: before, during, and after writing and helps learners develop their ability to brainstorm ideas, outline, study autonomously, and think creatively.

Keywords: self-study, flipped classroom, informational text, text creation, Literature, competence.

1. INTRODUCTION

Informational texts appeared several decades ago, especially in advanced countries like the US (Lan, 2016). Interestingly, in countries such as Australia and the US, informational texts have been taught since preschool and primary school. So, what has shaped the role of informational texts in education in these advanced countries? Researchers and educators clearly recognize that the ability to understand and use information is a key factor for successful participation in society (Keene, 2008; Ogle & Blachowicz, 2002). Basically, informational texts will shape a massive industry that will grow around products and services advertising themselves as holding the secret to success (Beth Maloch & Randy Bomer, 2013). Due to these immense practical benefits, informational texts have been taught very early in many countries, becoming an important aspect in forming and developing learners' thinking, cognition, and

competencies. This shows that learning becomes meaningful when applied to real life. Vietnamese education in the last 10 years (from 2016 to 2026) has undergone significant changes. The highlight is the shift in the teaching and learning approach, moving from a content-based approach to an approach focusing on developing learners' qualities and competencies (Ministry of Education and Training, 2018). In most subjects, this change led to difficulties in the initial stage. However, looking further ahead at the future learning outcomes of students in Vietnam, these innovations are strategic, substantial, and useful. In the teaching of Literature, there are many innovations on both the horizontal and vertical axes. The 2006 Literature education curriculum and textbooks mainly taught literary texts, while the rest focused on argumentative texts. From the perspective of a country with a rich history and a culture still deeply rooted in "Eastern characteristics", this is not surprising. However, if we place learners in the modern context, the common context of many countries around the world, this approach is somewhat outdated. This is because the trend of modern education defines the true meaning of teaching as connecting with real life. In this context, literary and argumentative texts only partially meet this trend. With a comparative, selective, and receptive perspective, the 2018 General Education Curriculum has harmoniously balanced the proportions and added a new text type: informational texts. This change occurred because researchers in Vietnam have recognized the importance of informational texts, viewing them as "a familiar, important, and essential text type for people in daily life, learning, and research" (Hien, 2020). "Informational texts emerged and are directly tied to specific communication activities in social life" (Quynh, 2022). Responding to creative thinking in teaching informational texts today, there have been many recent shifts in Vietnam. The use of teaching methods and techniques has also been diversified in a positive and progressive direction, for the development of learners and to meet the learning outcomes (required standards) of the curriculum. Using Graphic Organizers to establish, organize, and arrange the information system will be a measure to promote efficiency (Quynh, 2022). However, studies on teaching informational texts using the flipped classroom model represent a research gap in Vietnam.

2. MATERIALS AND METHODS

To conduct this study, we utilized qualitative research methods to formulate scientific hypotheses. Based on a literature review, we analyzed and outlined the theoretical framework to propose the research problem addressed in this paper.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

1. Theoretical Background

1.1. The Flipped Classroom Model

- Concept

The Flipped Classroom is a teaching model in which the process of acquiring basic knowledge is moved outside the classroom through means such as lecture videos, digital documents, or online learning materials. Students actively study the lesson content before coming to class, while in-class time is dedicated to active learning activities such as discussion, problem-solving, practice, and collaboration under the teacher's guidance (Bergmann & Sams, 2012). This model helps optimize in-class learning time, creating conditions for teachers to support personalized learning and enhance the interaction between teachers and students. Many studies also show that the flipped classroom contributes to developing self-directed learning capacity, critical thinking, problem-solving skills, and improving learners' academic results (Bishop & Verleger, 2013). According to author Robert Talbert's perspective on the concept of the flipped classroom: The flipped classroom is a pedagogical method in which the initial exposure to new concepts is shifted from the group space to the individual space in the form of structured and outcome-based activities, and the group space becomes a dynamic interactive learning environment where instructors guide students as they apply concepts to engage creatively in the subject

matter (Nga & Lien, 2020). The flipped classroom is considered a teaching strategy and simultaneously a type of blended learning that combines face-to-face teaching and online teaching. This classroom model completely contrasts with the traditional teaching environment because teaching content usually takes place online and outside the classroom (Ministry of Education and Training, 2017). Unlike traditional teaching where assignments are completed at home, the flipped classroom brings assignments into the classroom. The flipped classroom model is essentially a transformation in the roles of teachers and learners, adopting a learner-centered approach; learners are empowered to promote their active role in seeking and acquiring knowledge (Nguyen & Thom, 2025).

- Characteristics of the flipped classroom model

The flipped classroom is a form of blended learning (B-learning). The flipped classroom model is one of the innovative teaching methods that is learner-centered, aligning with the modern educational trend of focusing on developing students' competencies (Ministry of Education and Training, 2018). As commonly practiced in this model, learners actively explore new knowledge in advance through learning materials (online videos, presentations, podcasts, etc.) provided and guided by the teacher (Brunsell & Horejsi, 2013). For each lesson, students can proactively research and self-study further according to the teacher's guidance. During class time, the teacher needs to answer questions that students have not resolved or address issues that are easily misunderstood during the students' self-study process. This ensures that students' learning is not confined to textbooks but also encompasses novel knowledge related to the lesson and real life (Cabi, 2018). The flipped classroom changes the roles of teachers and students, reversing the teaching process of the traditional classroom. It organizes the classroom into a practice-laboratory space, changing the traditional teacher's role from an information provider to a facilitator who guides, answers questions, and organizes activities. Meanwhile, the students themselves must carry out the self-study process, seizing modern educational opportunities to acquire new knowledge (Abeysekeraa & Dawson, 2014). The traditional classroom and the flipped classroom have specific differences (Anh, 2018):

Traditional Classroom	Flipped Classroom
- Teacher provides instruction - Students take notes - Students follow instructions - Students are assigned homework	- Teacher guides learning at home via videos, books, websites, and study groups - Students gain a deeper understanding of concepts and applications, and make connections with the content discussed in class - Students receive individualized support when needed

- Organizational process

In practice, there are many studies and articles proposing teaching procedures based on the flipped classroom model. Each procedure has its certain advantages. However, in this paper, based on the research "Designing integrated teaching activities in 10th-grade Literature using the flipped classroom model" (Nguyen & Thom, 2025), we consistently refer to the organizational process of teaching the creation of informational texts using the flipped classroom model as follows:

GENERAL PROCESS IN APPLYING THE FLIPPED CLASSROOM MODEL	
DESIGN CONTENT	**DESIGN REQUIREMENTS**
1. Determine the learning outcomes of the lesson	Based on the learning outcomes description table for 10th-grade Literature in the 2018 General Education Curriculum.

2. Select appropriate teaching texts according to the flipped classroom model	- Based on the learning outcomes of the 2018 General Education Curriculum. - Based on the characteristics of informational texts. - Based on the design principles of the flipped classroom model.
3. Design lectures and videos, develop learning resources, and share reference materials on software platforms	- Based on the learning outcomes of the 2018 General Education Curriculum. - Design teaching objectives for each type of informational text. - Select applications/software based on their pros/cons and the reality of the experimental site.
4. Students watch lectures, read materials, and complete learning tasks as guided by the teacher	- Share learning resources and develop study guides for students. - Manage students' interaction process on the applications.
5. Teachers process students' assignments	- Based on the learning outcomes of the 2018 General Education Curriculum. - Based on the objectives that have been designed and agreed upon with the students.
6. In-class students practice, discuss, and interact with each other and with the teacher	- Present the products/assignments students have completed. - Identify topics for discussion and interaction (Teacher - Student; Student - Student).
7. Evaluate and expand on learning topics	- The teacher provides feedback and summarizes the lesson content. - Create conditions for learning products to be applied in real life.

- Advantages of the flipped classroom model

To integrate into the global digitalization trend in education, organizing flipped classrooms is an inevitable change.

(1) This modern teaching method helps students become more active in the process of acquiring knowledge, exploring latent potentials, and promoting creative thinking. Applying the flipped classroom model in teaching will help learners achieve the highest three cognitive levels of Bloom's taxonomy (Bergman & Sams, 2012).

(2) Additionally, applying the flipped classroom model helps increase autonomy and independence in researching, exploring, and investigating problems. It allows learners to apply time management skills, proactively choosing a suitable space and time for themselves to acquire knowledge in order to reach higher levels of thinking.

(3) Learners do not self-study alone but have connections, interactions, and direct support from educators and peers, having more time to interact with educators through application questions (Jang & Kim, 2020).

(4) Learners have the opportunity to develop teamwork, presentation, and critical thinking skills... Even when learners are absent or miss some lessons, they still have the opportunity to review necessary information and catch up with the class's learning progress.

(5) The flipped classroom model creates opportunities for educators to become professional teachers in planning and designing teaching content and curricula in a logical, oriented manner, with a roadmap to increase the effectiveness of the learning process. Thereby, it stimulates learners to participate in creative learning activities and in-depth research (Akçayır & Akçayır, 2018).

(6) Teachers enhance their professional skills as they approach new teaching trends, increasing their creativity, updating new tools in their teaching, and creating activities that attract students, stimulate their self-learning ability, and promote learners' agency.

(7) Through online videos, presentations, podcasts, etc., educators can support learners remotely without the need for face-to-face classes (Brunsell & Horejsi, 2013).

1.2. Self-directed learning competence

1.2.1. Concept of self-directed learning competence

In the context of education transitioning towards the orientation of developing learners' competencies, this is considered the direction of educational innovation, clearly identifying self-directed learning competence as one of the core competencies that students need to form and develop. According to the Vietnamese Dictionary, competence is understood as the subjective individual abilities and conditions, or those endowed by nature, that help carry out a certain activity (Luong, 2011), or competence is the ability to mobilize and apply knowledge, experiences, skills, attitudes, and interests to appropriately and effectively perform activities in life situations (Taylor, 1995). Self-directed learning competence is one of the core competencies that learners need to possess. Generally, it can be conceptualized as follows: self-directed learning competence can be understood as the learner's ability to independently explore, discover, orient their cognition, and apply skills, methods, experiences, knowledge, and attitudes to perform learning tasks (Nhi, 2016). Self-directed learning competence plays a highly crucial role that learners must have in order to engage in lifelong learning. Self-directed learning competence encompasses learning methods, skills, and learning content; it is the overall integration of the aforementioned factors impacting learning content in situations and other arising problems (Ministry of Education and Training, 2018). In summary, self-directed learning competence is one of the core competencies of the individual learner; it is the proactive and conscious exploration, discovery, and application of methods, skills, knowledge, and learning styles to solve situations and problems that arise during the learning process to achieve desired results.

1.2.2. Manifestations of self-directed learning competence

According to the 2018 General Education Curriculum - Master Program, the learning outcomes for self-directed learning competence are set and manifested as follows (Ministry of Education and Training, 2018):

8. Determine learning tasks based on achieved results; be able to set detailed and specific learning goals, and overcome limitations.
9. Evaluate and adjust learning plans; form personal learning styles; search, evaluate, and select appropriate resources for different learning purposes and tasks; record information in suitable formats that facilitate memorization, usage, and supplementation when necessary.

10.Self-recognize and correct personal errors and limitations during the learning process; reflect on one's learning methods, draw lessons from experience to apply in other situations; be able to self-adjust learning methods.
11.Be able to regularly cultivate oneself according to personal striving goals and civic values.

In addition, another research work also proposes several manifestations of the flipped classroom model (Phuong & Anh, 2017):

12.Determine learning goals: Students independently determine learning tasks based on achieved results; set detailed and specific learning goals, and overcome weak aspects.
13. Plan and implement learning methods: Students have the ability to evaluate and adjust learning plans; form their own learning styles; find appropriate resources for different learning purposes and tasks; proficiently use the library, select materials and create bibliographies suitable for each learning topic of various assignments; record read information in suitable formats that facilitate memorization, usage, and supplementation when necessary; independently pose learning problems.
14.Evaluate and adjust learning: Students self-recognize and correct personal errors and limitations during the learning process; reflect on their learning methods, draw lessons from experience to apply in other situations; be able to self-adjust learning methods. To facilitate assessment, each criterion needs to be divided into different levels to concretize the evaluation.

1.2.3. Structure of self-directed learning competence and evaluation criteria

Based on studies on developing the structure of self-directed learning competence, it can be divided into 4 component competencies and 10 criteria (Dai et al., 2019); the structure is described as follows:

Table of the structure and evaluation criteria for self-directed learning competence

No.	Component competencies	Evaluation criteria
1	Determine learning goals	**[TH1]** Identify the required knowledge/skills and related prior knowledge/skills. **[TH2]** Identify and propose problems in learning/practice.
2	Develop and adjust learning plans	**[TH3]** Identify current learning conditions and personal learning styles. **[TH4]** Determine learning tasks and create an implementation schedule
3	Implement learning plans	**[TH5]** Learn online via provided lectures/learning materials. **[TH6]** Search for information and materials on the Internet. **[TH7]** Interact with teachers and peers. **[TH8]** Record and present learning results.
4	Evaluate and adjust	**[TH9]** Evaluate learning results. **[TH10]** Overcome errors and limitations, and adjust learning methods.

To evaluate self-directed learning competence, the assessment will be based on manifestations at 3 different levels, including: level 1 (1 point) - unable to perform; level 2 (2 points) - able to perform but not yet proficient; level 3 (3 points) - able to perform proficiently (Trang et al., 2023).

1.3. Informational texts

- Concept of informational texts Currently, although informational texts have been included in the curricula of many countries, including Vietnam, there is no unified definition. Reviewing several studies, we found that informational texts do not contain fictional elements and have the primary purpose of providing information (Nam & Hieu, 2017). They are "A text type aimed at providing accurate information, written with the purpose of helping readers better understand the natural and social world" (Ministry of Education and Training, 2018). Informational texts are a term used to refer to non-fiction texts whose main purpose is to provide information on specific topics; the information must ensure honesty, objectivity, and usefulness to the reader (Nam et al., 2026). In general, all concepts refer to informational texts as a text type that provides information (including linguistic and non-linguistic means, without fictional elements) to help readers grasp and clearly understand various aspects of life.

- Considerations in teaching the creation of informational texts: (1) Adhering closely to the characteristics of informational texts: The organization of teaching needs to stem from the genre characteristics and communicative functions of each text; teachers must clearly identify the type of informational text (expository, report, popular science lesson, tables/charts, instruction manuals, etc.) to select appropriate teaching strategies. Organizing teaching activities closely aligned with genre characteristics not only helps students form effective information extraction and processing skills but also contributes to developing logical thinking competence and the ability to apply information into practice, in line with the competency development orientation of the 2018 General Education Curriculum (Tung, 2025).

(2) Adhering closely to the characteristics of process-based writing instruction: Ensuring the writing process consists of three stages: pre-writing, while-writing, and post-writing (Quynh, 2022).

(3) Developing self-directed learning competence: Learning activities designed and organized for learners must ensure they meet the self-directed learning competence standards of the 2018 General Education Curriculum, accompanied by specific evaluation criteria.

(4) Ensuring the process of the flipped classroom model: Here, we propose a process consisting of 7 steps.

2. Proposing a teaching process for creating informational texts using the flipped classroom model to develop self-directed learning competence for 10th-grade students

2.1. Principles for developing the process

+ Ensuring the objectives of the 10th-grade Literature curriculum

The active teaching method of the 'Flipped Classroom' can ensure the objectives of the 10th-grade Literature Curriculum because the classroom organization process aligns with the orientation of developing students' qualities and competencies in the 2018 General Education Curriculum. According to the Master General Education Curriculum: education aims at the comprehensive development of learners' qualities and competencies. In the General Education Curriculum for Literature: it aims to form and develop linguistic competence and literary competence, while also fostering good qualities in students through reading, writing, speaking, and listening activities (Ministry of Education and Training, 2018). Meeting the objectives of developing linguistic and literary competencies: Students actively explore the lesson through online videos, presentations, podcasts... under the teacher's guidance at home beforehand (Brunsell & Horejsi, 2013). In class, students focus on discussing, analyzing, presenting opinions, and solving problems, thereby practicing reading, writing, speaking, and listening skills (Ministry of Education and Training, 2018). In the flipped classroom, students do not receive knowledge passively but independently discover, ask questions, and construct knowledge under the teacher's guidance. Forming qualities for students, through collaborative activities, group discussions, and critical thinking, students cultivate qualities such as honesty, responsibility, and compassion (Akçayır & Akçayır, 2018). The ability to apply knowledge into practice, in-class time is dedicated to practical

activities, presenting viewpoints, making real-life connections, and resolving learning situations, thereby applying Literature knowledge to real life. Personalization, learners can proactively choose the time, pace, and method of accessing content before class, creating conditions for each student to develop according to their own individual capacities (Strelan & Palmer, 2020).

+ Suitability for the characteristics of the flipped classroom

The specific nature of Literature, according to traditional educational concepts, contains academic and theory-heavy content. It includes many features that need to be memorized, such as the historical progression of literature associated with developmental characteristics through each stage. This makes the majority of students feel bored and lack interest in learning (Hattie, 2009). Traditional teaching methods focus on imparting knowledge in a dry manner, lacking interaction, and failing to inspire learners. The 2018 General Education Curriculum for Literature is developed with an orientation towards developing learners' qualities and competencies, shifting from transmitting knowledge to organizing learning activities that help students independently discover and construct knowledge (Ministry of Education and Training, 2018). This aligns with the essence of the flipped classroom, where students proactively access lesson content in advance at home through online videos, presentations, podcasts, etc., while class time is utilized for discussion, practice, problem-solving, and applying knowledge under the teacher's guidance (Bergman & Sams, 2012). During class, learning time is focused on practical text creation activities such as group discussions, outlining, paragraph writing, text editing, critiquing, and product evaluation. The teacher acts as an organizer, facilitator, supporter, and resolver of difficulties during the learning process (Robert Talbert, 2017). Teaching text creation via the flipped classroom creates conditions for personalizing the learning process. Each student can approach the materials from their own perspective, select learning methods suitable for themselves, and leverage their personal strengths during the writing process. Simultaneously, frequent practice, discussion, and text editing help students enhance their language use competence, form logical thinking, and develop effective expression skills (Bergman & Sams, 2012). Text creation not only requires students to master theoretical knowledge about text types, genre characteristics, and the writing process but also demands learners to apply knowledge into practice, innovate, and solve specific writing tasks. These are the very requirements that align with the student-centered spirit of the flipped classroom (Bishop & Verleger, 2013).

+ Developing self-directed learning competence

The self-directed learning competence of general education students falls under the autonomy and self-directed learning competency group. This is one of the three general competency groups that need to be formed for students across all three educational levels: Self-reliance, self-affirmation, and protecting legitimate rights and needs. Self-regulating one's emotions, attitudes, and behaviors, adapting to life, and career orientation. Self-learning and self-improvement (Ministry of Education and Training, 2018). Thanks to self-directed learning competence, learners can affirm themselves through their own cognitive operations, willpower, perseverance, and passion for learning. Self-directed learning is an essential competence of citizens in the digital age and a rapidly changing society (Morri, 2019). Self-directed learning competence is a personal attribute, manifested through identifying and carrying out learning tasks consciously and proactively, achieving desired learning outcomes, and demonstrating an effective learning process (Candy, 1991). The learning process of a person with self-directed learning competence includes: Consciously and proactively identifying learning tasks, independently setting appropriate learning goals, and having the determination to achieve those goals. Self-preparing necessary learning tools and implementing effective learning methods. Self-evaluating and adjusting personal errors and limitations when performing learning tasks (Hang, 2020). Proactively seeking support from educators when problems arise during the learning process. Self-directed learning consists of three components: self-management of learning, self-monitoring of the learning process, and learning motivation (Garrison, 1997). All of these components are developed according to the pre-class, in-class, and post-class structure of the flipped classroom model.

+ Promoting students agency

In the flipped classroom, learning autonomy helps students no longer completely depend on teachers but become the ones who proactively construct their own learning process. Students independently determine goals, select appropriate learning methods, plan, and self-evaluate achieved results (Tran & Tran, 2024). The process of self-study before and during class helps students become the subjects of learning activities; students not only receive knowledge but also know how to search, exploit, and enrich knowledge for themselves (Persky & McLaughlin, 2017). Through the group discussion process, students engage in experiential learning connected to real life. Students directly participate in project practice and research activities to find solutions to problems. Knowledge is no longer received one-way from the teacher but is proactively constructed by students through personal experiences, thereby promoting learners' agency (Bergmann & Sams, 2012). This agency is manifested in students becoming explorers, creators, and appliers of knowledge to real life, contributing to the development of critical thinking and problem-solving competence. In group activities, enhancing discussion and critical reflection creates conditions for students to present their viewpoints, ask questions, exchange ideas, and defend their own perspectives (Aljohani, 2017). With this agency, students become active participants in the knowledge construction process instead of merely listening and passively memorizing content as in the traditional classroom.

2.2. Teaching organization process

Based on the research "Designing integrated teaching activities in 10th-grade Literature using the flipped classroom model" (Nguyen & Thom, 2025) and the principles, procedures, and teaching requirements of the flipped classroom model, we propose the organizational process for teaching the creation of informational texts using the flipped classroom model to develop self-directed learning competence as follows:

Stage	Implementation process	Teacher's activities	Student's activities
Stage 1: Pre-class		- Design lecture videos, infographics, or digital learning materials regarding the content, characteristics, and creation process of informational texts. - Develop a system of guiding questions, worksheets, and learning tasks for students before coming to class. - Assign tasks to explore text characteristics, analyze source materials, prepare writing requirements, and write informational texts before coming to class.	- Watch lecture videos, read digital materials, textbooks, and study assigned materials. - Complete worksheets and prepare for the teacher's requirements before coming to class. - Plan and execute the writing of informational texts.
Stage 2: In-class	Warm-up	The teacher organizes game activities, situational questions, or short discussions to check the students' level of lesson preparation.	Students answer the teacher's questions.

	Knowledge formation	The teacher organizes and facilitates discussions, requiring students to present their personal findings on creating informational texts.	Students present the discussion results regarding the knowledge of informational texts.
	Practice	- The teacher organizes for individual students to present the text creation results they were required to complete before coming to class. - The teacher provides feedback, suggestions, and edits the students' writing.	- Students present the results of their text creation writing required to be completed before coming to class. - Students self-evaluate their own writing and peer-review their classmates' writing.
	Application	The teacher requires students to apply the learned knowledge to write a new informational text.	Students write an informational text according to the teacher's requirements.
Stage 3: Post-class		- The teacher requires students to submit their papers after receiving feedback and making revisions. - Develop evaluation criteria. - Guide students to revise and finalize their writing.	- Students revise their personal writing and submit it to the teacher. - Students self-evaluate their writing. - Students peer-review their classmates' writing.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

- Conclusion

This study proposes a teaching process for creating informational texts using the flipped classroom model to optimize the self-directed learning competence of 10th-grade students in Literature. With a three-stage teaching process, learners are empowered to master, explore, discover, and construct knowledge. Students' learning activities are situated within a planned framework, organized, monitored, and adjusted by the educator. In this study, we developed a rubric-based toolset to assess students' self-directed learning competence. Creating informational texts helps learners better understand the structure, formatting, and composition process of this text type. Through the self-study process, students have the opportunity to explore new knowledge across various aspects of life; this is a vital skill for keeping pace with the rapid changes of contemporary life.

- Recommendations

For this theoretical model to be effective in practice, we encourage educators to build academic communities to enhance the development of synchronized digital learning resources (lecture videos, self-directed learning guides, teaching procedures, etc.). Simultaneously, we recommend flexibly adjusting assessment criteria to prioritize the learner's self-directed experiential process rather than solely grading the final product.

5. ACKNOWLEDGMENTS AND INFORMATION NOTE

We would like to express our sincere gratitude to the Conference Organizing Committee for hosting this prestigious conference, which provided us with the valuable opportunity to present our research findings.

REFERENCES

1. Abeysekera, L., & Dawson, P. (2014). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: Definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research & Development, 34*(1), 1-14.

2. Akçayır, G., & Akçayır, M. (2018). The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. *Computers & Education, 126*, 334-345.

3. Aljohani, M. (2017). Constructivism and flipped learning. In *The role of web-based flipped learning in EFL learners' critical thinking and learner engagement*.

4. Anh, C. T. V. (2018). The flipped classroom method. *Ba Ria - Vung Tau University Journal of Science, 2*(10), 1-8.

5. Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education.

6. Bishop, J. L., & Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. *120th ASEE Annual Conference & Exposition*.

7. Brunsell, E., & Horejsi, M. (2013). *A flipped classroom in action*. NSTA Press.

8. Cabi, E. (2018). The impact of the flipped classroom model on students' academic achievement. *International Review of Research in Open and Distributed Learning, 19*(3), 202-221.

9. Candy, P. C. (1991). *Self-direction for lifelong learning: A comprehensive guide to theory and practice*. Jossey-Bass.

10. Cevikbas, M., & Kaiser, G. (2022). Promoting personalized learning in flipped classrooms: A systematic review study. *Sustainability, 14*(18), 11393.

11. Dai, N. V., & Anh, D. T. V. (2019). Developing a self-directed learning competence framework for high school students in Chemistry teaching using the blended learning model. *Journal of Education, 458*, 45-50.

12. Garrison, D. R. (1997). Self-directed learning: Toward a comprehensive model. *Adult Education Quarterly, 48*(1), 18-33.

13. Hang, N. T. T. (2020). Developing self-directed learning competence for primary school students in Science teaching under the 2018 General Education Curriculum. *Vietnam Journal of Educational Sciences, 30*, 25-26.

14. Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.

15. Hien, P. T. T. (2020). Orientation on teaching reading comprehension of informational texts in high school subjects. *Vietnam Journal of Educational Sciences, 36*, 30-35.

16. Jang, H. Y., & Kim, H. J. (2020). A meta-analysis of the cognitive, affective, and interpersonal outcomes of flipped classrooms in higher education. *Education Sciences, 10*(4), 115.

17. Keene, E. O. (2008). *To understand: New horizons in reading comprehension*. Heinemann.

Lan, T. T. (2016). Proposing a concept of "Informational text" associated with text linguistic styles for the high school Literature curriculum. *Journal of Educational Science, 132*, 56-59.

18. Linda, L. (2000). *Self-directed learning: Theory and practice* [Doctoral dissertation, University of Technology, Sydney].

19. Luong, V. X. (2011). *Vietnamese Dictionary*. Da Nang Publishing House.

20. Maloch, B., & Bomer, R. (2013). Teaching about and with Informational Texts: What Does Research Teach Us?. *Language Arts, 90*(6), 441-450.

21. Ministry of Education and Training. (2017). Critical thinking & The flipped classroom. ETEP Training Materials.

22. Ministry of Education and Training. (2018). General Education Curriculum: Master Program.

23. Ministry of Education and Training. (2018). General Education Curriculum: Literature Subject.

24. Morris, T. H. (2019). Self-directed learning: A fundamental competence in a rapidly changing world. *International Review of Education, 65*(4), 633–653.

25. Nam, N. T. H., & Hieu, D. T. H. (2017). Textbook on Methods for teaching reading. Can Tho University Publishing House.

26. Nam, N. T. H., et al. (2026). Textbook on Informational texts and methods for teaching informational texts. Can Tho University Publishing House.

27. Nguyen, N. C., & Thom, L. T. (2025). Designing integrated teaching activities in 10th-grade Literature using the flipped classroom model. *Journal of Education, 25*(7), 105-111.

28. Nhi, N. T. (2016). Fostering self-directed learning competence for students through the use of mind maps in teaching Physics at high school. *Journal of Educational Science, 127*, 7-9.

29. Ogle, D., & Blachowicz, C. L. Z. (2002). Beyond literature circles: Helping students comprehend informational texts. In C. C. Block & M. Pressley (Eds.), *Comprehension instruction: Research-based best practices* 259-274, Guilford.

30. Persky, A. M., & McLaughlin, J. E. (2017). The Flipped Classroom – From Theory to Practice in Health Professional Education. *American Journal of Pharmaceutical Education, 81*(6), 118.

31. Phuong, L. T., & Anh, B. P. (2017). Teaching using the flipped classroom model to develop students' self-learning competence. *Journal of Science, University of Education - Vietnam National University, Hanoi, 10*, 1-8.

32. Quynh, N. T. X. (2022). Proposing a writing process for informational texts for high school students based on the process-genre approach. *Journal of Education, 23*(5), 1-6.

33. Quynh, N. T. X., et al. (2022). Applying Graphic Organizers in teaching writing informational texts in high school Literature. *Journal of Science, Vinh University, 51*(2B), 48-60.

34. Robert Talbert. (2017). *Flipped Learning: A Guide for Higher Education Faculty*. Stylus Publishing.

35. Strelan, P., Osborn, A., & Palmer, E. (2020). The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance across disciplines and education levels. *Educational Research Review, 30*, 100314.

36. Taylor, B. (1995). *Self-directed learning: Revisiting an idea most appropriate for the middle school students*.

37. Thai, L. Q. (2019). Developing a self-directed learning competence framework and assessing the self-directed learning status of high school students. *HNUE Journal of Science: Educational Sciences, 64*(9), 188-197.

38. Thuy, B. T. (2022). Developing self-directed learning competence in Literature for middle school students. *Journal of Science, 18*(12), 49-56.

39. Tran, Q. V. N., & Tran, Q. T. K. (2024). The effect of flipped classroom model on learner autonomy from non-English majored students' perspectives. *Ho Chi Minh City Open University Journal of Science: Social Sciences, 14*(2), 67-81.

40. Trang, N. H., & Thom, B. T. (2023). Organizing teaching of the topic “Chemical bonds” (Chemistry 10) using the “Flipped classroom” model to develop students’ self-directed learning competence. *Journal of Education, 23*(7), 19-23.

41. Tung, L. T. K. (2025). Proposing a process for applying the Posse strategy towards developing reading comprehension competence of informational texts for high school students. *Journal of Education, 25*(18), 30-35.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

BRIDGING THE PEDAGOGICAL GAP: AN AI-BASED SUBJECT IMPROVEMENT PLAN (AI-SIP) FOR REMEDIATION OF GENETICS MISCONCEPTIONS IN BEIRUT PUBLIC SCHOOLS

Ghina El Zein

Saint Joseph University, Faculty of Educational Sciences, Beirut, Lebanon

ABSTRACT

Introduction and Purpose: The integration of Artificial Intelligence in Education (AIED) presents a transformative opportunity to address pedagogical challenges in complex scientific disciplines. In Lebanese public schools, Grade 11 genetics education is often hindered by persistent student misconceptions and traditional, teacher-centered instructional methods. This study introduces the AI-Based Subject Improvement Plan (AI-SIP), a data-driven framework designed to provide personalized scaffolding and real-time diagnostic feedback to remediate conceptual errors in genetics.

Materials and Methods: Employing a robust mixed-methods approach, this research investigates the efficacy of the AI-SIP among Grade 11 students in Beirut. The study evaluates academic achievement, the reduction of misconceptions, and the development of critical thinking skills. Furthermore, the research examines the moderating role of teacher AI readiness using the Technological Pedagogical Content Knowledge for AI (TPACK-AI) framework and the Technology Acceptance Model (TAM).

Results: Preliminary findings from literature and exploratory analysis suggest that while national policies like the CERD National AI Education Framework (2025) provide a strategic roadmap, the success of AI-SIP implementation depends heavily on addressing the "pedagogical gap". Data indicates that effective integration hinges on targeted teacher professional development and evidence-based instructional design.

Discussion and Conclusion: This research contributes to the global discourse on human-centered AI in STEM education, particularly for resource-constrained environments. In conclusion, the findings offer actionable insights for educational reform and policy, suggesting that AI-SIPs can foster deeper conceptual understanding when supported by adequate teacher training and strategic frameworks.

Key Words: Artificial Intelligence in Education (AIED); Genetics Pedagogy; AI-SIP; TPACK-AI; Student Misconceptions; Educational Reform; STEM Education; Lebanon.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A PEDAGOGICAL SIMULATION TOOL FOR MAJOR RISK EDUCATION: TOWARD A NEW APPROACH TO PREVENTIVE EDUCATION IN LIFE AND EARTH SCIENCES (SVT) — CASE OF THE PROVINCIAL DIRECTORATE OF OUJDA-ANGAD, MOROCCO

Dr. Soufiane Ziani

Laboratory of Innovation in Sciences, Technology and Education, Regional Center for the Professions of Education and Training (CRMEFO), 60000, Oujda, Morocco.

ORCID ID: 0000-0003-3302-3973

Mr. Soufiane Ben Mbarek

Laboratory of Innovation in Sciences, Technology and Education, Regional Center for the Professions of Education and Training (CRMEFO), 60000, Oujda, Morocco.

ABSTRACT

Major risks are low-frequency but high-impact events that can cause significant human, material, and environmental losses. In Life and Earth Sciences (SVT), these risks—such as earthquakes, floods, wildfires, landslides, and environmental pollution—are typically taught through theoretical approaches, which often hinder learners' understanding of complex and hazardous phenomena. This limitation reduces student engagement and constrains the development of a genuine culture of risk prevention. In the Moroccan context, little empirical research has examined the pedagogical potential of artificial intelligence (AI) in enhancing the teaching and learning of major risks. This study therefore aims to investigate the extent to which AI-based pedagogical simulations can improve students' understanding of major risks and strengthen preventive education in SVT. The study adopts a field-based survey methodology targeting SVT teachers in secondary education within the Oujda-Angad province. Data were collected through structured questionnaires to explore teachers' perceptions, practices, and readiness regarding the integration of AI tools in risk education. The findings indicate that the integration of AI as a pedagogical simulation tool offers a more interactive, visual, and engaging learning environment. AI-based simulations facilitate active learning, enhance student motivation, and support the development of decision-making skills. Furthermore, they contribute to a deeper understanding of dynamic risk phenomena and promote a stronger culture of prevention and resilience. The results also highlight the need for gradual integration of AI into curricula, targeted teacher training, and the wider adoption of immersive learning environments. This study provides new empirical insights into the role of AI in transforming preventive education in SVT within the Moroccan educational context. It highlights AI-driven simulation as an innovative pedagogical approach capable of shifting learners from passive recipients to active participants, thereby supporting more effective and sustainable risk education.

Keywords: artificial intelligence; pedagogical simulation; major risks; preventive education; Life and Earth Sciences (SVT); Morocco

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

THE ART OF CHARACTER CONSTRUCTION THROUGH PHYSICAL DESCRIPTION IN LU XUN'S SHORT STORIES

Hau Phuong Ngan NGUYEN
Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam
Tuyet Minh QUACH
Can Tho University, Can Tho City, Vietnam
Chi Nguyen NGUYEN
Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam
Thanh Luan NGUYEN

ABSTRACT

When discussing the achievements of modern Chinese literature, Lu Xun is regarded as one of the most representative writers frequently mentioned by scholars. He made significant contributions to the genre of short stories in both domestic and international literary circles. Lu Xun's contributions extend across both content and artistic aspects. In terms of artistic achievement, the art of constructing character personality through physical description, although not yet widely disseminated or extensively studied, remains vivid and remarkable. Therefore, this study focuses on examining the art of constructing character personality through physical description in several of Lu Xun's representative short stories, while also comparing them with selected works of classical Chinese narrative literature. Through this approach, the study aims to generalize the writer's distinctive and creative inheritances in this aspect by examining his works from the perspective of modern poetics and situating them within the cultural-social context of early twentieth-century China. In doing so, it seeks to explain the relationship between art and reality in Lu Xun's literary creation.

Keywords: *art, physical description, character personality, short story, Lu Xun.*

1. INTRODUCTION

Lu Xun made great contributions to the modernization of Chinese national literature. His short stories contain a sophisticated combination of profound content and elaborate artistic techniques. In terms of art, the technique of constructing character personality through physical description, inherited from the traditional art of spirit transmission, is a research direction that reveals the writer's creative inheritance in character construction.

In Vietnam, previous studies on the artistic aspects of Lu Xun's short stories have mainly followed two major approaches. The first approach focuses on poetics in order to explore the principles of the writer's artistic creation. These studies examine elements such as the narrator image, tone, form, and language to identify the distinctive artistic features of Lu Xun's short stories (Tieu, 1988; Thu, 2005). This perspective shows that researchers pay particular attention to the artistic form of a literary work and regard it as an independent artistic whole capable of creating literary value without relying on historical or social factors. Recently, a second approach has emerged, combining poetics and sociology. This approach systematizes the art of character construction in Lu Xun's short stories and compares it with Chinese narrative works in order to identify the writer's inheritances and innovations in relation to tradition. In terms of inheritance, Lu Xun employed traditional techniques such as putting the finishing touch, seeing the large through the small, and character typification. On that foundation, he carried out many important innovations in character construction in accordance with the spirit of modern literature.

Characters in Lu Xun's short stories not only represent different social types but also become discursive subjects reflecting ideological conflicts and the spiritual tragedies of Chinese people in the early twentieth century. At the same time, the innovation of the narrator image expanded the expressive capacity of the short story and created a polyphonic quality in the works. Therefore, it can be affirmed that the art of character construction in Lu Xun's short stories made a significant contribution to the modernization of classical Chinese fiction while establishing the writer's pioneering position in modern Chinese literature (Ngan *et al.*, 2026). The technique of constructing character personality through physical description was mentioned in the above study within the framework of seeing the large through the small. However, the discussion was limited to the aspect of inheritance and did not fully clarify Lu Xun's individual creativity in applying this technique to character construction. In particular, previous studies have not adequately addressed his attention to physical details, especially the eyes, as a means of revealing character traits and conveying the spiritual maladies of the Chinese people, moving away from the didactic tendency commonly found in character portrayal in classical narrative works.

On that basis, this study approaches Lu Xun's works from the perspective of modern poetics-the second research approach to the artistic aspects of his short stories-in order to examine the technique of constructing character personality through physical description. Through this approach, the study aims to reveal Lu Xun's originality in employing traditional artistic techniques to focus on the people and remedy the shortcomings of the national character. At the same time, the study places Lu Xun's short stories within the cultural-social context of early twentieth-century China in order to explain the relationship between art and reality.

2. MATERIALS AND METHODS

- Research materials: To support the study of the technique of constructing character personality through physical description in Lu Xun's short stories and to place them in relation to selected works of classical Chinese narrative literature, thereby identifying the writer's creative inheritance, this study focuses on Lu Xun's short stories in *Call to Arms* and *Wandering*. In addition, the study refers to representative classical Chinese works such as *Strange Tales from a Chinese Studio* and *The Scholars* in order to highlight Lu Xun's creative inheritance in applying traditional techniques to the construction of character personality through physical description.

- Research methods:

+ Analytical-synthetic method: This method is employed to identify and synthesize the representative features of the technique of constructing character personality through physical description and to analyze Lu Xun's creative inheritance in this artistic aspect.

+ Poetic method: This method approaches the selected short stories as independent artistic wholes in order to draw conclusions about Lu Xun's creative consciousness in the technique of constructing character personality through physical description in comparison with earlier writers of classical Chinese narrative literature.

+ Narratological method: This method focuses on analyzing the modes of storytelling and narrative organization in Lu Xun's short stories, which directly influence the formation and development of character personality.

+ Comparative method: This method is used to compare the technique of constructing character personality through physical description in Lu Xun's short stories with that in classical Chinese narrative works in order to identify similarities and differences. On that basis, the study aims to generalize Lu Xun's inheritance and innovations in the art of character construction, thereby demonstrating his pioneering role in modern Chinese literature.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

3.1. Theoretical overview of the classical narrative terms and modern short story

3.1.1. Classical narrative

Classical narrative works (Chinese fiction) in classical Chinese literature developed along a path very different from that of the West. For a long period, fiction existed as a branch of historiography, associated with recording events, narrating strange tales, everyday stories, and accounts of human relationships and worldly affairs. Tracing its origins, Lu Xun was the first scholar to compile a history of Chinese fiction. He stated: "As for China, people often say that there should be a history of fiction divided according to dynastic boundaries, and this is certainly not a shallow or groundless opinion"; "Up to now, Chinese fiction has had no history. What existed first appeared in histories of Chinese literature written by foreigners, and later there were also works written by Chinese scholars, but they were all very brief, amounting to less than one-tenth of a book. As a result, fiction has remained unclear" (Tan, 2002). He also recalled a statement by Zhuang Zhou: "Cultivating xiaoshuo in order to seek favor from a county official" (The External Things, Zhuangzi), but explained that the term originally referred to trivial and commonplace sayings that contained no profound principles and therefore did not carry the same meaning as the term xiaoshuo used in later periods. Huan Tan stated: "The School of Fiction gathers trivial sayings and fragmented stories, using examples to create short books; nevertheless, they can still serve as lessons for self-cultivation and household management". According to Confucius: "Although it is a minor Way, it certainly contains something worthy of appreciation; however, if pursued too far, it may lead to obstruction". Lu Xun interpreted this statement as follows: "For this reason, the gentleman does not practice it, yet neither does he abolish it. Those with some knowledge of village and rural life who are capable of writing should continue doing so and not neglect it. If among their words there is even a single useful statement, it may still be regarded as the opinion of an ordinary person or someone from the countryside" (Tan, 2002). In general, Chinese fiction was initially regarded as a minor form of learning existing on the margins of orthodox scholarship. It referred to trivial, ordinary, and popular stories that were not considered to contain significant meanings or moral principles, and it originated from the tradition of historical chronicles.

From the twentieth century onward, the term classical narrative came to be used within a new terminological system established to classify newly emerging forms of fictional prose narratives, including short fiction (duanpian xiaoshuo), medium-length fiction (zhongpian xiaoshuo), and long fiction (changpian xiaoshuo). The short story gradually replaced earlier forms such as chuanqi, zhiguai, and zhiren narratives, while the novel adopted numbered chapters or simply separated narrative sections with textual symbols, replacing older forms such as huaben, shuoshu, chapter-divided novels, and historical romances.

3.1.2. Modern short story

From the twentieth century onward, the term duanpian xiaoshuo has been used to refer to the short story genre. Compared with the novella and the novel, the short story is a short narrative form characterized by brevity, a limited number of characters, a compact structure, and diverse themes, including private life, social affairs, and epic subjects. Its most distinctive feature is its brevity, which allows it to be read in a single sitting. This genre is usually written in prose and deals with most aspects of human and social life. However, the short story does not present life in its entirety. Instead, it focuses on a particular relationship, state, phenomenon, or characteristics to explore an idea, a way of life, a principle of human existence, or people's responses to life. Therefore, short stories often have few characters, few complex events, and limited plot lines. The plot of a short story is usually limited to a specific space and time and aims to reveal meaningful insights into life and human beings. Its structure generally does not develop through multiple narrative layers but is often built on contrast, comparison, or artistic association.

In the modern era, the short story developed a new form with a strong spirit of innovation in artistic thinking. It became a distinctive feature of modern literature and gradually established an important

position in the development of world literature. Therefore, the short story can be considered a relatively late phenomenon in literary history (Long, 2009; An, 2023; Ngan *et al.*, 2026).

3.2. Research results

3.2.1. The technique of constructing character personality through physical description in classical Chinese narrative works

In the tradition of Chinese narrative literature, especially from zhiguai stories of the Six Dynasties period and chuanqi tales of the Tang dynasty to huaben stories of the Ming and Qing dynasties, many writers used the technique of constructing character personality through physical description at an early stage. Seemingly minor elements such as a physical feature or a small gesture were often used as artistic signs to summarize a character's personality, social status, or social rules in order to convey moral and ethical values.

In The Girl in Green (*Lüyi Nü - Strange Tales from a Chinese Studio*), Yu Jing meets a young woman who has just praised him outside the temple window. He is described as being "surprised and standing up to look, only to see a girl in green clothes and a long skirt, graceful and beautiful beyond compare" (Linh, 2003). Yu also notices that "her waist was less than two hand spans wide" (Linh, 2003). This delicate and graceful appearance not only describes her beauty but also suggests her refined, gentle, and otherworldly personality. More importantly, these details also foreshadow the unusual nature of Lüyi Nü. The character's extremely slender and soft appearance seems unreal, making her appear as if she does not fully belong to the human world. This is explained at the end of the story when her identity is revealed: Lüyi Nü is actually a ghost (Ngan *et al.*, 2026). Therefore, physical description serves not only as a way to portray appearance but also as a tool for the writer to construct character personality, create a mysterious atmosphere, and prepare for the development of the plot.

In *Using Stories to Express Great Principles* (*The Scholars*), the character Wang Mian is a typical example showing that Wu Jingzi does not directly praise his integrity but instead presents a few external details to express it. The details that Wang Mian made a hat in the style of Qu Yuan; that in the spring weather, among blooming flowers and green willows, he wore a tall hat and loose clothes, sang freely while holding a whip, drove an ox cart carrying his mother around the village and by the lake, while groups of children ran after him laughing and he paid no attention to them, reveal a delicate, sensitive, and pure artistic soul. As a result, the character appears to be someone who follows aesthetic inspiration rather than pursuing fame and wealth.

From Lüyi Nü to Wang Mian, it can be seen that in the Chinese narrative tradition, elements such as appearance, gestures, and demeanor were often constructed as artistic signs that reflected the personalities and qualities of characters. Based on the traditional belief that a person's appearance reflects their inner nature, external features were often closely connected with inner qualities, making physical appearance a mirror of the inner self. At the same time, these details also had a foreshadowing function, helping readers anticipate the characters' destinies, psychological development, and roles in the progress of the plot. In this way, writers in classical Chinese literature were able to convey character personality in support of moral instruction and didactic purposes.

3.2.2. Spiritual maladies in Lu Xun's short stories

At that time, the situation in China actually needed a new direction. Lu Xun was also searching for a way forward. The Xinhai Revolution in 1911 ultimately turned out to be only "old wine in a new bottle", changing the form but not the content. The writer once expressed, after witnessing people happily watching the execution of a fellow villager in public: "If people are still ignorant and cowardly, then even if they are physically strong, they can only become the kind of people who are beheaded in public, or the kind of people who stand and watch such meaningless executions. On the other hand, if they are sick and weak and may die a little earlier, it is not necessarily unhappiness. Therefore, what we need to

do first is to change their spirit, and in my view at that time, there is nothing better than using literature to change the spirit" (Tan, 1994).

Lu Xun was not the first person to propose the slogan of reforming the national character, but he inherited it and developed this idea to a deeper level of human nature. He became a great writer first because he used his pen as a weapon to fight for the path of national liberation. Lu Xun, as both a thinker and a writer, realized this goal clearly and deeply through literature. He brought literature down from the "ivory tower" into real life, and at the same time removed the long-standing idea that literature should serve morality ("wen yi zai dao"), so that literature could return to its true nature: focusing on human beings and awakening human conscience. Throughout the twentieth century, this idea became a kind of moral and spiritual command in modern Chinese literature.

The content of Lu Xun's national character reform includes two parallel aspects: destruction and construction. First is the removal of feelings of inferiority, conservatism, a spirit of false satisfaction, and a passive attitude of accepting the status quo. With a spirit of compassion for suffering and anger toward lack of struggle, he did not mock the people for entertainment, but to awaken them. The deeper meaning of this idea is to force people to become aware of their real position and condition. This spirit was applied in the practice of the Chinese revolution, when raising awareness became a driving force for the masses to stand up for themselves.

In his first short story, *Diary of a Madman*, which belongs to a system of works where the plot is largely dismantled, the writer, through the image of the Madman, exposes the history of thousands of years of Chinese feudal society as a history of cannibalism. In the history of Chinese literary criticism, some scholars argue that the Madman is just an ordinary mad person. First, idealizing the Madman into a non-ill revolutionary fighter and treating every statement of his as a truth reflecting reality goes against the intention of the work and the writer. Second, a true democratic fighter, who is strong and firm, would hardly become so weak and easily mad; and once he is mad, how can he still continue to fight? If he still shows fighting courage while mad, then why, after recovering, does he enter the official system and submit to reactionary forces (Chanh *et al.*, 2023). The Madman realizes the false and hypocritical nature of the people around him on a bright moonlit night, but after recovering from his illness, he submits. This is exactly the half-hearted and backward state of the people that the writer wants to eliminate.

Lu Xun wants to remove the type of personality similar to Belikov (*The Man in a Case*) and Wei Lianshu (*The Lonely Man*), because they are people who "close the door and wrap themselves in blankets". At the very beginning, Lu Xun writes: "Now, looking back, I realize that my friendship with Wei Lianshu was somewhat unusual: it began with a funeral and also ended with a funeral" (Tan, 1994). The narrator states that Lianshu: "He made himself lonely. Like a silkworm, he spun a cocoon around himself and trapped himself inside it. He should look at life in a more positive way" (Tan, 1994). This is because he did everything he once hated and opposed everything he once supported. As stated by Liang's grandmother, as told by Liang's younger brother: "In the past, he was even more afraid of children than of adults, always gentle and soft with them. Recently, however, he has changed completely; he talks more and jokes more. The Liang children like playing with him very much; they run into his room as soon as they have the chance. He invents many games to play with them. Whenever they ask for something, he makes them bark like dogs or bow their heads to the ground before he agrees to buy it" (Tan, 1994).

Fang Xuanyue (*Dragon Boat Festival*) is also a very harmful type of person. Previous scholars have argued that he understands right and wrong and feels anger when seeing elders oppress young people or soldiers beat rickshaw pullers, but when it comes to struggle, he shrinks back and only seeks personal safety. Lu Xun aims to eliminate this weak character, because for him, such people can sometimes be more dangerous than enemies (Giang *et al.*, 2005). Fang Xuanyue has knowledge of right and wrong and feels angry when he sees injustice, but he then uses empty reasoning to keep himself safe. Even when falsely accused or unpaid, he remains silent as long as his personal status and interests are not affected. He even secretly criticizes those who stand up for justice: "The minister falsely accused him

of mental illness; as long as his position was not affected, he refused to speak out. His salary had not been paid for more than half a year; as long as he still had enough income from his official position, he refused to ask for it. Not only did he not demand it, but when other teachers united to request payment, he privately thought they were being reckless and complained too much. When he later heard colleagues mocking teachers, he only became slightly annoyed. Afterwards, he convinced himself that his annoyance came from the government owing him money; unlike other officials, even if they did not teach, they could still remain calm as usual" (Tan, 1994).

To a certain extent, these people are the reason why the enemy can rise and gain dominance. And when the writer strongly calls for the removal of these illnesses, it is also the moment when the idea of healing is established, and the hope for the liberation of the people is further developed. Literature, in Lu Xun's view, is a knife that directly cuts into the spiritual disease of society-painful but necessary-to open and build the possibility of rebirth. The writer had full faith in a revolution different from the surface-level direction and policy of the Xinhai Revolution. Similarly, the question "What does this mean?" (Tan, 1994) asked by the mother of the revolutionary Xia Yu contains an implied answer to healing. The power of literature is greatly strengthened because Lu Xun was a major thinker of modern China.

3.2.3. Character construction through physical description in Lu Xun's short stories

From a microscopic detail to the macroscopic generalization of the artistic technique seeing the big from the small, Lu Xun made certain inheritances and innovations. By using specific external details, Lu Xun places within his characters hidden "icebergs". These may represent the true nature of fate or distinctive personality traits that the writer carefully constructs in an artistic way. As Giang *et al.* (2005) argue, when reading Lu Xun's short stories, one can see that there is no plot or detail that is too small to grow into something larger, and no feature that is only particular and cannot become universal. All those seemingly small and scattered details are carefully typified and are intended to refer to the broader and more general social reality.

From the observation and recognition of social illness and the situation of Chinese society, especially after the Xinhai Revolution of 1911, Lu Xun deliberately gathered and condensed these realities into one person, a few people, a teahouse, or a village. This is a highly conscious arrangement by the writer in order to express large ideas within the limited scope of a short story.

Seen from the basic theoretical system of early Chinese painting, the concept "using form to express spirit" (yi xing xie shen, 以形写神) proposed by Gu Kaizhi refers to the idea that when painting, one should not only pursue the external appearance, but also the inner essence and spirit of the object. In his view, painting form can transmit emotion; this emotion comes from the painter, and they should also include their understanding of life in the painting (Thuc, 2020). In literature, this technique is used to describe external details in order to highlight the inner soul, personality, demeanor, and temperament of the character, achieving a unity of form and spirit (combination of both).

In Lu Xun's short stories, external details are also used to reveal character personality, similar to classical Chinese fiction. The writer does not describe appearance in a complete or elaborate way but usually selects only a few typical features such as the face, skin color, eyes, posture, or clothing to express the inner nature. In particular, among external details, he pays special attention to the eyes and their subtle changes, which are the most vivid elements in expressing character personality.

Kong Yiji is described as "a tall man with greenish eyes among deep wrinkles, often with several scars, and a messy beard like a tangled heap" and he is also associated with clothing: "Although he wore a long gown, it was both dirty and torn, as if it had not been mended or washed for more than twenty years" (Tan, 1994). This appearance helps reflect his conservative, stubborn, and poor character, showing that he is easily despised and eliminated by society. In particular, the eyes of this failed intellectual highlight his fearfulness and loneliness in the society he lives in.

The narrator in *The Lonely Man* describes Wei Lianshu: "He was small and thin, with a long face. His messy hair, beard, and thick black eyebrows covered almost half of his face" (Tan, 1994). From this description, the image of an introverted, depressed, and lonely intellectual emerges. He appears in the period of the Xinhai Revolution, having partly absorbed bourgeois democratic ideas and still having the potential to rise against feudalism and call for social reform, but he is easily influenced, compromises, and eventually surrenders. If Lü Weifu is also such a type of intellectual but still wants to live, Wei Lianshu completely turns away from life. He can no longer feel pain as a driving force for awakening; he is even willing to do what he once denied and reject the values he once accepted and respected (Ngan *et al.*, 2026). This is the weakness of the petty-bourgeois intellectual of that time. However, readers do not completely hate him, because as Lu Xun suggests, before becoming a person who gradually loses humanity, Wei Lianshu once loved the innocence and purity of children, shown through his "bright eyes shining in the darkness" (Tan, 1994) - the only beautiful detail in his appearance.

Lu Xun clearly depicts the psychological traits and personalities of Chinese female intellectuals: they hold many ideals, dreams, and aspirations. However, when facing failure, they easily become pessimistic, discouraged, and unstable, becoming isolated, drifting away from their original ideals, and eventually dying both mentally and physically. The character Zijun in *Regret for the Pas*t represents such a woman. She was influenced by the May Fourth Movement: anti-Confucianism, free love, etc. She came to Quansheng with thoughts not bound by social prejudice in order to pursue her legitimate desire: "My brother belongs to me, no one has the right to interfere in my life" (Tan, 1994). However, from the beginning, Zijun still carried traditional ideas hidden in her subconscious. When hearing about patriarchal family systems, the breaking of old customs, gender equality, and writers like Ibsen, Tagore, Shelley, etc., she nodded in agreement with innocent eyes. At this stage, the female intellectual only agrees in theory. In reality, when Quansheng shows her "a copper-engraved half-length portrait of Shelley cut from a magazine" (Tan, 1994), she only glances at it and "then lowers her head, as if embarrassed. In these aspects, she has probably not yet escaped the constraints of old thinking" (Tan, 1994). Zijun has a round face, slightly pale skin, dimples on her cheeks, thin white arms, wearing a striped cloth shirt and dark trousers, and she often walks into Quansheng's room with the sound of clattering shoes and a soft smile, revealing her dimples as in her early love period. When Quansheng confesses his pure and passionate love, Zijun's face turns pale, then gradually blushes, and her eyes are innocent like a child's, showing a mixed feeling of joy, sadness, surprise, and doubt. When recalling the past, Zijun stares into empty space thoughtfully, her face gentle, and her dimples become deeper. After living with Quansheng for some time, she becomes fatter and her complexion becomes rosier, but she often looks sorrowful, especially when she forces herself to speak and smile, sweating all day, with hair sticking to her forehead and increasingly rough hands. When hearing Quansheng express his feelings, she gives a cold glance but says nothing, her face still sorrowful. When she receives the news that Zijun has lost her job under dim light, her face looks extremely miserable. When it comes to having to send her child Sui away because they cannot support it, her expression becomes more tragic than ever. At night, her tragic expression becomes even colder. Sometimes, that expression also shows a hint of warmth; her eyes suddenly shine again with the innocent joy of the past, but sometimes also show fear and panic. Although she gradually becomes numb, when she realizes that Quansheng is forcing himself to speak and smile, she loses her previous numb calmness and tries to hide it. When Quansheng finally breaks up with her, Zijun sits silently, "her face gradually turned pale, then yellow like a dead person, and in an instant returned to normal, her eyes once again shining with purity and innocence" (Tan, 1994). From these details, especially the eyes, it can be seen that she is very sensitive, pure, and sincere. She is a vulnerable type of character but also knows how to hide her feelings, which reflects the subtlety of a woman. However, the thousand-year-old feudal burden placed on women means that it is not easy for them to fight to the end. These aspects are clearly shown by Lu Xun through external details, especially the eyes and their rich changes, using the technique of character construction through physical description.

Through physical appearance reflecting personality, the writer highlights the social nature of the characters, contributing to the generalizing power of the system of typical characters in typical situations in Lu Xun's short stories. From there, each character appears with different traits, and each trait reveals or hides certain social and human conditions that need to be cured.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Conclusion

Research shows that although Lu Xun's short stories carry the spirit of innovation in modern literature, they still inherit the technique of constructing character personality through physical description from traditional Chinese novels. However, the writer also introduced his own creativity, especially in the use of external details, in particular the eyes and their subtle changes, to depict inner emotional life and reflect issues related to character personality, which are also personalities representing national characteristics. Through this, the technique of constructing character personality through physical description not only serves the function of creating the aesthetic individuality of characters but also becomes a means of expressing Enlightenment thought and social criticism. From the perspective of poetics combined with the socio-cultural context of early twentieth-century China, it can be affirmed that the art of constructing character personality through physical description is a typical expression of the combination between inheritance and innovation in Lu Xun's short stories, contributing to the artistic value and profound ideological significance of his works.

Recommendations

From the research results, it can be seen that further exploration of the artistic techniques for character construction that Lu Xun inherited and creatively developed based on tradition will open new approaches. Through this, it will help clarify more clearly the development of Chinese narrative art from classical to modern literature, as well as the relationship between art and reality in his works. Not only limited to inherited innovation, future studies may also focus on Lu Xun's innovations compared with tradition when contrasted with classical works. A typical example is the discourse nature of character monologues in his short stories, in order to see the multiple dimensions of both inheritance and innovation in the writer's work, thereby contributing to confirming Lu Xun's pioneering role in modern Chinese literature.

5. ACKNOWLEDGMENTS AND INFORMATION NOTE

We would like to sincerely express our gratitude to the conference organizing committee for hosting a reputable academic conference, which has provided us with the opportunity to present and publish our research.

REFERENCES

1. An, L. N. (2023). 150 literary terms. Hanoi: Literature Publishing House.

2. Chanh, N. T. M., & Lien, N. T. M. (2023). Typical genres and authors of Eastern literature. Hanoi: Pedagogical University Publishing House.

3. Giang, L., & Dinh, N. V. (2005). Approaching Lu Xun. Hanoi: Youth Publishing House.

Linh, B. T. (2003). Anthology of Liao Trai Zhi Wei (Tan Da translation). Hanoi: Literature Publishing House.

4. Long, N. V. (2009). Analyzing modern Vietnamese literary works from a genre perspective. Hanoi: Vietnam Education Publishing House.

5. Lu, X. (2002). History of Chinese fiction (translated by Luong Duy Tam & Luong Duy Thu). Hanoi: Vietnam National University Publishing House. (Original work published 1924).

6. Ngan, N. H. P., et al. (2026). The art of character development in Lu Xun's short stories through two volumes Nà hăn and Páng huáng - inheritances and innovations. Education and Society Magazine, March Special Issue, 514-518.

7. Ngan, N. H. P., et al. (2026). The art of "putting the finishing touch" in Lu Xun's short stories across the collections Nà hăn and Páng huáng. In Proceedings of the Ahi Evran International Congress on Scientific Research - VI (June 4-7, 2026, Pristina, Kosovo).

8. Tan, L. (1994). Lu Xun: Collection of stories (translated by Truong Chinh). Hanoi: Culture Publishing House.

9. Thuc, N. A. (2020). Historical origins and cultural significance of traditional Chinese painting. Journal of Foreign Studies, 36 (2), 196-207.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

LEGAL CONTROL OF ENVIRONMENTAL HARM IN MOROCCO: EFFECTIVENESS AND LIMITATIONS

HARIBOU Nissrine

Doctoral Student in Private Law, Faculty of Law, Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

NFISSI Kawtar

[2] Professor of Private Law, Faculty of Law, Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

ABSTRACT

Environmental protection has become a major concern for contemporary legal systems due to the growing environmental challenges affecting both natural resources and sustainable development. In this context, Morocco has adopted a significant legal and institutional framework aimed at strengthening environmental preservation through preventive and repressive mechanisms. However, despite the legislative progress achieved over recent decades, the effectiveness of legal control over environmental harm remains confronted with several practical and institutional limitations.

This paper examines the legal mechanisms established in Morocco to monitor and address environmental damage, with a particular focus on the effectiveness of administrative and judicial control systems. It analyzes the role of public authorities, environmental inspection bodies, and judicial institutions in ensuring compliance with environmental standards and sanctioning violations. The study also highlights the challenges that hinder the effective implementation of environmental legislation, including institutional fragmentation, limited enforcement mechanisms, procedural constraints, and difficulties related to environmental monitoring and access to information.

Furthermore, the paper explores the extent to which Moroccan environmental policy aligns with international environmental standards and sustainable development objectives. By adopting an analytical and critical legal approach, this research seeks to assess the capacity of the Moroccan legal framework to provide effective environmental protection while identifying possible reforms capable of improving environmental governance and strengthening legal accountability.

The study ultimately argues that achieving effective environmental protection in Morocco requires not only a strengthened legislative framework, but also enhanced institutional coordination, stricter enforcement mechanisms, and a more integrated approach to environmental governance.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

DIGITALIZATION OF INHERITANCE LAW: LEGAL CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE PROTECTION OF PROPERTY RIGHTS

Prof.Ass.Dr. Kastriote VLAHNA

University "Ukshin Hoti" Prizren, Faculty of Law, Department of Civile Law, Prizren, Kosovo.

ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0001-6100-5794

Prof. Dr. Hajredin Kuçi

University "Hasan Prishtina" Pristina, Faculty of Law, Pristina, Kosovo.

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-1389-980X

ABSTRACT

The rapid development of digital technologies has significantly influenced traditional legal institutions, including inheritance law. The increasing use of digital assets, online financial accounts, cryptocurrencies, and electronically stored personal information has created new legal challenges regarding succession and the protection of property rights after death. While traditional inheritance rules were designed for tangible property and conventional ownership structures, the digital era requires legal systems to address issues related to access, transferability, valuation, and inheritance of digital assets.

This paper examines the legal implications of digitalization in inheritance law, with particular emphasis on the protection of heirs' rights and the legal status of digital assets within succession proceedings. The study analyzes existing legislation and judicial approaches in selected European jurisdictions and evaluates the extent to which current legal frameworks are capable of addressing emerging challenges. Particular attention is devoted to the legal treatment of cryptocurrencies, social media accounts, cloud-based data, and other forms of digital property.

Using a comparative legal methodology, the paper identifies gaps in current legislation and proposes recommendations aimed at strengthening legal certainty and enhancing the protection of property rights in the context of digital inheritance. The findings contribute to the broader discussion on the modernization of civil law and the adaptation of inheritance rules to technological developments.

Keywords: inheritance law, digital assets, succession, property rights, civil law, legal harmonization.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

THE INFLUENCE OF OTTOMAN, SOCİALİST, AND EUROPEAN UNİON LEGAL TRADİTİONS ON CONTEMPORARY LEGAL SYSTEMS İN BALKAN COUNTRİES

Muratcan IŞILDAK

International Balkan University, Institute of Law, Department of Balkan Studies, Üsküp

ORCID:0000-0002-8156-4371

Abstract: In today's legal systems in the Western Balkans are complex bodies that have evolved under a century-long flux of political and ideological change. Ottoman imperial rule, twentieth-century socialist law, and current European Union integration have all left broad and deep traces in legal institutions. This article studies the interplay or overlap of legal traditions within the contemporary Balkan states. It compares and contrasts Serbia, North Macedonia, Albania, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, and Kosovo, arguing that present-day Balkan legal systems are hybrid legal orders comprising an interplay among imperial administrative traditions, socialist legacies, and a harmonization toward European law. The article contends that even though EU integration is the overwhelming force for legal change, historical legacies affect court culture, office practices, and the everyday application of rule-of-law ideals. The article contributes to the field of comparative legal studies and European integration by providing a historical and institutional perspective on legal change in the Balkans.

Keywords: Balkan legal systems, Ottoman law, socialist law, EU integration, Europeanization, rule of law, comparative legal studies.

One of the most legally and politically striated and dynamic regions of Europe is possibly the Balkan Peninsula. This region lies between and has been influenced by lots of different civilizations and empires, characterized by a succession of different political authorities that introduced new concepts and legal models. The legal systems of the states of the Western Balkans (Serbia, North Macedonia, Albania, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, and Kosovo) have been subject to various genetic codes that stem from the Ottoman Empire, socialist ideology, and European Union accession. The grasp of the nature of these legal systems, one needs a history that allows for the coexistence of divergent legal cultures. Whereas constitutional orders in western European legal systems remained relatively stable, legal systems in the Balkans underwent several changes in regime and institutional configurations. Each political shift brought along a set of new legal rules, and at the same time a dialogue with the previous institutional legacies. During their almost 500-century rule in the Balkans, the Ottomans imposed a centralized and yet legally plural system. Ottoman legislation was a hybrid mix of Islamic law, imperial legislation, and tradition. Such an arrangement provided for the long-term coexistence of different communities within the empire and helped them to preserve some degree of legal independence. Many Balkan states inherited the administrative culture and mechanisms of the Ottoman past.

The second occurred in the twentieth century, specifically after the Second World War, with the establishment of socialist regimes. Socialist regimes altered legal systems according to Marxist-Leninist dogma, which advocated state ownership, centralized economic planning, and a political role for law. In Yugoslavia, a unique system of socialist self-management developed, which also had a corresponding impact on legal institutions in the republics that today constitute independent states.The fall of socialism triggered a third phase of legal change in the late twentieth century. New independent Balkan states quickly began a democratization process coupled with market liberalization and constitutional change. In just a few years, European Union membership became the dominant paradigm informing legal reforms. In order to join the EU, candidate states must implement the acquis communautaire, a set of thousands of legal acts that govern everything from competition law to environmental protection to

human rights and judicial independence. Nevertheless, these legal systems also exhibit the influence of their past. Administrative, judicial, and governmental traditions can persist in a Balkan country's rule of law long after Ottoman or socialist power has faded from regional memory. Even within the EU law, the past lives on. The legal systems in the Balkans continue to be influenced by administrative customs and judicial or governance cultures that prevail in other parts of the world, or that have been inherited from the Ottoman or socialist past.

Historical Foundations of Balkan Legal Systems

Pre-Ottoman Legal Traditions

Prior to the Ottoman expansion in the fourteenth and fifteenth centuries into Southeastern Europe, the Balkans were experiencing a complex dynamic of imperial, local, customary, and political/legal institutions. The legal traditions in the Balkans prior to Ottoman rule cannot be subsumed under the heading of a "unified" legal system, but instead represented a set of diverse legal traditions based in Roman law, Byzantine practices, Slavic customs, and medieval law codes. These systems helped establish the foundational institutions upon which later legal structures were built. The Roman law spread throughout the Balkans during its period of rule and was one of the biggest influences on the early development of law in the Balkans in general. The Balkans came under the rule of the Roman Empire in the 2nd century CE. Roman rule brought written laws and courts, procedures that emphasized the rationality of legal outcomes, and substantial codification of legal rights and duties that would prove influential not only on Byzantine law but also on medieval Balkans legal codes in general. Although the Western Roman Empire collapsed in the 5th century CE, its eastern continuation, the Eastern Roman or Byzantine Empire, remained a legal power in large parts of the Balkans for a few centuries thereafter. Byzantine Empire was the most important to the Balkans. The current Byzantine law is a descendant of the final codification of Roman law, Emperor Justinian (6th century)'s Corpus Juris Civilis. The book is one of the greatest legal documents in European history. During its rule, the Byzantine Empire contributed a great deal to the administrative organization of the Empire, court procedures, and legal institutions. The Balkans became permeated with Byzantine legal institutions through the Church and the Empire, and affected the secular authorities in the Balkans as well as the church. In many fortresses, towns, and villages, local custom also played an important role in determining interpersonal relationships. A set of social norms would emerge in each community that governed property rights, family relationships, inheritance, and dispute resolution. Customary law was deeply entrenched in the social structure and reflected the cultural values and social organization of villages. In many cases, local custom would coexist with official law and legal institutions, allowing a dual set of informal mechanisms to complement official courts in dispute resolution. Arguably the most famous example of local customary law in the Balkans was the Kanun of Lekë Dukagjini, an Albanian set of traditional laws that covered a wide range of social issues, including marriage and family law, property issues, and conflict resolution. Even though the Kanun was officially codified quite late, it had been developing over centuries as a form of local legal tradition. Other sets of local or customary law practiced on a wide scale also existed in the Balkans, particularly in rural and mountainous regions where the reach of the state was limited.

These medieval Balkan states were also important contributors to the development of legal systems. As the medieval Serbian Kingdom, the Bulgarian Empire, and various local principalities emerged, rulers attempted to enact legal codes that would regulate their activities and solidify their power. Perhaps the best known example of medieval Balkan legislation is the Dušan Code (Dušanov Zakonik), promulgated by the Serbian Emperor, Stefan Dušan, initially in 1349 and then expanded in 1354. The Dušan Code included an extensive legal code that covered criminal law, administrative organization, church-state relations, and judicial procedure. The Dušan Code was influenced by Byzantine law, and attempted to enhance centralized authority while also recognizing the role of local institutions and customary law. In the Balkans prior to Ottoman rule, church courts would handle aspects of matrimonial law and

inheritance, while criminal law and property issues would be dealt with by the prince and his officials. The distinctive characteristic of pre-Ottoman Balkan law was also the close connection with religion. The Orthodox Christian Church exercised important social and legal influence, especially in the domain of personal status and family law. Canon law dictated legal procedures and moral rules, and the church hierarchy often acted as intermediaries in local conflicts. The interweaving of religious and legal authority characterized medieval Balkan political and legal systems and continued to influence the local legal culture even after the adoption of secular legal practices. Yet the vast plurality of Balkan legal traditions all retained a number of common features over pre-Ottoman periods. First, while influences from centralized authorities existed, many Balkan communities had a long tradition of local decision-making in legal affairs. Second, because of this local autonomy, customary law had an established role in regulating the everyday relationships, especially of rural populations. And third, imperial legal traditions (mostly adapted from Roman or Byzantine models) had a role in structuring administrative authorities. Although the above-mentioned traditions belong to the pre-Ottoman period, they in fact also have laid the foundations for the subsequent developments. While the Ottoman Empire expanded its territories into the Balkans during the fourteenth and fifteenth centuries, the Balkan societies were not "empty spaces," but rather areas with older legal traditions and mechanisms already in place. In this context, the Ottoman rulers adjusted themselves to certain features and traditions, and the pre-Ottoman legal culture entered and permeated the Ottoman epoch. In light of what followed, it is important to examine these historical nodes that shaped Balkan law. The twists and turns among Roman-Byzantine, medieval, and customary laws created a legal culture with an abundance of legal institutions and pluralism that would characterize the legal development of the Balkans not only under the Ottomans, but also during communist rule, and even today as the region attempts to join the European Union.

Ottoman Legal Order in the Balkans

The conquest of Southeastern Europe by the Ottoman Empire between the fourteenth and sixteenth centuries had a significant impact on the development of the legal and administrative institutions in the Balkans. The Ottoman Empire employed a multifaceted legal system that combined Islamic law, imperial codes, and local traditions. Rather than imposing a single legal system over its dominions, the Ottomans constructed a flexible administrative system that allowed for multiple legal systems to coexist. Such legal pluralism allowed the Ottomans to administer a religiously, ethnically, and culturally diverse population. Ottoman legal practices decisively shaped the institutional development of the Balkans, and their legacy continues in the administrative culture, legal practices, and jurisprudence of modern-day Balkan states. The Ottoman legal system had two main characteristics that had a strong impact on the administration of justice: the use of Sharia (Islamic law) together with kanun (imperial legislation). Sharia law came under the domain of Islamic law, where qualified Islamic jurists would apply legal codes and treat disputes that were assigned to them, mainly dealing with personal status issues within Muslim society, such as family law, inheritance, and other religious obligations. Official judges (kadıs) would apply Sharia law in local courts, known as the kadı court, where roughly all disputes between Muslims were heard, as well as many disputes involving non-Muslims. In addition to Sharia, the Ottoman state promulgated a vast body of imperial law called kanun, covering administrative law, taxation, criminal law, and land tenure. These laws, issued by the Sultan, constituted the secular legal authority of the Ottoman state. This legal system enabled the Ottoman administration to broadly control economic and political concerns relative to religious law, creating a symbiosis between the two that could flexibly maneuver circumstantial variables and regional particularities.

In the Ottoman Empire's Balkan provinces, the dual legal structure described above translated into a variety of local courts and administrative authorities. The kadı courts, within the local judiciary, adjudicated civil disputes, property transactions, and enforcement of legal decisions. They held an important role in maintaining social order and regulating economic activity. Court records from Ottoman cities in the Balkans reveal that individuals from different religious communities regularly brought cases before the kadı courts. The millet system, by which religious communities were granted legal autonomy, was another important feature of Ottoman law. Under the millet system, Orthodox Christians,

Armenians, Jews, and other non-Muslim groups were organized as individual religious communities. Within the boundaries of the millet system, non-Muslim communities were able to maintain their own courts and judges, especially with regard to family law, marriage, divorce, and inheritance issues. The religious leaders of the various millets acted as representatives of their communities vis-à-vis the Ottoman state and enforced the legal regulations of their respective communities. The millet system helped the Ottomans rule their diverse subject population with minimal social tension. By acknowledging the authority of respective religious communities over internal legal issues, the Ottomans employed a system of legal pluralism that allowed different legal structures to exist side by side within one political entity. In the Balkans, this meant that Ottoman administrative law, canon law, Jewish law, and customary law could all coexist under the umbrella of the Ottoman Empire. Religious law was not the only system in use within Ottoman Balkan society. In all parts of the Balkans, customary law played a very important role in regulating local social relations. Custom governed local communities as they worked to resolve individual or communal problems with property issues, domestic relations, and social responsibilities. As long as it did not conflict with the overarching Ottoman laws, customary practice enjoyed the support of Ottoman authorities. In addition to the European codes and legal traditions already mentioned, the overall Ottoman legal structure underwent considerable reform through its own modernization efforts during the nineteenth century, known collectively as the Tanzimat reforms. Facing both internal pressures and growing alarms over European influence, the Ottoman rulers set out in 1839, when the Hatt-ı Şerif of Gülhane was first proclaimed, to modernize their empire's administrative and legal systems. The aim of these reforms was to create a more centralized and standardized legal system within the empire that treated all Ottoman subjects equally, regardless of religion. Important legal changes included the introduction of Nizamiye courts, secular courts based on European models that worked in tandem with the religious Sharia courts, and adjudicated criminal, commercial, and administrative cases. The introduction of the Nizamiye courts was an important step in the modernization of Ottoman legal institutions and reflected the increasing importance of European legal models.

Another law reform during the period of the Tanzimat, in keeping with the European reform efforts, was the codification of the civil law. The second set of Tanzimat-era codes was the Mecelle, or the Ottoman Civil Code, 1869–1876. The Mecelle attempted to reconcile Islamic law with the demands of a codified legal system. The Mecelle, while based upon Islamic law, took up a form resembling European civil law codes. The Tanzimat reforms brought with them changes in administrative legislation. Legislation governing taxation, commercial proceedings, and more centralized administrative institutions were among new sets of laws that aimed to increase state power and efficiency. Despite modernization, Ottoman law remained a complicated mix of religion, imperial law, and local tradition. The plurality of legal systems allowed for the political survival of the Ottoman administration across a vast array of ethnic populations, and creates a legal system that is at times loosely organized and highly contingent on local administrative habits. During and after the period of the collapse of Ottoman rule over the Balkans in the late nineteenth and early twentieth centuries, Ottoman law did not disappear. In fact, the administrative and land system that the new Balkan states inherited was deeply entrenched in the Ottoman rule over the Balkans. In some instances, Ottoman law even officially remained in practice decades after the birth of these new states. The influence of Ottoman law can also be observed in the modern codes of Balkan countries. Centralized administration, the role of government bureaus, and the general structure of property law were developed under the Ottoman regime. Plus, legal pluralism has left its mark on the relations between state law and religious and customary traditions. The Ottomans relied on the Hanafi madhhab as their legal foundation, but simultaneously employed a vast array of personal status law and customary law within their empire. This mixture of personal status law and customary law, both Islamic and local, allowed the Ottomans to rule people of vastly different backgrounds. The register of laws the empire relied upon included Islamic jurisprudence alongside official legislation. The institutional history establishing and enforcing laws in the Balkans had a considerable impact not only on the legal regimes within the empire, but also on the socialist legal practice that followed empire's demise and even on the contemporary legal transformation

accompanying European integration. So, knowledge of the Ottoman legal legacy is a key component in understanding the development of present-day legal regimes in the Balkans, while also shedding light on ongoing disputes and potential changes.

Socialist Legal Transformation in the Twentieth Century

The Second World War, most of Southeastern Europe became part of socialist states, political entities that wished to reorganize political, economic, and legal life according to Marxist principles. The coming to power of socialist regimes in countries such as Yugoslavia and Albania introduced new legal orders based not on Ottoman traditions or the legal orders of liberal regimes, but on socialist legal orders that emphasized public property, economic planning, and the subordination of law to political objectives. These changes had an impact on legal institutions in the Balkans and continue to do so even today. Societies with socialist traditions strived to pursue ideological understandings of law as a political authority tool. The law within liberal legal systems is generally understood to have a significant degree of autonomy as an independent authority. In contrast, the law of socialist legal systems was understood to execute political and economic decisions of the socialist authorities. Marxist-Leninist ideology understood legal authorities as part of the society's superstructure, influenced by an economic base and political goals of the ruling political party. Legal authorities were not an independent entity but had to do their part to build socialist society. Socialist legal order in the Balkans also existed in the states that adopted socialism within their borders. In the Socialist Federal Republic of Yugoslavia (comprising the socialist republics of Serbia, Macedonia, now called North Macedonia, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, and the Autonomous Province of Kosovo), Tito led a uniquely Yugoslav form of socialism, which he called workers 'self-management. While adhering to socialist ideology, the Yugoslav economy was decentralized to a greater extent than that of the Soviet Union, leading to workers 'councils 'participation in managing enterprises. The legal order that upheld this system reflected the need for a large number of laws regulating work, management, and social property. Social ownership was perhaps the most radically distinctive aspect of Yugoslav socialist law. While the state ownership prevailed in other socialist countries, in Yugoslavia productive property was legally defined as belonging to all members of society. This created a complicated legal situation in which enterprises were controlled by workers but owned by society, with extensive legal regulations guiding the operation of workers 'councils, profit distribution, and the use of enterprise funds. Law provided the framework for the creation of specialized administrative and judicial bodies that would enforce and oversee the implementation of economic policymaking in socialism. The Yugoslav legal system also enacted a plethora of legal protections over labor and social rights. Laws over employment, social security, health care, and education were also in place in the socialist legal systems. Courts and government agencies enforced these laws, though often their mandates were circumscribed by the political priorities of the Communist Party. Socialist legal systems granted citizens legal rights, but those rights were generally subordinated to the priorities of socialist society and economic development.

Enver Hoxha presided over a more inflexible and centralized form of socialist law in Albania. The socialist legal system in Albania mirrored the Stalinist version of centralized state authority and control. Legal institutions were directly subordinate to the party, and the legal system in Albania confronted political tasks. Almost all property was nationalized, and the private sphere of economic resources was entirely eliminated. Laws regulating economic activity responded to the imperatives of economic planning rather than market relations. In most socialist Balkan states, the independence of courts was nominal at best. Courts were in effect political actors, where the influence of the ruling party permeated legal adjudication. Judges were political appointees, and court decisions reflected the interests of the socialist ideology. Courts operated under procedural façades, but decisions were often influenced by political factors. In many instances, the law was used to legitimate political decisions. Nonetheless, socialist legal systems introduced additional elements that helped modernize legal systems in the region. The proliferation of legal education, the creation of legal codes, and administrative agencies all provided Balkan states with substantial institutions. Socialist states invested significantly in administrative institutions to govern economic planning, welfare provisions, and public services. These administrative

agencies would partake in the post-socialist transformation of the legal systems. A further dimension of the transformation of the law under socialism in the Balkans entailed changes in property relations. The ascendance of socialist governments led to sweeping nationalization policies that brought lands, industries, and banks under state or social ownership. Laws regulating property rights were redefined according to the tenets of socialism. Private ownership over the means of production was abolished, and enterprises either state-run or socially owned became the primary economic entities. New laws regulated the administration of communal resources and distribution of income. The downfall of socialist regimes in the Balkans in 1989-1990 and the ensuing fragmentation of socialist states opened a new chapter in legal change. As governance moves from the top down, the newly independent states sought to establish new legal practices suitable for democratic institutions and market economies. But, socialist legal regimes continued to exert considerable influence over the existing administrative structures.The restructuring of the court system in post-socialist Balkan states was a major challenge. It was not only a matter of passing new laws to strengthen judicial independence. Judges who trained under socialist legal systems inhabited the new democratic legal regimes, further contributing to the continuation of the old administrative state. Socialist law also left its mark on the transition process in the Balkans. The privatization of enterprises previously under social ownership and the implementation of market economies called for new legal provisions dealing with property, business law, and financial legislation. The transformation of property relations and the associated legal reforms intended to help privatization and foreign investment became a major focus of economic policies after socialism. Along with economic reforms, post-socialist legal transformation included the adoption of new constitutional law to establish democratic rule and fundamental rights. Many Balkan states adopted new constitutions in the 1990s that stressed the separation of powers, the protection of human rights, and judicial independence. These reforms in the constitutions represented a break with the ideology of socialist law and corresponded to the political shift to democratic rule. As to that , many elements originating from the socialist legal traditions continue to exercise their influence on contemporary legal systems in the Balkans. Current administrative structures and state institutions still rely heavily on those established during the socialist era. Lawyers who trained in socialist legal systems helped to establish the post-socialist legal systems. Centralized decision-making within the bureaucracy and intertwined political and legal institutions continue to exist. Hence, the period of socialism is a decisive chapter in the historical evolution of Balkan laws. Even though socialist law concepts have almost completely been replaced by democratic and market-related laws, the institutional set-up of legal institutions from the twentieth century still lingers on. The socialist legal transition is crucial for a better understanding of reform obstacles when it comes to laws, courts, and other related institutions in the Western Balkans. In sum, the twentieth-century process of socialist legal transformation left an indelible mark on Balkan legal systems. In pursuing this transformation, socialist governments changed property relations, restructured courts, and entwined law with their political agendas, creating legal systems whose continuing legacies present challenges that modern-day reformers must confront. The interplay of socialist legacies and contemporary European law will continue to define legal transformation in the Western Balkans.

European Union Integration and Legal Harmonization

The collapse of socialism in Central and Eastern Europe at the end of the twentieth century triggered a vast restructuring of legal and political systems in the Balkans. In the countries of the Western Balkans, democratic transition and the move to market economies became intertwined with integration into European and transatlantic institutions. By far the most important of these institutions was the European Union. The process of European integration introduced a variety of legal harmonization measures and reforms of legal institutions and the rule of law. The adoption of European legal norms became a central aspect of legal modernization in the Balkans. Integration with the European Union is achieved by aligning the national frameworks with the EU law, also referred to as the acquis communautaire or the acquis. The acquis includes not only the competition law but also environmental protection laws, consumer protection laws, labor laws, directives and regulations on public procurement and financial markets, human rights laws, etc. For EU candidate countries, this process of acquis adoption means a

complete overhaul of some legal frameworks, the creation and development of new administrative structures, and even the creation of new institutions. In the case of the Western Balkans, this process meant that legal systems that had been in place under socialism for decades were being newly built according to European models. The EU accession process is divided into chapters, each corresponding to a specific policy area within the acquis. Candidate countries have to prove they can adopt, implement, and enforce EU legislation in each chapter in order to be allowed to join. Two of the most important chapters in the accession process are Chapter 23 (Judiciary and Fundamental Rights) and Chapter 24 (Justice, Freedom and Security). They address judicial independence, corruption, human rights, and the workings of law enforcement institutions. These areas are considered to be fundamental for the rule of law, which is why they are often given special attention during the accession negotiations. The European Union in the Western Balkans has urged the countries to reform their judiciaries as a part of their EU membership process. Most of these countries inherited judicial systems based on socialist legal system models, where courts acted as subservient partners in a larger political structure. Entry into the European Union requires judicial systems that are independent, impartial, and able to apply law in an objective manner. To this end, candidate countries have introduced reforms aimed at restructuring judicial councils, developing professionalism in judicial and prosecutorial training, and enhancing transparency in judicial processes.

Another key feature of EU-motivated harmonization is the imperative of administrative capacity building. Adopting the acquis entails not only changes in domestic laws but also the establishment of administrative agencies to implement often complicated regulatory standards. Regulatory agencies have been introduced in such areas as competition law, environmental policy, financial regulation, and consumer protection. As a rule, these regulatory institutions are designed to function according to European regulatory practices and often with relative independence from ministries. The anti-corruption measures in the Western Balkans have also been driven by the European Union. Corruption has posed a major problem for governance and economic development in the Balkans. The EU has pushed candidate countries to introduce anti-corruption laws, improve investigative agencies, and increase transparency in public institutions. Balkans states have introduced independent anti-corruption agencies, special prosecutors, and financial monitoring systems. This process of European integration has not only affected the legislative acts of the Balkan states but also the constitutional acts. Several Balkan states have revised the texts of their constitutions in order to include the fundamental principles of European law, such as fundamental rights, division of powers, independence of judiciary, and others. To this effect, the constitutional courts have played a vital role by their interpretation of the domestic legislation in line with European law and international human rights conventions. The role of the European Union in the Balkans is not limited to axis changes in the legal framework. Through access monitoring, financial assistance programs, and institutional partnerships, the EU plays an active role in promoting legal and administrative institutions in the countries aspiring to join the Union. Programs such as the IPA (Instrument for Pre-Accession Assistance) support financial and technical reform laws, judicial training, and modernization of institutions. During this period of substantial legal reform, the process of legal harmonization within the Western Balkans has been hindered. The most significant shortcomings reside in the enforcement of the newly adopted EU laws. The term enforcement encompasses, of course, many factors, namely institutional, administrative, or political. In certain cases, this pressing need to fulfill EU requirements has been the driving force behind a country to reform its laws. As to that an another problem stems from the relationship between EU legal rules and the legacies of Ottoman and socialist rule. Older administrative traditions, bureaucratic practices, and legal cultures have an impact on the workings of contemporary institutions. Thus, the process of Europeanization of Balkan laws does not represent the simple transplantation of legal rules but rather a process of institutional adjustment and compromise. The variety of legal and political structures in the Western Balkans also determines the rate and success of EU reforms. Some countries, like Montenegro and Serbia, are much further along in the negotiations, while others have yet to begin. Bosnia and Herzegovina, with its complicated constitutional makeup as defined in the Dayton Peace Agreement, faces particular challenges. Kosovo's legal system is similarly characterized by international oversight

and labeling. As to that the most powerful external influence for legal change in the Balkans continues to be the European Union. The EU has been a dominant factor in the creation of modern Balkan legal systems, as it has offered an explicit set of requirements for legal harmonization and reform. The process of integration urged modern legal codes, opened human rights protection, and encouraged independence in the judiciary. To wrap up, it can be said that the European Union is the primary agent for legal change in the Western Balkans at the moment. The internal motivation to harmonize national laws with the acquis communautaire has pushed the candidate countries in deep reforms to establish and safeguard the rule of law, create and nurture an efficient and lawful administration, and in general to bring legal institutions to the level common in other EU and EFTA countries. Such efforts will require not only changes in the legal texts, but also institutional changes within the domestic governments and authorities, which might prove difficult given the historical legacies from former eras. The ongoing process of EU integration will thus have an important role in shaping legal developments in the Balkans

Comparative Legal Systems of the Western Balkans

The current legal framework in the Western Balkans has faced a confluence of historical legal traditions, political change, and European integration. The countries in this region have many shared historical experiences, including a history of Ottoman rule and socialist legal structures. Nevertheless, they have followed divergent routes in shaping their contemporary legal systems. This can be attributed to national political trajectories, constitutional differences, and the extent of the integration with European structures. Comparing Serbia, North Macedonia, Albania, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, and Kosovo illustrates the similarities and differences in the legal systems of the Balkans. Indeed a significant number of Western Balkan countries have legal systems based on civil law, i.e., the written law. These countries have civil law systems because, in the late nineteenth and early twentieth centuries, as the Ottoman Empire weakened, many continental European legal codes were adopted, the Balkan states striving to modernize their legal systems. Many modern codes of civil, criminal, commercial, and administrative laws have been drafted according to European law, tending toward either the German or Austrian or, in some cases, French models. The structures and operations of these legal systems differ considerably from country to country.

The Serbian legal system is one of the most developed in the Western Balkans. As a former Yugoslav republic that served as the headquarters of the Jugoslovenska federalna narodna armija (Yugoslav federal army), and now a member of the process of European integration, Serbia developed a system of codified laws. The world's oldest national constitution from the nineteenth century established the separation of powers, independence of the judiciary branch, and fundamental rights. Serbia has also been a European-style country for a long time, having a professional body of judges, lawyers, and prosecutors. Serbia also has a rich tradition of administrative and commercial law. There are many levels of courts in Serbia, including the Constitutional Court, which is independent of the Supreme Court of Cassation, first, basic, higher, or appellate courts. Serbia has made a great effort in recent years to reform domestic law to comply with European Union standards, especially in terms of combatting corruption, judiciary independence, and public access to information laws.

North Macedonia went through similar changes as Serbia due to sharing the same political pattern as a federal unit of Yugoslavia. North Macedonia operates within a civil law system, with a court structure composed of primary courts and appellate courts, a supreme court, and a constitutional court. The constitutional court addresses constitutional questions and has authority over constitutional rights and legislative review. Since declaring independence from Yugoslavia in 1991, North Macedonia has enacted numerous changes to its legal system to democratize institutions and reform the legal system to comply with EU directives. These reforms include changes to the judicial council system, public administration laws, and corruption-related legislation. The process of integration into the European Union has been a major motivating factor for internal reform. Whereas the legal systems in Serbia and North Macedonia were influenced to some degree by the Yugoslav variety of legal socialism, the rest of the socialist legal system in Albania was more rigidly centralized. Under Enver Hoxha, the country

followed a Stalinist legal model, reflecting greater state control over economic resources and stricter state control over political and legal institutions. In transition to democracy and market economy institutions beginning in the early 1990s, Albania enacted its own set of legal and constitutional reforms. Its most recent constitution, adopted in 1998, established separation of powers and fundamental civil rights. In recent years, the country has made sweeping reforms in its court system as part of the EU accession process, including the vetting of its judges and prosecutors over concerns about corruption.

Montenegro is one of the most advanced candidates for accession to the European Union in the Western Balkans. Since breaking away from the State Union with Serbia in 2006, Montenegro has advanced in harmonizing its laws with the EU. Montenegro is a civil law country with a legal system comprised of codified laws and a judicial structure that consists of basic courts, higher courts, appellate courts, and a Supreme Court. Montenegro has also developed specialized courts and institutions to combat organized crime and corruption, which are priorities in their EU candidacy. Montenegro has focused its reforms on increasing the independence of the judicial system, public administration, and the transparency of government institutions.

The Bosnian-Herzegovinian legal system, due to the complex nature of the country's constitution, is the most complicated among the Western Balkan countries. Bosnia and Herzegovina consist of two entities: the Federation of Bosnia and Herzegovina and the Republika Srpska; in addition, there is the autonomous Brčko District. Each of these divisions has separate legal and judicial institutions, while some functions are performed at the state level. Bosnia and Herzegovina have a multi-level legal system, including overlapping jurisdictions and fragmented legal institutions. The Constitutional Court of Bosnia and Herzegovina resolves conflicts between different levels of government and domestic law and international law, such as the European Convention on Human Rights.

Kosovo is also a unique case. Kosovo emerged from a period of conflict in the late 1990s, followed by a period of international administration by a United Nations mission in Kosovo (UNMIK). Kosovo law developed under the close watch of international law experts and the international community at large. Kosovo incorporates elements from its Yugoslav past but also has a new constitution, independent since 2008. Kosovo's Constitution adopted many features from European constitutions, such as robust minority rights and a strong system of constitutional review. International actors have been very active in trying to promote Kosovo's judiciary and rule of law institutions, including the EU Rule of Law Mission in Kosovo (EULEX).

Despite these differences on a national level, it is possible to identify common trends and characteristics that are common to the legal systems in the Western Balkans. First, the countries in this region have recently undergone major changes in domestic law to harmonize it with the European Union's legislation. This process is related to the countries' interest in joining the EU, which has set the harmonization of legislation as one of the criteria for EU membership. Second, judicial reform and rule of law-related institutions have been at the core of the efforts to change the Western Balkan countries' legal systems, either due to internal political will or external pressure from European institutions. At the same time, many Western Balkan countries face challenges in the implementation of legal reforms. Weak institutions, political pressure on courts, and administrative inefficiencies pose ongoing rule-of-law challenges. These difficulties reflect the complex historical legacies, both administrative ones inherited from the Ottomans and those developed during the socialist era.

Through the lenses of legal systems of the Western Balkans states, it is possible to see that the region is undergoing a process of legal evolution. The states in this region share a legal history and are all civil law states, but their current legal systems differ in levels of institutionalization and relationship with the European legal space.

Judicial Practice and Legal Transformation in the Western Balkans

Judicial decisions, or case law, have had an important role in the evolution of legal systems in the Western Balkans. Courts have used case law as a means of interpreting constitutional principles,

applying European law, and dealing with legal reform issues. In the Balkans, while legal systems are primarily civil law-based, where enacted legislation has traditionally had a superior role, courts have been increasingly citing case law over the last few decades. Courts have cited case law in domestic legislation and particularly in constitutional courts or higher courts referencing international law, such as the case law of the European Court of Human Rights (ECtHR) or the Court of Justice of the European Union (CJEU). The most prolific contribution to the development of jurisprudence in Western Balkans has been the constitutional case law. Their constitutional courts have been very active in protecting fundamental rights and reviewing the constitutionality of legislative text. For instance, the Constitutional Court of Serbia has rendered a number of interesting decisions that have significant bearings upon judicial independence and the separation of powers. One important decision related to judicial appointments and dismissals in light of judicial reforms made by the Court underscored the importance of protecting judicial independence and ensuring that reforms designed to modernize the judiciary remain in line with the constitutional protection of the autonomy of judges. The case highlighted the clash between institutional reform and the need to protect judicial independence.

The Constitutional Court of North Macedonia has dealt with similar issues of safeguarding constitutional rights and the compatibility of national legislation with international law. In several rulings on electoral law and administrative law, the Court has referred to the principles of the European Convention on Human Rights (ECHR). In referring to the ECtHR case law, the Constitutional Court of Macedonia illustrates the increasing influence of European law in national courts. It demonstrates how constitutional courts in the Western Balkans act as intermediaries between national legislation and international human rights law.

In Albania, while the judicial reform process was underway, the Constitutional Court was seized with numerous cases on different provisions restructuring judicial institutions and anti-corruption dispositions. The Albanian Constitutional Court has also reviewed a number of cases related to the vetting process set out as part of Albania's judicial reform process. As noted above, this reform process entailed a thorough review of the professional, financial, and ethical profile of judges and prosecutors in Albania. The vetting process cases were therefore particularly important because they sought to rein in the constitutional space of the judicial reform process to clean up corruption, while the judges sought to protect their independence. They were also keenly watched by international legal observers due to the importance of rule of law reforms for Albania's EU accession process.

The final reference may be usefully made to the case law of the constitutional court of Bosnia and Herzegovina. The Constitutional Court of Bosnia and Herzegovina has intervened on numerous occasions to intervene in disputes between the various sets of entities and levels of government in Bosnia and Herzegovina. Among the most important decisions in this regard is the interpretation the Court gave to the constitutional provisions governing the representation of constituent peoples in state institutions. In this case, the Court clarified the manner in which the constitutionally-mandated representation of constituent peoples in the country's institutions is to be balanced against international human rights guarantees. Another case dealing with Bosnia and Herzegovina that gained prominence from the European Court of Human Rights was Sejdić and Finci v. Bosnia and Herzegovina (2009). In this ruling, the ECtHR found that the country's constitutional provisions for the election of certain political posts discriminated against citizens who were not members of one of the three constituent ethnic groups. The Court determined that the provisions were in violation of the European Convention on Human Rights and urged Bosnia and Herzegovina to amend its constitution. This case has implications for domestic constitutional and institutional reform in the Western Balkans.

The influence of international case law has featured in Kosovo's jurisprudence. Kosovo courts have been under the supervision of international law and international actors in the process of building a new state. The Constitutional Court of Kosovo has issued a number of decisions concerning minority rights and the interpretation of constitutional norms based upon international law. In one instance, the Court

reviewed a piece of legislation governing the right to property and underscored the importance of harmonizing domestic law with human rights standards under international law.

Courts in Montenegro have been an important factor in combating corruption, public administration, and independence issues. They are increasingly resorting to European law. Among others, the courts in Montenegro have taken decisions to enforce transparency in administrative processes and action, as well as fundamental rights. The Supreme Court of Montenegro has taken decisions that emphasize the responsibility of courts and the importance of the rule of law, which reflects the influence of EU accession requirements.

The European Court of Human Rights case law influences judicial practice in all Western Balkan countries. Courts of the respective countries refer to ECtHR case law when interpreting national law on human rights protection. For example, in judgments concerning freedom of expression, property rights, and the right to a fair trial, domestic courts invoke the case law of the ECtHR. The case law has likewise been important in facing some issues about the administration or public accountability. Several courts in the Western Balkans have started to intervene more into adjudicate government decisions regarding public procurement, administrative processes, and regulatory enforcement. Judicial control of administrative processes represents an important instrument to reinforce the rule of law and hold public authorities accountable for their actions. Nonetheless, as lower courts in many Western Balkan countries may not apply the case law of higher courts consistently, and in some instances, judges may not be able to provide sufficiently substantiated reasoning in complex cases, further judicial training in this regard is needed.

In that case, the law has assumed a greater role in the development of the legal systems in the Western Balkans. The constitutional courts, the supreme courts, and international courts and tribunals have played essential roles in the interpretation of laws, the protection of individual rights, and the guidance of various reforms. Legislation and the development of a case law have been shaped by the court decisions, helping to harmonize domestic legal systems with the European system. Judicial practice and case law will play primary roles in the process of European integration, both continuing and promoting the rule of law and legal certainty in Western Balkans legal systems.

Legal Hybridization and Institutional Path Dependency

Legal concepts of legal hybridization and institutional path dependency shed light on why the modern Western Balkans legal systems reflect historic legal structures as much as they reflect modern legal reforms. The concept of legal hybridization indicates how several legal traditions are incorporated into a single legal system. The concept of institutional path dependency illustrates how the political and legal outcomes of the present are tied to earlier institutional choices and developments. Within the Western Balkans, layers of Ottoman empire citizens, socialist citizens, and more recently, European Union citizens have worked within modern legal systems. As a result, earlier legal structures have not been superseded but have acted as foundations for each new step, resulting in legal systems that are the products of multiple traditions and complex institutions. The legal systems of the Western Balkans exhibit a similar phenomenon of legal hybridization. The prevailing legal order finds itself attached to aspects of different temporalities, such as the adoption of modern constitutions and laws in accordance with the European civil law legal tradition or EU legal norms. But, administrative and institutional traditions also echo various legacies. The bureaucratic hierarchy and centralization of authority in the Ottoman and socialist administrative law continue to exercise an influence over governing styles and institution practices, especially in public administration and regulatory bodies. The concept of institutional path dependency can further explain the preference for incremental over sudden legal change in the Western Balkans. Institutional path dependency suggests that initial institutional choices set the Western Balkans on particular paths from which it becomes increasingly difficult to deviate over time. Institutions create routines, professional norms, and organizational expectations that guide the behavior of legal actors. As a result, the new package of laws that come with legal reform are often forced to fit within the traditional institutional practices prevailing within a system. This is particularly

relevant in courts in Western Balkans, where judges, prosecutors, and others are used to working within an institutional culture based on former legal codes.

A further aspect of the Regional legal hybridization is the formal legal reforms and the informal governance and legal practices. Several countries in the Western Balkans have passed legal reforms in compliance with European Union standards in the areas of judicial independence, anti-corruption, and transparency in the public administration. But, these reforms are embedded in a long-term tradition within political and administrative institutions. Informal political and institutional connections play a determining role within decision-making processes in the legal institutions. The other side of that coin of legal hybrids is the direct influence of social norms on state law. In areas of the Western Balkans that were historically more self-governing or in areas that are more rural (or both), local customs and community dispute resolution methods may have a historical influence on social practice. Although civil and criminal disputes may be governed by modern, codified laws, social norms and practices have an impact on the resolution of legal disputes. This interaction between law and practice reflects earlier continuities of legal pluralism during the Ottoman era. This interaction has been further complicated by the process of European integration. As a candidate country, transitioning countries are urged by the EU to adopt a legal code based on openness, accountability, and independence of the judiciary. But, domestic institutions may lack the flexibility to adapt to the new legal codes. In many cases, EU-motivated legislation has outpaced institutional change. Echoes of the past can be strongly felt when it comes to judicial governance. Many of the Western Balkan countries have established judicial councils and created legal mechanisms to guarantee the independence of the judiciary. But, political influences and administrative practices may continue to affect the independence of judicial institutions. Building the mechanisms for judicial governance will require not only adjustment in the legal landscape, but also experienced efforts to change the mindset of the profession and increase the accountability of judicial institutions vis-à-vis the citizens. Coupled with the conclusions drawn by the LHR Project, hybridisation should not always be considered to impede reform. One could consider that the interplay between historical legacy and modern law may produce unique forms of institutions that reflect local politics and society. For example, this might include bureaucratic practices that may have a better grounding in administrative experience which allows for more effective implementation of complicated regulatory structures, such as those found in EU law. In a similar vein, one could find that the historical legal culture creates a commitment to continuity in government. As to that , the presence of hybrids also poses problems for policymakers and legal reformers. The coexistence of different legal traditions sometimes leads to ambiguities and enforcement problems. Even if formal laws are made in accordance with European legal norms, the institutional practices may be guided by the logic of earlier regulatory patterns, so that legal institutions have difficulty firmly establishing new laws. The broader usage of the term “path dependency” within the Western Balkans would explore, in greater depth, connections between legal hybridization and political path dependency in Western Balkans. Legal reform in a post-socialist and post-imperial context such as the Balkans falls under several competing scholarly fields: the gradual or swift superseding of former institutions by new ones; a tug-of-war acting between historical legacies and modern legal standards. The continuing process of the EU integration process of the Balkan states will show the ability of domestic institutions to balance these two legal heritages and to produce governance in accordance with both European legal norms and local institutional realities. Legal hybridization ultimately underlines the dynamics of legal development in the Western Balkans. Legal systems in the region are constantly developing, shaped by historical, political, and now international factors. A focus on the role of institutional path dependency highlights the challenges and possibilities of legal reform in the region, evaluating the interaction between historical legal practices and contemporary legal structures in order to explore the potential for positive rule of law development in the Western Balkans.

EU Treaty Articles and Their Influence on Legal Transformation in the Western Balkans

The process of legal integration with the European Union is primarily based on the founding treaties of the European Union. The Treaty sets out the organizational structure of the Union, the powers of the

Union and member states, and the basic principles that govern the EU. EU member states in the Western Balkans must comply with the legal norms and laws specified in the treaties. This is one of the criteria for EU membership. The Treaty on European Union (TEU) and the Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU) have had an impact on the legal integration of candidate countries in the Western Balkans. One of the most significant provisions in the context of the Western Balkans 'legal reform efforts is Article 2 of the Treaty on European Union, which sets out the "values" on which the Union is founded. These include respect for human dignity, freedom, democracy, equality, the rule of law, and the rights of persons belonging to minorities. As "Unionist" values, candidate countries must ensure they are inscribed in their constitutions and followed by appropriate institutions. To this end, most Western Balkan states have included them in their constitutions and legislation, paying particular attention to democratic principles, judicial independence, and fundamental rights. Another pivotal article of the Treaty on European Union which is closely related to Article 2 of the Treaty on European Union is Article 49. In the Treaty on European Union, Article 49 represents the legal basis of EU enlargement. The same Article 49 reads: "Any European state which respects the values referred to in Article 2 and is committed to promoting them may apply to become a member of the Union." The Article 49 represents the legal basis of the EU Western Balkans accession process. Throughout the process, candidate countries have the obligation to adopt and implement the acquis communautaire and increase the institutional ability of the country to become a member of the EU. The EU accession process is a legal and political process which through it candidate countries are obliged to carry out institutional reforms and legal harmonization in the aspiring country. One other important treaty provision that has played a role in the legal metamorphosis of the Western Balkans is yet another one from the Treaty on European Union, namely Article 19. This provision concerns the role of the Court of Justice of the European Union in ensuring the "uniform interpretation and application of the law." Under this provision, judicial protection within the European legal area is of crucial, vital, and the Court of Justice held member states responsible for providing effective legal remedies where EU law is at issue. Candidate states interpreted this to mean that they had to guarantee the existence of independent and effective courts capable of upholding European law. Judicial reform accordingly featured predominately on the EU agenda in the Western Balkans. Even though the doctrines of supremacy and direct effect of EU law developed primarily through the case law of the Court of Justice of the European Union, they are related to the treaty constitution of the European legal order. The principles of supremacy and direct effect of EU law ensure that EU law overrides any provisions of national law that are irreconcilable with the obligations of the EU member states, and enable individuals to rely in national courts on certain provisions of the EU law. The candidate countries are not yet fully bound by the principles of supremacy and direct effect of EU law; but, they are obliged to prepare their legal systems to become part of the European legal order, mainly by adopting national legislation in line with EU law and by training judges to apply EU law correctly.

The Treaty on the Functioning of the European Union includes several provisions relevant to legal harmonization in the Western Balkans. Article 288 TFEU provides that the European Union may adopt regulations, directives, decisions, and recommendations and opinions. Directives are particularly important in the process of EU accession as they bind member and potential member states to defined legislative objectives without strict requirements on how to achieve those objectives. Western Balkan states have thus made numerous legislative changes based on the transposition of EU directives into domestic legislation regulating environmental, consumer, financial, and competition issues. In addition, there is Article 114 TFEU, which serves as a harmonization clause authorizing the adaptation of laws necessary for the functioning of the internal market. The internal market of the EU is characterized by the free flow of goods, services, money, as well as free movement of people. In order to fully integrate the internal market, candidate states have to harmonize their domestic legislation with that of the EU in economic activity. This requirement has given rise to extensive legislative changes in the Western Balkans in commercial laws, banking laws, intellectual property, and consumer protection.Another safeguard of the fundamental rights protection in the European legal order is Article 6 of the Treaty on European Union, which declares the Charter of Fundamental Rights of the European Union to have the

same legal value as the treaties. Although the candidate countries are not bound by the Charter prior to accession, the Charter's provisions impact the legal changes made as part of the EU integration process. Domestic courts in the Western Balkans are referring to European human rights law in interpreting their domestic law. As to that understanding an another important provision with regard to the Western Balkans is Article 21 of the Treaty on the European Union, concerning the European Union's external action, which states promotion of democracy, the rule of law and respect for human rights and fundamental freedoms, including the rights of persons belonging to minorities, in their countries. The European Union, through its enlargement policy and diplomatic efforts, promotes these principles in candidate countries. This external dimension of the EU law has contributed to the creation of legal reform agendas, institutional capacity, and anti-corruption programs in the Western Balkans. The European Union also promotes cooperation in the fields of justice and security through its treaties. Articles 67 to 89 of the Treaty on the Functioning of the European Union set up the legal basis of the so-called Area of Freedom, Security and Justice, which refers to policies related to external borders, migration, judicial cooperation in criminal law, and police cooperation. The candidate countries from the Western Balkans are adjusting their legislation to the EU standards in these areas, namely in combating organized crime, border management, and judicial cooperation across the border.Therefore, the influence of EU treaty provisions on the domestic legal orders in the Western Balkans is multidimensional: treaty principles contribute to the establishment of a legal regime based on democratic principles, respect for human rights, and judicial independence at the constitutional level; harmonization of domestic legislation with European law through the acquis communautaire at the legislative level; and, finally, the creation of administrative and judicial bodies at the institutional level through the accession process. By means to that it must be noted that the full enforcement of EU acquis in the Western Balkans is an ongoing process. Candidate countries have made significant progress in adopting EU legislation, but fully effective enforcement of law is often dependent on the ability of rule-of-law institutions to develop accordingly. In that understanding , the EU treaties lie at the heart of the transformation of the Western Balkans 'legal space. By conditioning the accession process, the EU treaties push candidate countries to internalize the core values of the European Union and harmonize their legislation with the acquis communautaire. The requirements of the EU treaties have influenced constitutional amendments, legislative acts, and institutional setups and have helped promote them at home. The legal constructs embodied in the EU treaty-based legal space will continue to drive the legal transformation of the Western Balkans as they pursue the European integration process.

Conclusion

The history of Western Balkan legal systems has witnessed transitions between different political regimes and legal orders. The combination of the Ottoman Empire influence, socialist legal structures, and the recent EU integration process have led to legal systems bearing the multiple influences of various historical stages. The development of legal systems in the Balkans does not represent a direct and complete transition from one legal order to another, but rather showcases legal systems that have undergone a process of adaptation whereby previous legal traditions remained embedded in current structures.

The Ottoman period contributed with centralization and the coexistence of multiple legal systems, in which different communities cohabited an empire with some degree of legal independence. The combination of sharia, imperial laws, and local customs provided a system of pliable legal regulations for the imperial subjects of the Balkans. Ottoman rule passed over a century ago, yet remnants of the Ottoman legal understanding and administrative structure are still visible in modern legal and state institutions, mainly in the nature of the bureaucracy or the relation between law and customs. Another crucial stage in the development of Balkan laws was the socialist transformation of the twentieth century. Socialist authorities adapted legal processes to reflect their ideology of communal property, economic planning, and the use of law as a political instrument. Courts and laws reflected their relationship to

political power, and the laws of the economy and society were subordinated to state planning. The socialist regimes collapsed in the early 1990s, but many structures and practices from this era continued to affect the governance of laws in the process of democratic transitions. EU integration has ushered in a new wave of legal change in the Western Balkans. Candidate countries have made significant legislative and institutional changes to harmonize their legal systems with the acquis communautaire, including rule-of-law reforms. In particular, the EU treaty and accession negotiations have motivated countries to adopt new constitutions, to entrench human rights guarantees, and to establish independent judicial councils. European law has emerged as a major influence on legal reforms. In particular, Balkan legal systems possess historical legacies that legal harmonization has failed to erase. Administrative culture, court practices, legal institutions and other features stemming from previous rule continue to play a significant role. In the competition between historical traditions and European contemporary law, the former has succeeded in producing hybrid legal systems. In other words, institutional path dependency has had its way, whereby pre-existing legal codes and traditions within the legal profession shape the process of legal reform. A comparative view of the Western Balkan countries shows that, although all of them are influenced by similar historical factors, the overall legal systems have different institutional progress. Different constitutional models, political situations, and EU integration speed have produced different levels of institutional progress and legal integration. Challenges regarding judicial independence, administrative capacities, and law implementation techniques are faced by all countries.

The history of legal systems in the Western Balkans is an explanation of the relationship between continuity and change. Legal change in the Balkans is not only a question of the enactment of new laws or the transposition of legal acts. Beyond the transposition of legal acts, it is a slow process of change that legal institutions experience, and where the historical heritage has a deep impact. The path of Western Balkan countries in the EU integration process will depend on legal changes. Conclusion The insight gleaned from the Balkans into the current transformations that a legal system has undergone throughout post-imperial empires and post-socialist societies is much needed. The experience of the Western Balkans highlights that legal change will entail much more than merely legislative change. Understanding the past and putting the present trajectories and changes of the legal system in the region into perspective is crucial to gaining a better understanding of how to put the legal system on a sustainable trajectory that can meet the challenges of European integration.

REFERENCES

Armaoğlu, Fahir. *20. Yüzyıl Siyasi Tarihi*. Ankara: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 2010.

Berkes, Niyazi. *Türkiye'de Çağdaşlaşma*. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları, 2015.

Bideleux, Robert, and Ian Jeffries. *The Balkans: A Post-Communist History*. London: Routledge, 2007.

Bozkurt, Gülnihal. *Batı Hukukunun Türkiye'de Benimsenmesi*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları, 1996.

Bugarič, Bojan. "Courts as Policy-Makers: Lessons from Transition." *Democratization* 18, no. 3 (2011): 619–639.

Davutoğlu, Ahmet. *Stratejik Derinlik: Türkiye'nin Uluslararası Konumu*. İstanbul: Küre Yayınları, 2012.

Damaska, Mirjan R. *The Faces of Justice and State Authority: A Comparative Approach to the Legal Process*. New Haven: Yale University Press, 1986.

Ekinci, Ekrem Buğra. *Osmanlı Hukuku*. İstanbul: Arı Sanat Yayınları, 2008.

Elbasani, Arolda. *European Integration and Transformation in the Western Balkans*. London: Routledge, 2013.

Glenny, Misha. *The Balkans: Nationalism, War and the Great Powers*. London: Penguin Books, 2012.

Hale, William. *Turkish Foreign Policy 1774–2000*. London: Frank Cass, 2000.

Heywood, Andrew. *Politics*. London: Palgrave Macmillan, 2013.

Jović, Dejan. *Yugoslavia: A State That Withered Away*. West Lafayette: Purdue University Press, 2009.

Karpat, Kemal H. *Osmanlı'dan Günümüze Etnik Yapılanma ve Göçler*. İstanbul: Timaş Yayınları, 2010.

Kelsen, Hans. *Pure Theory of Law*. Berkeley: University of California Press, 1967.

Mazower, Mark. *The Balkans: A Short History*. New York: Modern Library, 2002.

Ortaylı, İlber. *Osmanlı İmparatorluğu'nda Hukuk ve İdare*. İstanbul: Kronik Kitap, 2017.

Özbudun, Ergun. *Türk Anayasa Hukuku*. Ankara: Yetkin Yayınları, 2019.

Pavlowitch, Stevan K. *A History of the Balkans 1804–2012*. London: Routledge, 2013.

Schimmelfennig, Frank, and Ulrich Sedelmeier. *The Europeanization of Central and Eastern Europe*. Ithaca: Cornell University Press, 2005.

Shaw, Malcolm N. *International Law*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

Todorova, Maria. *Imagining the Balkans*. Oxford: Oxford University Press, 2009.

Vachudova, Milada Anna. *Europe Undivided: Democracy, Leverage and Integration After Communism*. Oxford: Oxford University Press, 2005.

Consolidated Version of the **Treaty on European Union (TEU)**. Official Journal of the European Union, 2012.

Consolidated Version of the **Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU)**. Official Journal of the European Union, 2012.

Charter of Fundamental Rights of the European Union. Official Journal of the European Union, 2012.

CRYPTOCURRENCY REGULATİON AND FİNANCİAL STABİLİTY: CHALLENGES FOR WESTERN BALKAN COUNTRİES

Mr. Sc. Dafina VLAHNA

University of Pristina "Hasan Prishtina", Faculty of Law, Department Financial Law, Pristina,

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1977-4076.

ABSTRACT

The emergence of cryptocurrencies and blockchain-based financial services has transformed the global financial landscape and generated significant regulatory challenges for national authorities. While digital assets offer opportunities for financial innovation, investment diversification, and financial inclusion, they also create risks related to consumer protection, money laundering, market manipulation, and financial stability. These challenges are particularly relevant for developing and transition economies seeking to align their legal frameworks with international and European Union standards.

This paper analyzes the regulatory approaches adopted by Western Balkan countries regarding cryptocurrencies and digital financial instruments. Through a comparative legal analysis, the study examines the existing legislative framework, supervisory mechanisms, and institutional capacities responsible for regulating crypto-assets. Particular attention is given to the degree of harmonization with the European Union's Markets in Crypto-Assets Regulation (MiCA) and international anti-money laundering standards.

The research identifies key regulatory gaps and institutional challenges that hinder the effective governance of digital financial markets in the region. It further proposes policy recommendations aimed at enhancing legal certainty, investor protection, and financial stability while encouraging responsible technological innovation. The study contributes to the growing academic debate on financial regulation and the future of digital finance in emerging economies.

Keywords: cryptocurrency, financial regulation, financial stability, MiCA, blockchain, Western Balkans.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GENDER POLICIES OF THE ISLAMIC REPUBLIC OF AFGHANISTAN IN IMPLEMENTING UNITED NATIONS SECURITY COUNCIL RESOLUTION 1325: THE ROLE OF THE MINISTRY OF WOMEN'S AFFAIRS

Sareh Larijani

Assistant Professor at Ahlul Bayt International University, Department of Women's Studies, Tehran, Iran, ORCID ID: 0000-0002-0422-5122

Hajar Ehsani

Master Student of Women's Studies at Ahlul Bayt International University, Tehran, Iran

ABSTRACT

This article analyzes the gender policies of the Islamic Republic of Afghanistan government in implementing United Nations Security Council Resolution 1325, with special emphasis on the role and performance of the Ministry of Women's Affairs (MoWA). Resolution 1325, adopted in October 2000, is the first Security Council document specifically addressing the disproportionate impact of armed conflict on women and the necessity of their active participation in peace and security processes. The resolution has four main pillars: participation, protection, prevention, and relief and recovery. The government of the Republic of Afghanistan, as a UN member state that had experienced more than four decades of conflict, joined the group of 80 countries that developed a National Action Plan (NAP) for implementing this resolution in 2015. This plan was prepared with financial and technical support from Finland and under direct supervision of the UN Assistance Mission in Afghanistan (UNAMA), and was scheduled to be fully implemented by 2022. The international community at that time considered this plan a successful model for conflict-affected countries, because for the first time in Afghanistan, a high-level document with clear commitments and measurable indicators in the field of women and peace had been developed.

The Afghan Ministry of Women's Affairs, established in 2004, served as the main responsible body for gender policy-making in the Republic government, tasked with formulating, coordinating, and monitoring the implementation of the NAP. Despite structural and financial limitations, the ministry pursued its policies on four levels: legal, protective, participatory, and awareness-raising. At the legal level, the most important achievement was the enactment of the Law on Elimination of Violence against Women (EVAW) in 2009 (1388 AH), which criminalized 22 types of violence including forced marriage, rape, domestic violence, and harassment, and prescribed penalties for perpetrators. Furthermore, 22 other government laws and regulations were reviewed and amended to remove barriers to women's employment and presence in government offices. The EVAW implementation commission was activated in 33 provinces of Afghanistan to pursue cases of violence against women. At the protective level, MoWA supervised 27 shelters (safe houses) operating with an annual budget of 11 million US dollars. This budget was almost entirely provided through international assistance, including from USAID, the European Union, and other donor organizations, with the central government contributing less than five percent. These shelters provided temporary accommodation, food, medical care, psychosocial support, life skills training, and free legal representation to women victims of violence. According to MoWA reports, at one point 85 legal cases were pursued with free legal aid through these shelters. At the participatory level, statistics showed relative progress: women's share in government institutions reached 27 percent, including 23 percent of judges and 17 percent of police officers. For the first time in Afghanistan's history, MoWA prepared a list of 66 women from all 34 provinces to be ready for participation in potential peace negotiations with the Taliban. In the government's 21-member negotiating team with the Taliban in 2020, five women were present. Additionally, on February 28, 2019 (9 Hoot 1397), about 3,000 women gathered at the Loya Jirga tent

in Kabul for the "National Consensus of Afghan Women for Peace," of whom 700 had come from the provinces. At the awareness-raising level, MoWA conducted face-to-face campaigns in 24 provinces and organized extensive educational programs to increase public awareness of women's rights and the provisions of Resolution 1325.

Despite these significant achievements at the level of laws and central institutions, there was a deep gap between policy and implementation in the provinces. A field study by Kabul University in 2019, with a sample of 1,200 people from ten provinces, showed that familiarity with the provisions of Resolution 1325 among Kabul residents was 74 percent, while this figure dropped to less than 8 percent in the provinces. Familiarity with the EVAW law was 62 percent in Kabul but only 12 percent in the provinces. Access to legal and protective services fell from 45 percent in Kabul to 5 percent in the provinces. Four structural factors caused the fragility and eventual complete collapse of the system: first, over 95 percent financial dependence on foreign aid, which made any shift in donor priorities a direct threat. Second, the geographic concentration of changes in the capital and the lack of local institutionalization, which meant that achievements remained among Kabul's elites and did not permeate rural communities and remote provinces. Third, the structural weakness of the Ministry of Women's Affairs, which despite its broad responsibilities lacked an independent government budget and sufficient enforcement power to confront resistant institutions. Fourth, persistent tension with conservative institutions such as the Ministry of Hajj and Religious Affairs, which had a different interpretation of women's role in society and often obstructed the implementation of gender policies.

With the Taliban's return to power in Afghanistan in August 2021, this fragile system completely collapsed within 48 hours. According to Amnesty International, Taliban members personally visited shelters and closed them one after another, and in some cases threatened staff with "being skinned alive." The Ministry of Women's Affairs was dissolved and its files were burned. Of the 65 female judges active in cases of violence against women, 45 left the country within one month and the rest were forced into hiding or identity change. In the current situation under Taliban rule, the Ministry of Women's Affairs has been replaced by the Ministry of Propagation of Virtue and Prevention of Vice. Women's presence in government offices has been completely banned, and girls are not allowed to study beyond the sixth grade. The network of support for women victims of violence, built over two decades with international funding, has been completely destroyed. The final conclusion is that Resolution 1325, without a national implementing body with an independent budget and sufficient enforcement capacity, remains merely an ornamental text in the UN Security Council cabinet. Afghanistan's bitter experience shows that the most fragile point of gender policies in conflict-affected countries is complete dependence on the will of the international community and the lack of national budgeting. Establishing sustainable institutions, decentralizing policies, providing independent government budgets, and locally institutionalizing women's rights are not a choice but an undeniable requirement for any effective and sustainable gender policy.

Keywords: Resolution 1325, National Action Plan, Afghan Ministry of Women's Affairs, violence against women, institutional collapse, international aid, Taliban, women's rights in conflict

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MONITORING OF STRUCTURAL DEFORMATION USING TOTAL STATION AND GPS TECHNOLOGY: A CASE STUDY OF ENTREPRENEURSHIP BUILDING FEDERAL POLYTECHNIC ILARO, YEWA-SOUTH LOCAL GOVERNMENT AREA OGUN STATE.

Adeyemo O.V

Surveying & Geo-informatics Department, Federal Polytechnic Ilaro (Now Federal University of Technology Ilaro), ORCID: 0009-0005-7740-6476

ABSTRACT

Structural deformation monitoring is a critical aspect of engineering surveying, essential for ensuring the safety, integrity, and long-term performance of civil infrastructure such as bridges, dams, high-rise buildings, and retaining walls. Traditional monitoring methods, while reliable, are often limited in precision, coverage, and real-time capability. This study investigates the combined application of Total Station and Global Positioning System (GPS) technology for the accurate detection and analysis of deformation in engineered structures. A network of monitoring points was established on a selected structure, and observations were carried out over multiple epochs using a high-precision Total Station and dual-frequency GPS receivers. Deformation parameters including horizontal displacement, vertical settlement, and tilt were computed by comparing coordinates obtained across successive observation epochs. Statistical analysis using the least squares adjustment method was applied to evaluate the significance of detected movements and to minimize observational errors. Results indicate that the integration of Total Station and GPS technology provides complementary strengths — with the Total Station offering high angular and distance precision in localized monitoring, and GPS providing absolute positioning capability over wider structural extents. The combined approach achieved sub-millimetre accuracy, making it suitable for monitoring structures under dynamic loading conditions. The study concludes that the integration of these two geodetic technologies offers a robust, cost-effective, and reliable framework for continuous structural health monitoring, and recommends its adoption in engineering projects across Nigeria and other developing nations where infrastructure integrity remains a growing concern.

Keywords: Structural Deformation, Total Station, GPS Technology, Engineering Surveying, Least Squares Adjustment, Structural Health Monitoring.

ADVANCES AND CLINICAL PERSPECTIVES IN BARIATRIC AND METABOLIC SURGERY

P. H. Najafguliyeva

Azerbaijan Medical University, II Department of Surgical Diseases

Baku, Azerbaijan

The aim of the study. Obesity and metabolic disorders remain among the most challenging health problems of the modern era, significantly affecting both quality of life and overall survival. The present study aimed to investigate the clinical efficacy of bariatric and metabolic surgery in the management of morbid obesity and associated metabolic disturbances, as well as to evaluate contemporary surgical approaches and long-term clinical outcomes.

Materials and methods: A total of 68 patients underwent bariatric surgical procedures at the Department of Surgical Diseases of Azerbaijan Medical University between 2013 and 2024. The study population included 12 men and 56 women aged between 23 and 64 years. Type 2 diabetes mellitus and impaired glucose tolerance were diagnosed in 24 individuals, while dyslipidemia characterized by elevated cholesterol and triglyceride levels was detected in 39 patients. Sleep apnea syndrome was identified in 28 patients, all with body weights exceeding 100 kg. Arterial hypertension was present in 34 cases. Body mass index ranged from 35.3 kg/m² to 65.7 kg/m². Patient body weight varied between 94 kg and 193 kg, with heights ranging from 146 cm to 179 cm. Hyperinsulinemia was observed in 25 patients. Among female patients, reproductive and hormonal disorders were highly prevalent, including menstrual irregularities, ovarian dysfunction, endocrine imbalance, and infertility lasting longer than one year in several cases.

Results and discussion: Postoperative follow-up periods ranged from 1 to 20 months. During the first six postoperative months, excess body weight loss reached 50–70%, while total body weight reduction ranged from 25% to 48%. Resolution of sleep apnea was observed in 27 patients. Blood glucose levels normalized in 19 patients, demonstrating the significant metabolic impact of surgical intervention. Lipid metabolism also improved considerably, with normalization of cholesterol levels in 26 patients and triglyceride levels in 32 patients. Insulin concentrations returned to normal values within the first two months in 5 patients and within six months in 20 patients. Restoration of regular menstrual cycles was noted in 34 female patients, indicating positive endocrine and reproductive outcomes after weight reduction surgery.

In conclusion, Bariatric and metabolic surgery, as one of the most important achievements of modern medicine, is considered the gold standard in the treatment of obesity and its complications. This method provides not only a reduction in body mass, but also the restoration of metabolic homeostasis, an improvement in the quality of life and a significant reduction in mortality.

Keywords: obesity, bariatric surgery, body mass index, sleeve gastrectomy, type 2 diabetes mellitus

THE GUT-BRAIN-SKIN AXIS IN ACNE: IMPACT OF POLENODERM

Major Gheorghe Giurgiu

Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania

https://orcid.org/0000-0002-5449-2712

Prof. dr. Manole Cojocaru

Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania
https://orcid.org/0000-0002-6871-577X

ABSTRACT

Background It is increasingly believed that the interaction between skin microbes and host immunity plays an important role in acne. Acne also has close connections with the gastrointestinal tract, and many argue that the gut microbiota could be involved in the pathogenic process of acne. The emotions of stress, have been hypothesized to aggravate acne by altering the gut microbiota. The presence of a gut-brain-skin axis that connects gut microbes, oral probiotics, and diet, currently an area of intense scrutiny, to acne severity. This study concentrates on the skin and gut microbes in acne, the role that the gut-brain-skin axis plays in the immunobiology of acne, and newly emerging microbiome-based therapies that can be applied to treat acne.

Obiective The purpose of this study was to compare the diversity of the skin microbiota in acne patients before and after taking Polenoderm.

Materials and methods A longitudinal cohort study was performed on 20 participants with moderate to severe facial acne with no recent use of oral and topical antibiotics/retinoids.

Results Hence, it is crucial to understand Polenoderm impact on the acne skin microbiota which is thought to be perturbed, our study provides insight into the skin microbiota in acne and how it is modulated by Polenoderm and diet.

Conclusion Acne also has close connections with the gastrointestinal tract, and many argue that the gut microbiota could be involved in the pathogenic process of acne. As understanding of the microbiome in healthy skin and the pathophysiology of acne continues to develop, new therapeutic targets are arising.

Keywords: acne, gut-brain-skin axis microbiota, Polenoderm, diet

ALOE VERA IN DIABETES MELLITUS: ADVANCES IN THERAPEUTIC APPLICATIONS AND MECHANISTIC INSIGHTS

Muhammad Adil

Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Pakistan

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a metabolic disease marked by high blood sugar levels, which can lead to severe consequences like affecting the kidneys, eyes, nerves, and cardiovascular system. Aloe vera (Aloe barbadensis Miller), a plant traditionally medicinal herb, is rich in bioactive compounds such as alkaloids, flavonoids, acemannan, anthraquinones, anthrones, enzymes and vitamins. These active compounds contribute to Aloe vera's wide range of biological effects, including antimicrobial, anticancer, antidiabetic, anti-inflammatory, antioxidant, and hypolipidemic properties. This study mainly focuses on diabetes therapy via enzyme inhibition and regulation of metabolic parameters that particularly focus on wound healing in diabetic complications. The study evaluates how aloe vera helps in diabetes treatment and minimising the risk of diabetes-related organ damage. This was assessed by the inhibition of several key biocatalysts associated with carbohydrate and lipid metabolism, including α-glucosidase, α-amylase, and dipeptidyl peptidase-4, using both in vivo and in vitro models. Previous studies have demonstrated that administering various doses of aloe vera-based extracts in streptozotocin-induced diabetic models helps to regulate metabolic signalling pathways. These include improvements in blood sugar levels, insulin sensitivity, lipid profiles, body weight, oxidative stress, and inflammatory markers such as TNF-α and IL-6. Additionally, clinical trials support aloe vera's effectiveness in diabetic wound healing by enhancing tissue regeneration processes like angiogenesis, fibrinogenesis, and collagen synthesis, leading to reducing lesion size. These therapeutic effects underscore Aloe vera's hypoglycaemic properties, which show promising potential as an alternative clinical treatment for diabetes.

SALIVARY IL-6 AND TNF-A LEVELS AS NON-INVASIVE BIOMARKERS FOR PERIODONTAL DISEASE DIAGNOSIS AND MONITORING

PhD Viorica Rarinca

"Ioan Haulica" Institute, Apollonia University, 700511 Iasi, Romania; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0256-8911

PhD Student Mălina Visternicu

Doctoral School of Biology, Faculty of Biology, "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Carol I Avenue, 20A, 700505 Iași, Romania. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0315-1264

PhD Student Cătălina Ionescu[1,2]

Ioan Haulica" Institute, Apollonia University, 700511 Iasi, Romania; Doctoral School of Biology, Faculty of Biology, "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Carol I Avenue, 20A, 700505 Iași, Romania ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4979-1057

Prof. Dr. Alin Ciobica

Doctoral School of Biology, Faculty of Biology, "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Carol I Avenue, 20A, 700505 Iași, Romania, Department of Biology, Faculty of Biology, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Bd. Carol I no. 20A, 700505 Iasi, Romania, "Olga Necrasov" Center, Department of Biomedical Research, Romanian Academy, Iasi, Romania; Academy of Romanian Scientists, Bucharest, Romania

Abstract:

Periodontal disease is a destructive chronic inflammatory condition determined by the interaction between the bacterial biofilm and the host immune response, making the identification of non-invasive diagnostic methods a current priority. Saliva contains numerous biomarkers reflecting oral tissue status, among which proinflammatory cytokines IL-6 and TNF-α play an essential role in tissue destruction. This study aimed to evaluate and compare salivary levels of these cytokines in patients with different periodontal statuses (healthy, gingivitis, and periodontitis) to analyze their correlation with clinical parameters. Saliva samples were collected from subjects divided into three groups based on clinical periodontal indices, and IL-6 and TNF-α concentrations were determined using the ELISA technique. Statistical analysis demonstrated a significant increase in both biomarkers among periodontitis patients compared to the gingivitis and control groups, highlighting a strong positive correlation between cytokine levels and the severity of periodontal destruction. In conclusion, salivary levels of IL-6 and TNF-α accurately reflect the intensity of inflammation, demonstrating the potential of these molecules as efficient, non-invasive tools for the early diagnosis and monitoring of periodontal disease progression.

Keywords: Periodontal disease, saliva, IL-6, TNF-α, non-invasive diagnosis, biomarkers.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

ROLE OF OXIDATIVE STRESS AND INFLAMMATORY BIOMARKERS IN DIABETIC KIDNEY DISEASE

Maria Fareed Siddiqui

Assistant Professor Pharmaceutical Biotechnology, Faculty of Pharmacy, University of Lahore-Pakistan.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8515-5260

Umar Raees

MPhil Scholar, Department of Pharmacy, University of Lahore.

Aiman Mahmood

Department of Pharmacy, Minhaj University, Lahore.

ABSTRACT

Background: Diabetic nephropathy is a severe complication of diabetes mellitus. It is characterized by chronic high blood sugar, which leads to significant kidney tissue destruction. This structural damage is primarily driven by an imbalance between high oxidative stress and reduced antioxidant defenses in the body.

Methods: This clinical study was conducted at Jinnah Hospital in Lahore. Researchers analyzed 50 patients to evaluate the link between inflammatory biomarkers and antioxidant status in diabetic kidney damage. Utilizing advanced diagnostic methods, including spectrophotometric techniques and ELISA kits, the study assessed blood profiles, antioxidant enzyme levels, and nutritional status.

Results: The results indicated marked abnormalities in hematological parameters. Distinct changes in platelet counts and white blood cell levels were observed, which indicate active inflammation and potential blood clotting issues. Furthermore, the study identified significant deficiencies in essential vitamins A, C, D, and E, alongside severely depleted antioxidant enzyme defenses. Conversely, levels of harmful oxidative stress markers and inflammatory proteins were heavily elevated.

Conclusion: The findings demonstrate that persistent high blood sugar triggers a destructive cascade in the body. It increases oxidative stress and inflammation, which directly alters kidney structure and function. This process accelerates the progression of kidney disease, highlighting these specific clinical biomarkers as crucial tools for future disease management.

Keywords: Antioxidants, Diabetes Mellitus, Diabetic Nephropathy, Inflammation, Kidney Damage, Oxidative Stress, Vitamins

NUTRACEUTICALS AS EMERGING TOOLS FOR PRECISION MEDICINE: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Ibrahim Sani Dikko

Umaru Musa Yar'adua University Katsina, ORCID: 0009-0006-1401-5117

ABSTRACT

Precision medicine has transformed modern healthcare by promoting individualized approaches to disease prevention, diagnosis, and treatment based on genetic makeup, physiological status, environmental exposure, dietary habits, and lifestyle factors. Within this evolving field, nutraceuticals have attracted increasing attention because of their ability to support health, reduce disease risk, and complement conventional therapeutic approaches. Nutraceuticals are naturally derived bioactive substances obtained from foods, medicinal plants, microorganisms, and other biological sources that provide benefits beyond basic nutritional functions. Common examples include polyphenols, flavonoids, carotenoids, dietary fibers, probiotics, prebiotics, omega-3 fatty acids, vitamins, minerals, and bioactive peptides. The growing burden of non-communicable diseases such as cardiovascular diseases, diabetes mellitus, obesity, cancer, and neurodegenerative disorders has intensified the search for preventive and personalized healthcare strategies. Conventional therapeutic approaches often fail to account for individual biological differences, leading to variations in treatment outcomes among patients. Recent advances in genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, and microbiome research have revealed considerable differences in individual responses to nutrients and bioactive compounds, creating new opportunities for integrating nutraceuticals into precision medicine. This review aims to discuss the growing role of nutraceuticals in precision medicine and highlight their potential in personalized disease prevention, health promotion, and therapeutic support. Specifically, the review describes major classes and sources of nutraceuticals used in healthcare, discusses their relationship with precision medicine, presents developments in omics sciences that support personalized nutritional interventions, identifies opportunities associated with nutraceutical-based healthcare, highlights current limitations affecting clinical use, and provides recommendations for future research and practice. Findings from published literature indicate that nutraceuticals possess antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, immunomodulatory, cardioprotective, neuroprotective, and anticancer properties. Polyphenols from fruits and vegetables, omega-3 fatty acids from marine sources, probiotics, dietary fibers, and bioactive compounds from medicinal mushrooms have demonstrated beneficial effects in maintaining metabolic health and lowering disease risk. Available evidence also suggests that genetic variations influence nutrient metabolism, absorption, utilization, and biological response, thereby supporting the growing relevance of individualized nutritional strategies. Advances in omics technologies have generated valuable information regarding gene–nutrient interactions, metabolic responses, protein expression patterns, and gut microbiota composition, facilitating more targeted dietary recommendations and health interventions. The review identifies several opportunities

associated with nutraceuticals in precision medicine, including improved disease prevention, enhanced patient-centered care, support for healthy aging, reduction of healthcare costs through early intervention, and the possibility of developing personalized dietary recommendations tailored to individual biological characteristics. Nutraceuticals may also provide supportive benefits when combined with conventional therapeutic approaches, particularly in the management of chronic diseases. Despite these advantages, several challenges continue to limit widespread clinical adoption. These include the absence of globally harmonized production standards, variations in raw materials and processing methods, concerns regarding product quality and bioavailability, inconsistent regulatory requirements across countries, limited large-scale human studies for some nutraceutical products, possible interactions with pharmaceutical drugs, differences in individual responses, and the relatively high cost of advanced omics-based testing. The review reveals that nutraceuticals possess considerable potential as supportive tools in precision medicine because of their capacity to address individual biological variability and promote personalized health management. To strengthen their future role, greater investment in well-designed human studies, improved international regulatory coordination, enhanced professional training in precision nutrition, stronger collaboration among healthcare and life science disciplines, wider access to omics technologies, and increased public awareness regarding evidence-based use of nutraceutical products are recommended. In conclusion, nutraceuticals represent a promising component of precision medicine and offer new possibilities for personalized disease prevention and health management. Continued advances in genomics, metabolomics, proteomics, transcriptomics, and microbiome research are expected to further improve understanding of individual responses to dietary bioactive compounds and support the development of tailored nutritional interventions. Although challenges related to regulation, standardization, clinical validation, and accessibility remain, ongoing scientific progress and appropriate regulatory oversight are likely to strengthen the role of nutraceuticals in future healthcare systems and promote their integration into personalized and preventive medicine.

Keywords: Nutraceuticals; Precision medicine; Functional foods; Omics sciences; Nutrigenomics; Metabolomics; Personalized nutrition; Gut microbiome; Chronic diseases.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

BOX-BEHNKEN DESIGN-DRIVEN OPTIMIZATION OF AN HPLC METHOD FOR THE SIMULTANEOUS DETERMINATION OF A COX-2 INHIBITOR AND ITS STRUCTURALLY RELATED IMPURITIES

Z. KHADRANE

Laboratory of Analytical and Molecular Chemistry, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University of Casablanca, Morocco

A. BELMOUDDEN

Laboratory of Analytical and Molecular Chemistry, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University of Casablanca, Morocco

F. BAZI

Laboratory of Analytical and Molecular Chemistry, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University of Casablanca, Morocco

B. MOUNIR

Laboratory of Analytical and Molecular Chemistry, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University of Casablanca, Morocco

ABSTRACT

Chromatographic method development for pharmaceutical compounds presenting structurally similar impurities remains one of the most demanding challenges in analytical chemistry. The resolution of closely related species — such as geometric isomers or positional derivatives — requires a rigorous and systematic optimization strategy rather than a conventional one-factor-at-a-time approach. In this work, a response surface methodology based on the Box-Behnken experimental design was employed to optimize a reversed-phase high-performance liquid chromatography method for the simultaneous separation of a selective cyclooxygenase-2 inhibitor alongside two structurally related impurities: an isomeric form and a positional aromatic derivative. Three critical chromatographic factors — mobile phase composition, column temperature, and flow rate — were simultaneously investigated through a reduced set of experimental runs, allowing the modeling of factor interactions and the identification of optimal operating conditions. The robustness and predictive accuracy of the design were assessed through analysis of variance and desirability function maximization, yielding a set of conditions that ensured baseline resolution of all analytes within an acceptable run time. The optimized method was subsequently validated in accordance with ICH Q2(R1) guidelines, demonstrating satisfactory linearity, precision, accuracy, and specificity across the relevant concentration ranges. This study illustrates the effectiveness of chemometric tools in analytical method development and highlights the Box-Behnken design as a powerful and resource-efficient strategy for tackling complex chromatographic separation problems in the pharmaceutical context.

Keywords: Pharmaceutical analysis; Related impurities; HPLC; ICH validation; Quality control

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND ANTIPROLIFERATIVE ACTIVITY OF IRON(III), COBALT(II), NICKEL(II), AND COPPER(II) COMPLEXES WITH A HETEROCYCLIC SCHIFF BASE LIGAND

Vjollca Berisha

University of Prishtina, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, Department of Chemistry, Prishtina, Republic of Kosova

Sevdije Govori

University of Prishtina, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, Department of Chemistry, Prishtina, Republic of Kosova

Abstract

A novel heterocyclic Schiff base ligand containing nitrogen and oxygen donor atoms was synthesized and coordinated with iron(III), cobalt(II), nickel(II), and copper(II) ions. The resulting metal complexes were obtained in good yields and characterized by elemental analysis, FT-IR, UV–Vis, NMR, and mass spectrometry. Spectroscopic studies confirmed the coordination of the ligand through donor nitrogen and oxygen atoms, leading to the formation of stable metal complexes.

The antiproliferative activity of the ligand and its complexes was evaluated against selected human cancer cell lines using the MTT assay. The metal complexes exhibited enhanced antiproliferative activity compared to the free ligand, demonstrating the positive effect of metal coordination on biological activity. Among the synthesized compounds, the copper(II) and cobalt(II) complexes showed the highest cytotoxic potential. These findings suggest that heterocyclic Schiff base metal complexes represent promising candidates for further investigation as potential anticancer agents.

Keywords: Heterocyclic Schiff base, transition metal complexes, iron, cobalt, nickel, copper, antiproliferative activity, MTT assay.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GREEN SYNTHESIS INSPIRED BY THE CIRCULAR ECONOMY OF HIGH–SURFACE-AREA ZNO NANOPARTICLES USING *ARGANIA SPINOSA* CAKE EXTRACT

Soukaina El Bourachdi

Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Mahdi Lechheb

Materials Sciences for Energy and Sustainable Development Team, Department of Chemistry, FST Errachidia, Moulay Ismail University, Errachidia, Morocco

Ali Raza Ayub

Key Laboratory of Clusters Science of Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, P. R. China.

Abdelhay El Amri

International Water Research Institute (IWRI), Mohammed VI Polytechnic University, Lot 660 Hay Moulay Rachid, Ben Guerir 43150, Morocco

José Alberto Herrera-Melián

University Institute of Environmental Studies and Natural Resources (i-UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, Spain

Amal Lahkimi

[a] Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

ABSTRACT

This study presents a breakthrough circular economy–driven strategy for the green synthesis of ZnO nanoparticles using *Argania spinosa* press-cake, an abundant Moroccan agro-waste. A key innovation lies in the optimization of BET surface area (201.09 m^2/g) via Box–Behnken design, enabling precise control of structural properties. The optimized ZnO was subsequently engineered into binary (CS@ZnO) and ternary (CS@ZnO@Ghassoul clay) nanocomposite beads, leading to significant enhancement in performance.

The ternary nanocomposite reached a high BET surface area of 398.23 m^2/g, corresponding to an increase of approximately 98% compared to pristine ZnO, and exhibited excellent photocatalytic activity, achieving 97.87% degradation of Basic Yellow 28 within 40 min, with a marked improvement in reaction kinetics (k_{app} = 0.1071 min^{-1}, compared to 0.00271 min^{-1} for ZnO).

A major advancement of this work is the regeneration-enabled dual functionality. After dye degradation, the regenerated ternary nanocomposite retained a high surface area (309.66 m^2/g) and demonstrated near-complete Cu^{2+} photoreduction (99.5% in 110 min, k_{app} = 0.02614 min^{-1}), while the binary system achieved 92.01% removal (k_{app} = 0.01505 min^{-1}). This highlights a unique sequential treatment capability, combining organic dye degradation and heavy metal removal within a single reusable material.

DFT analysis revealed a low energy gap (2.05 eV), high electrophilicity (4.59 eV), and strong charge transfer capacity (ΔNmax = 2.92), supporting the observed high reactivity. Application to real textile wastewater confirmed practical relevance, with 79.3% COD, 67.0% BOD_5, and 59.9% dye removal.

Overall, this work establishes a next-generation, scalable, and sustainable nanocomposite platform, integrating green synthesis, statistical optimization of BET surface area, and multifunctional regeneration, delivering a high-performance photocatalyst for complex wastewater remediation.

Keywords: Argania spinosa press-cake extract; Basic Yellow 28; BET surface area; Cu^{2+} photoreduction; Green synthesis; Zinc oxide nanoparticles.

SURFACE ENGINEERING OF WASTE-DERIVED HYDROXYAPATITE VIA ZNO DOPING FOR HIGH-PERFORMANCE ANIONIC DYE REMOVAL

Lamiaa Habraji

Laboratory of Applied Chemistry of Materials, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat 10090, Morocco

Souhayla Latifi

Laboratory of Applied Chemistry of Materials, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat 10090, Morocco

Douae Touareb

Laboratory of Applied Chemistry of Materials, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat 10090, Morocco

Sarah Saoiabi

Avian Pathology Unit, Department of Veterinary Pathology and Public Health and Food, Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Rabat 10101, Morocco

Sanaâ Saoiabi

Laboratory of Applied Chemistry of Materials, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat 10090, Morocco

ABSTRACT

The increasing release of dye-containing industrial effluents into aquatic environments has intensified the need for sustainable and efficient adsorbent materials for wastewater remediation. Among emerging adsorbents, waste-derived hydroxyapatite (HAp) has attracted considerable attention due to its low cost, environmental compatibility, and remarkable adsorption potential. Nevertheless, enhancing its affinity toward anionic pollutants remains a significant challenge.

In this study, bovine bone waste-derived hydroxyapatite was successfully surface-engineered through ZnO doping to improve its physicochemical properties and adsorption efficiency toward Methyl Orange (MO), used as a model anionic dye. Hydroxyapatite was synthesized via alkaline treatment followed by calcination, while ZnO incorporation was employed to tailor the surface chemistry and increase the density of active adsorption sites. Structural and morphological analyses performed using XRD, FTIR, and SEM/EDS confirmed the formation of crystalline hydroxyapatite and the successful incorporation of ZnO onto the material surface. The surface modification induced noticeable changes in morphology and surface reactivity, contributing to enhanced adsorbate–adsorbent interactions. Batch adsorption experiments revealed a significant improvement in MO removal efficiency for ZnO-doped HAp compared with pristine hydroxyapatite. Kinetic investigations indicated that the adsorption process is

predominantly governed by chemisorption mechanisms, whereas thermodynamic analysis demonstrated the spontaneous and exothermic nature of adsorption. Furthermore, regeneration studies highlighted the excellent stability and reusability of the modified adsorbent over repeated adsorption–desorption cycles, demonstrating its practical applicability for sustainable wastewater treatment.

This work demonstrates that ZnO-assisted surface engineering represents an effective and eco-friendly strategy for upgrading waste-derived hydroxyapatite into a high-performance adsorbent for the efficient removal of hazardous anionic dyes from aqueous media.

Keywords: Hydroxyapatite; ZnO Doping; Surface engineering; Methyl Orange; Adsorption; Wastewater treatment.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

STUDY OF THE INHIBITION OF CORROSION OF MILD STEEL IN MOLAR HYDROCHLORIC ACID MEDIUM BY TWO NEW SYNTHESIZED PYRAZOLONE DERIVATIVES

Youssef ADNAN

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

Hassan OUACHTAK

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco, Faculty of Applied Sciences, Ait melloul, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

Abdelaziz AIT ADDI

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

ABSTRACT

This study investigates the corrosion inhibition performance of two newly synthesized C4-substituted pyrazolone-based heterocyclic compounds: 3-(5-methyl-3-oxo-2,3-dihydro-1H-pyrazol-4-yl)-3-phenylpropanoic acid (C4-PRZ-1) and its chloro-substituted analogue, 3-(5-methyl-3-oxo-2,3-dihydro-1H-pyrazol-4-yl)-3-(4-chlorophenyl) propanoic acid (Cl-PRZ), on mild steel (MS) in 1 M hydrochloric acid (HCl). Their inhibitory properties were evaluated using a combination of electrochemical methods, surface characterization, and theoretical modeling.

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization (PDP) techniques were used to assess corrosion protection. The effects of inhibitor concentration, temperature, and immersion time on inhibition efficiency were systematically examined. The results showed that inhibition efficiency increased with inhibitor concentration, reaching maximum values of 85% for C4-PRZ-1 (5.0 mM, 298 K) and 86% for Cl-PRZ (1.0 mM, 298 K). However, increasing the temperature from 298 to 328 K led to higher current densities and lower charge transfer resistance, resulting in reduced inhibitory performance.

Adsorption studies revealed that both inhibitors follow the Langmuir adsorption isotherm, suggesting monolayer formation on the metal surface. Thermodynamic parameters, including a standard free energy of adsorption ($\Delta G°ads \approx -38$ kJ·mol^{-1}), indicated a mixed physico-chemical adsorption mechanism involving both physical and chemical interactions. Surface analyses using scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) confirmed the formation of a compact and adherent protective film on the steel surface.

Density functional theory (DFT) calculations provided insight into electronic properties and charge transfer between the active moieties of the inhibitors and the metal substrate. Monte Carlo simulations combined with simulated annealing algorithms (SAA) and adsorption locator techniques demonstrated stable adsorption configurations and strong molecular interactions at the metal–inhibitor interface. Collectively, the experimental and theoretical results confirm that C4-PRZ-1 and Cl-PRZ are highly effective, stable, and promising inhibitors for mild steel corrosion in acidic media.

Keywords: heterocyclic Organic inhibitor, EIS, Polarization, Langmuir, FDT, MD simulation, Mild steel.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

EFFECT OF CALCINATION ATEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF SILICA (SIO_2) NANOPARTICLES SYNTHESIZED FROM KAOLIN

Elijah Yanda Shaba

Department of Chemistry, Federal University of Technology, P. M. B. 65, Minna, Niger State, Nigeria

ABSTRACT

Silica (SiO_2) nanoparticles have received attention over the years due to their wide applications and unique physicochemical properties. The synthesis and post-treatment parameters, such as the calcination temperature and time, significantly affect the properties of silica nanoparticles. In this study, SiO_2 nanoparticles were successfully synthesized from kaolin, and the effect of calcination temperature on the surface morphology, crystallite size, phase and elemental composition of the nanoparticles was investigated. According to X-ray diffraction (XRD) results, at 300℃, 600℃ and 900℃, all the SiO_2 nanoparticles obtained were in the α-quartz phase, and as the time increased to 1200℃, the phase changed to cristobalite. The average crystallite size was 23.00 nm, 23.59 nm, 28.60 nm, and 62.25 nm at calcination temperatures of 300, 600, 900, and 1200℃, respectively. High-resolution scanning electron microscopy (HRSEM) with energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy was used to evaluate the morphology and elemental compositions of the SiO_2 nanoparticles. HRSEM confirmed a transformation from agglomerated spherical shapes (300℃), spherical and pyramid-like shapes (600℃), and irregular structural shapes (900℃) to a well-fused pyramid-like shape (1200℃). EDX results showed that the synthesised SiO_2 contained Si, O and Na as the major elements. BET analysis of the pure SiO2 suggests that the SiO2 nanoparticles had a surface area of 186m^2/g. The result indicates the presence of silicon, oxygen and carbon components in the sample with the electron core level XPS spectra of Si (2p), Si (2s), O (1s), O (2s), and C (1s), respectively. The findings from this study indicate that calcination temperature played an important role in the synthesis of SiO_2 nanoparticles from kaolin.

Keywords: Calcination Temperature, Properties, Kaolin, SiO_2 nanoparticles

Introduction

Silicon oxide (SiO_2), also known as silica, is one of the most studied metal oxides, second only to water (Sharma *et al* . 2023). Cristobalite, tridymite, and quartz are three polymorphic forms of crystalline SiO2 nanoparticles (NPs) (Nabata *et al*., 2020**)**. There are twelve different silica crystals such as alpha (α)-quartz, beta (β)-quartz, alpha (α) -tridymite, beta (β)- tridymite, alpha (α) -cristobalite, beta (β)-cristobalite, moganite, stishovite, keatite and coesite are some of the silica known, the most common being quartz (Martins *et al* ., 2023). SiO_2 nanoparticles exist in both crystalline (quartz) and amorphous (fused silica).

Cristobalite has a cubic zinc-blend structure at high temperatures, but can crystallize and persist metastably at lower temperatures. Monoclinic tridymite is stable at intermediate temperatures, and quartz is hexagonal at low temperatures (Henderson, 2021). The structural transformations of these crystal forms are gradual and they may all coexist at room temperature.

SiO_2 nanoparticles have gained increasing interest owing to their characteristics such as low toxicity, stability, compatibility, high surface area, size, and the ability to be functionalized with a variety of molecules (September *et al* ., 2023). SiO_2 nanoparticles have been reported to have unique geometric properties that can form improved hybrid nanomaterials without altering or destroying their chemical properties (Spitzmüller, *et al*., 2023). These characteristics largely depend on the morphology, surface area, crystallite size, functional groups and surface stability of the nanoparticles, which are linked to the synthesis conditions and the precursors employed (Sahab *et al* ., 2023). These properties have made

silica nanoparticles a unique and interesting metal oxide for application in different fields of science and technology over the globe.

SiO_2 has been used as a filler for batteries, optical fibres, electrical insulators, thermal insulators, catalysts and adsorbents in addition to its use in building and medicine (Mallakpour *et al*, 2018). High-purity SiO_2 nanoparticles are typically produced synthetically from organic and inorganic precursors such as tetraethylorthosilicate (TEOS), tetramethyl orthosilicate and sodium silicate (Shaba *et al* ., 2023).

The synthesis of SiO_2 nanoparticles from these chemicals is expensive, generates hazardous environmental pollutants, as a result, new approaches to finding a cleaner, cheaper and more environmentally friendly source of silica are needed. As an alternative, SiO_2 nanoparticles can be synthesized from natural sources such as maize cobs, coffee husks, rice husks, sugarcane bagasse and wheat husks many of which are dumped in ponds, rivers and fields, and can be used to recover silica (Yadav *et al* ., 2022), these materials are inexpensive and readily available. For instance, Nayak and Nayak (2022) reported the Synthesis of SiO_2 nanoparticles via the thermal method from rice husk ash; the authors confirmed the crystallite size of the SiO_2 nanoparticles to be 17.71 ± 7.53 nm. In another research by Usgodaarachchi *et al* . (2021) who independently synthesized SiO_2 nanoparticles from rice husk. To get better material the authors functionalized the SiO2 nanoparticles synthesized from the rice husk with amine and reported a crystallite size of 50–60 nm with a surface area of 150 m^2/g.

However, despite the successes recorded in the synthesis of SiO_2 nanoparticles from agricultural waste the purity and quantity of the SiO_2 nanoparticles synthesized from these agricultural sources remain a challenge. The use of clay such as kaolin as a material for the synthesis of SiO_2 nanoparticles is becoming popular due to the richness and accessibility of kaolin materials. Kaolin is a naturally occurring clay mineral and serves as a promising precursor for the synthesis of silica nanoparticles (Maged *et al.* 2023). To obtain SiO_2 nanoparticles with better properties the calcination temperatureis an important factor.

The calcination temperature is the duration during which the synthesized silica precursor undergoes controlled maturation before further processing and emerges as a critical parameter influencing the final properties of the nanoparticles (Shaba *et al* ., 2021). The calcination temperature process allows the removal of other impurity especially water molecules promoting the stability of the silica nanoparticles. This parameter significantly affects the size, morphology, surface area, and reactivity of the resulting silica nanoparticles (Giacobello *et al* ., 2022). The duration of calcination at a given temperature has a direct impact on the size and morphology of the silica nanoparticles. Prolonged calcination temperature tends to formation of larger nanoparticles. Conversely, shorter calcination temperatures result information of smaller nanoparticles (Khaenamkaew *et al* , 2020). Understanding and controlling this aspect are crucial for tailoring the nanoparticles to specific applications, as particle size profoundly influences their optical, catalytic, and mechanical properties (Florensa *et al* ., 2022).

The ageing process also plays a pivotal role in determining the surface area and reactivity of silica nanoparticles. Extended ageing periods can increase surface area by promoting the formation of porous structures, which is advantageous for applications such as catalysis and adsorption. Moreover, the reactivity of the nanoparticles, particularly in catalytic processes, is intricately linked to their surface properties influenced by the ageing duration (Xu *et al* ., 2023).

The influence of calcination temperature offers a strategic approach to tailoring the properties of silica nanoparticles for specific applications.

Understanding the impact of calcination temperature on silica nanoparticles synthesized from kaolin is not only scientifically intriguing but also holds environmental and economic implications. Utilizing kaolin as a precursor aligns with sustainability goals, and optimizing the calcination temperature leads to the formation of pure SiO2 nanoparticles (Alhalili *et al*., 2022).

In addition, the synthesis of silica nanoparticles from kaolin is a sustainable method for producing SiO_2 nanomaterials. The crucial role of calcination temperature in shaping the properties of these nanoparticles highlights the need to understand and optimize this parameter. This exploration not only advances the scientific understanding of SiO_2 nanoparticle synthesis from kaolin but also paves the way to tailor SiO_2 nanoparticles for diverse applications, with potential environmental and economic benefits.

This study investigates the synthesis of SiO_2 nanoparticles from naturally available kaolin and studies the effect of calcination temperature on the morphology, crystallite size, phase, surface area, and surface stability of SiO_2 nanoparticles to synthesize high quality SiO_2 nanoparticles with better characteristics that can be used in different field of science and technology.

2.0 Materials and Method

2.1 Materials

2.1.2 Chemicals

Sodium hydroxide (NaOH) with a percentage purity of 99% and hydrochloric acid HCl (37%) were purchased from CHEMLAB. The chemicals were used without further purification.

2.1.2 Collection of Kaolin

The kaolin used in this research was collected from Pati Shaba Kolo in the Lavun Local Government of Niger State, Nigeria.

Pretreatment of the raw kaolin

Metal meta-kaolinization

About 50 g of the pretreated kaolin was weigh into a crucible and place in a muffle funnel to form meta-kaolin at 800 for 2 hours.

Dealumination of metakaolin

Dealumination of the metakaolin was carried out by acid leaching. 100.0 g of metakaolin was weighed into a 1000 cm^3 beaker and 300 cm^3 of distilled water was added to form a slurry. This was followed by the addition of 250 cm^3 of 3 $moldm^3$ HCl. The mixture was stirred continuously for 6 hours on a magnetic stirrer to prevent mud formation. Subsequently, the solution was allowed to stand for 3 hrs, after which it was washed several times until a pH of 7 was attained. The acid-leached metakaolin was dried in an oven at 120°C for 2 hours. It was labelled as dealuminated metakaolin and stored in an airtight container.

Synthesis of SiO_2 Nanoparticles

In the first stage, 50.0 g of the meta-metakaolinized material was weighed into a 250 cm^3 beaker. 3 mol/dm^3 of hydrochloric acid was added to the same mixture. This is then heated to 500°C to form solid sodium silicate ($Na2O{\cdot}xSiO2$); in the second step, sodium silicate solution is titrated with HCl (1 M) until it reaches a normal pH and produces silicite ($Si(OH)_4$) in a gel form; in the third step, silica precipitate is cleaned with DI water to release NaCl from it, and the precipitate is dried for 24 hrs at 80◦C. The process of forming silicite involved titrating a sodium silicate solution with 1 M of HCl until it reached a normal pH of approximately 7.

2.2.4 Characterization of SiO_2 Nanoparticles

The functional groups of the synthesized SiO_2 nanoparticles were synthesized using a Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrophotometer in the 4000–400 cm^{-1} wavelength range. A Bruker D8 Advance diffractometer operating at 40 kV and 40 mA was used to determine the crystal structure of the SiO_2

nanoparticles at 2θ of 5–90° with an angular step of 0.02°. The surface morphology of the synthesized SiO_2 nanoparticles synthesized at different calcination temperatures was determined using High-resolution electron microscope (HRSEM) operating at an accelerating voltage of 5 kV, was employed energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) to assess the composition of the synthesized ZnO nanoparticles. By using Cu K radiation at a power of 40 kV and a current of 40 mA, X-ray diffraction (XRD) was used to determine the crystal structure of the produced SiO_2 nanoparticles.

3.0 Results and Discussion

3.1 HRSEM Analysis of Sio_2 Nanoparticles

The surface morphologies of SiO_2 nanoparticles prepared from metakaolin at different calcination temperatures were examined by HRSEM, and the results are shown in Figure 1.

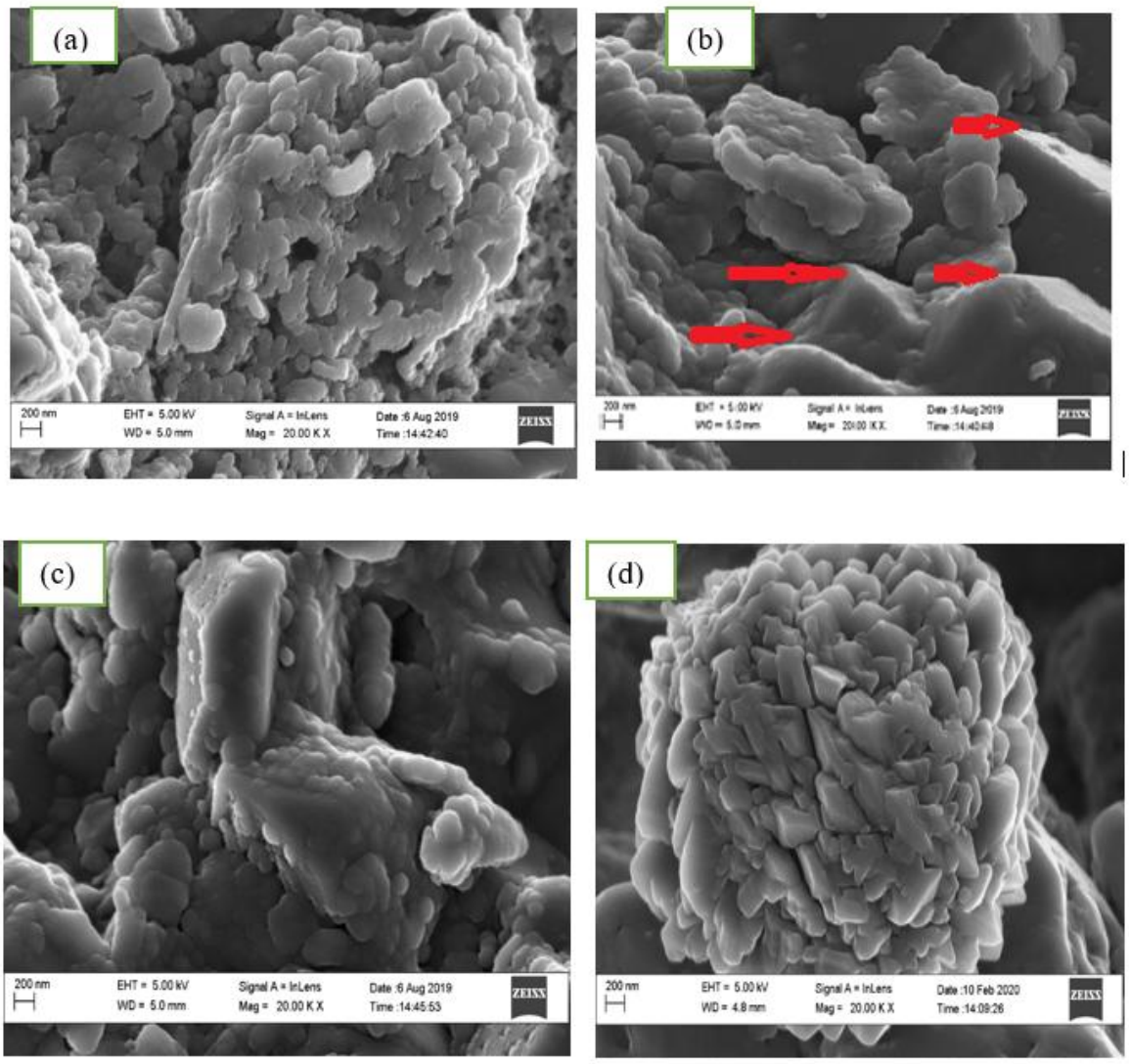


Figure 1: HRSEM Images of SiO_2 Nanoparticles Obtained from Metakaolin at *Calcination* temperature of (a) 300°C (b) 600°C and (c) 900°C, and (d) 1200°C

The HRSEM results show that the morphology of the SiO_2 synthesized changes from the agglomerated spherical shape in Figure 1(a) to a mixture of spherical and pyramid-like shapes in Figure 1(b). Also, the irregular structural shape and uniform layered component in Figure 1(c) as well as the fused pyramid-like shape shown in Figure 1(d). The structural transformation could be due to the increase in the calcination temperature from 300°C to 1200°C, as shown in Figure 1.

A longer calcination temperature increases crystalline solids and causes a change in structure. The observation may also be attributed to the fact that a higher calcination temperature increases the collision rate between Si particles, leading to the formation of a more homogeneous network of SiO2 structures (Chen et al., 2019). The trend observed in phase changes indicates that calcination temperature influenced the morphology of the SiO_2 nanoparticles derived from natural kaolin. The morphologies of the SiO_2 nanoparticles obtained in the present study differ from those reported by Slatni *et al*. (2020). They reported platy particle shape using the difference method. The difference in the morphologies observed could be due to the different methods of synthesis employed.

3.2 XRD Analysis of SiO_2 Nanoparticles Prepared at Different Calcination temperature

The mineralogical phase of the SiO_2 nanoparticles prepared from kaolin at the different calcination temperature was investigated using XRD and the results are shown in Figure 2

Figure 2 indicates the presence of diffraction peaks at 2θ values of 20.81°, 26.51°, 36.49°, 39.39°,

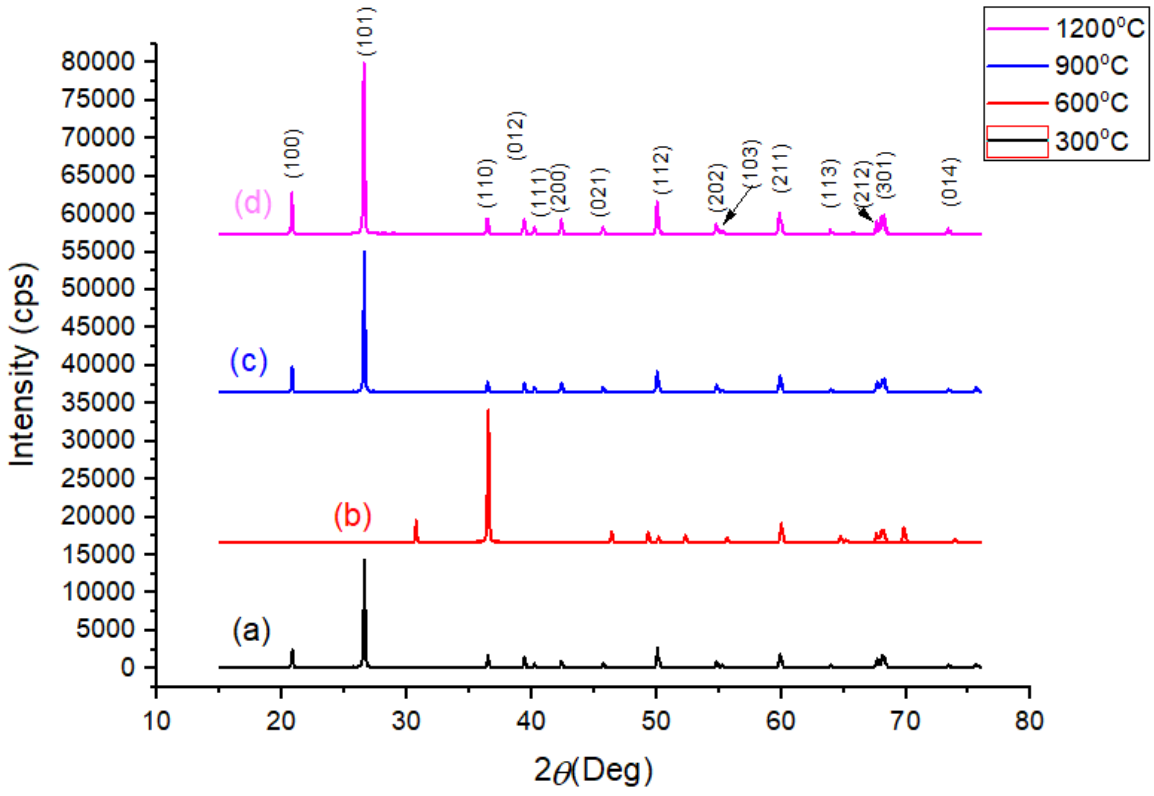


Figure 2: **XRD pattern of the SiO_2 Nanoparticles Prepared at (a) 300°C (b) 600°C and (c) 900°C, and (d) 1200°C**

40.22°, 42.39°, 45.71°, 50.04°, 54.77°, 55.21°, 59.86°, 63.90°, 67.62°, 68.19°, and 73.29° which correspond to crystal planes of (100), (101), (110), (012), (111), (200), (021), (112), (202), (103), (211), (113), (212), (301) and (014) respectively. The diffraction peaks correspond to various SiO_2 nanoparticles with JCP2-83-0539 (Fneich *et al* ., 2021). The variation of the Calcination temperature

between 300℃ to 900℃, led to the formation of hexagonal structure α- quart phase of SiO_2 nanoparticles with a unit cell of **a** = 4.92100, **c** = 5.41630 Z = 3. It was noticed that beyond 900℃, tetragonal structure cristobalite phase of SiO_2 nanoparticles was observed with a unit cell of a= 4.97320 **c** = 6.92360 and Z = 4 (JCP2-391425). The differences in the unit cell further support the change in phase from quartz to cristobalite. This implies that an increase in calcination temperature could lead to a change in the phase and crystal size of SiO_2 nanoparticles. It could be noted in Figure 2. that the intensity of the diffraction peak at the 2θ value of 20.28 ° increases with increasing Calcination temperaturefrom 300℃ to 1200℃, suggesting an increase in crystallinity of the SiO_2 nanoparticles as the calcination temperature increases.

From the X-ray diffraction (XRD) results presented in Figure 2, it was observed that the crystallographic properties of the material are strongly influenced by the calcination temperature. The diffraction peaks move towards the higher 2θ values as the calcination temperature increases from 300 to 600 °C. This change could indicate a decrease in lattice spacing (d-spacing) as per Bragg's law, which may be due to the loss of lattice water, volatiles, impurities, residual OH, and/or lattice contraction from thermal treatment. The high temperature also causes the particles to grow and rearrange their structure, creating a more compact crystal lattice.

Increasing the calcination temperature further to 900 and 1200 °C, however, returns the diffraction peaks to approximately the same 2θ values observed at 300 °C as seen in Figure 2(c). This behaviour could be explained by phase stabilization, lattice relaxation or thermodynamically stable crystalline lattice parameters of equilibrium. At these elevated temperatures, however, crystal growth and/or phase changes can offset the earlier shrinkage and restore the original d-spacing values.

Moreover, as the calcination temperature increased, the diffraction peak intensity increased gradually, suggesting that crystallinity and crystal growth increased (Yu *et al*., 2006). With increased temperature, sufficient thermal energy is available for atoms to rearrange into more ordered crystal structures, thereby minimizing the number of lattice defects and amorphous content. As a result, sharper and more intense diffraction peaks are seen and the crystal quality and crystallite size are improved at higher calcination temperatures.

Previous studies have shown that the conversion of quartz into other forms of silica such as cristobalite and tridymite is temperature-dependent with the formation of cristobalite at a low temperature (250 to 260°C) and tridymite at a temperature above 260°C. On the other hand, Perera *et al* ., (2019) established the formation of cristobalite as temperature increased from 650°C, to 750°C, to 850°C. Ratnawulan *et al*. (2018) reported the formation of cristobalite from silica sand at 800 °C, 900 °C, 950 °C, 1000 °C, and 1100 °C for 2 h. This temperature is relatively lower than 1200 °C used in this research, the change in the phase from α- quartz to cristobalite may be due to the synthesis at a longer Calcination temperature of 1200 °C.. The crystallite size was calculated using the Debye–Scherrer equation (see equation 3.1). It was observed that the average crystallite size increases from 23.00 nm, 23.59 nm, and 28.60 nm, 62.25 nm as Calcination temperatureincreases from 3, 6, 9 - 1200°C respectively. The observed increase in the crystallite size could be because the longer Calcination temperature (Shaba *et al* ., 2021).

EDS analysis of SiO_2 Nanoparticles

The elemental contents of synthesized SiO_2 nanoparticles at different calcination temperatures from kaolin were analyzed using Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and the result is presented in Figure 3.

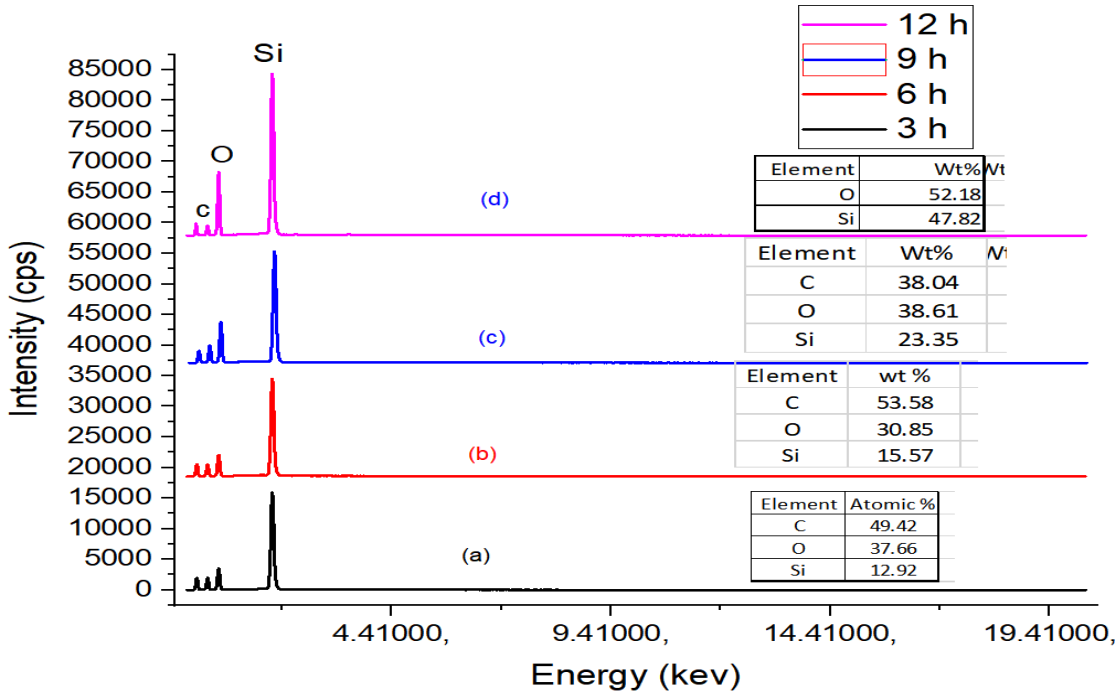


Figure 3: EDS of the SiO_2 Nanoparticles at (a) 300°C (b) 600°C (c) 900°C, and (d) 1200°C

The EDS spectra of SiO2 synthesized at 300°C, 600°C, 900°C and 1200°C, respectively, are shown in Figure 3. The peaks indicate the weight percentage of major elements present in the samples. Si and O are the dominant elements while C was detected as impurities. The Si, O, and C appear at a binding energy of 1.69 Kev, 0.47 Kev, and 0.250 Kev. The percentage weight (wt %) for the Si^{4+} ion was observed to be 12.9 %, 15.57 % and 23.35 % for Figure 3 (a), (b), (c), and (d) respectively. The Si and O contents increase with increasing calcination temperature, which is evidence of increased crystallinity. The increase in the percentage composition of oxygen and silicon also suggests the disappearance of the impurities in the samples.

The percentage weights of ion O^{2-} ion in the sample for Figure 3 a, b, c, and d were 37.66 %, 30.85 %, 38.61 %, and 52.18 % respectively while the C ion show percentage weight to be 49.42 %, 53.58%, 38.08 % and 0 % for 300°C 600°C 900 °C, and 1200°C respectively. The results agree with the findings of Singh et al . (2017). They synthesized silica using quartz sand as a precursor and confirmed silica as the major component with a very small amount of carbon**.** The increase in the Si content as a function of calcination temperature suggests an increase in the purity of the prepared sample. The elemental analysis results are similar to the result earlier reported in Figure 1(d) where the SEM image of the SiO_2 nanoparticle synthesized at 1200 °C shows a pyramid-like shape.

The result revealed that the cristobalite phase of SiO_2 was obtained at 1200°C, which corroborated the XRD result (see Figure 2). The observed trend may be explained by a higher calcination temperature, which accelerated the burning off of carbon atoms from the samples, leaving only Si and O atoms behind.

3.5 Brunauer–Emmett–Teller (BET) Analysis of SiO_2 Nanoparticles

The Brunauer–Emmett–Teller (BET) method was used to determine the surface area, pore diameter and pore volume of SiO_2 nanoparticles and the result is presented in Figure 4.

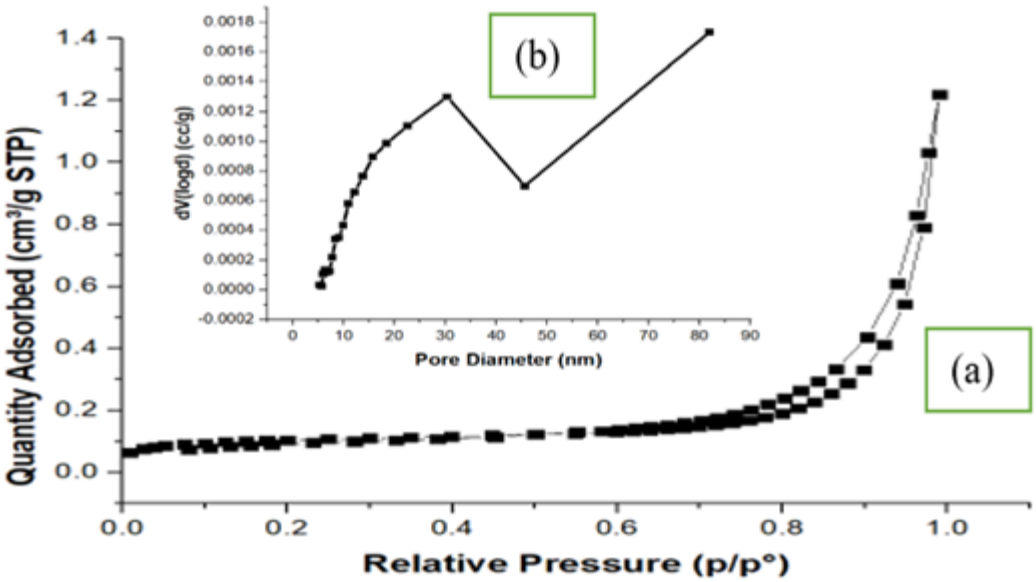


Figure 4: (a) Nitrogen Adsorption Desorption Isotherms and (b) Pore Size Diameter Distributions for SiO_2 Nanoparticles

Figure 4 shows that the adsorption isotherm of SiO2 nanoparticles exhibited typical behaviour similar to that of mesoporous materials, following the IUPAC pattern. Figure 4 (a), it can be noticed that SiO_2 nanoparticles exhibited a Type IV isotherm of typical mesoporous materials. Figure 5 also shows that the hysteresis loops were formed at a relative pressure of 0.57-0.98. The result indicates that SiO_2 nanoparticles have a low surface area of 186 m^2/g. with pore volumes and diameters of 0.002 cm^3/g and 32.150 nm, respectively, as shown in Figure 5 (b). The pore diameter suggests that SiO_2 nanoparticles are mesoporous, in line with the IUPAC classification of pore materials, where pore diameters between 2 and 50 nm are categorized as mesoporous. This suggests that the SiO_2 nanoparticles synthesised are mesoporous. Furthermore, Slatni *et al* . (2020) obtained mesoporous silica with a surface area of 161 m^2 /g. contrary to 186 m^2 /g obtained in this study. This may be linked to the method of synthesis and the nature of silicon, precursor.

3.6 XPS analysis of SiO_2 nanoparticles

The XPS analysis of the SiO_2 nanoparticle was studied to determine the chemical oxidation states of elements. The XPS general survey spectra and deconvoluted spectra of O (1s) and Si (2p) of the SiO_2 nanoparticles are presented in Figure 6 (a), (b), and (c) respectively.

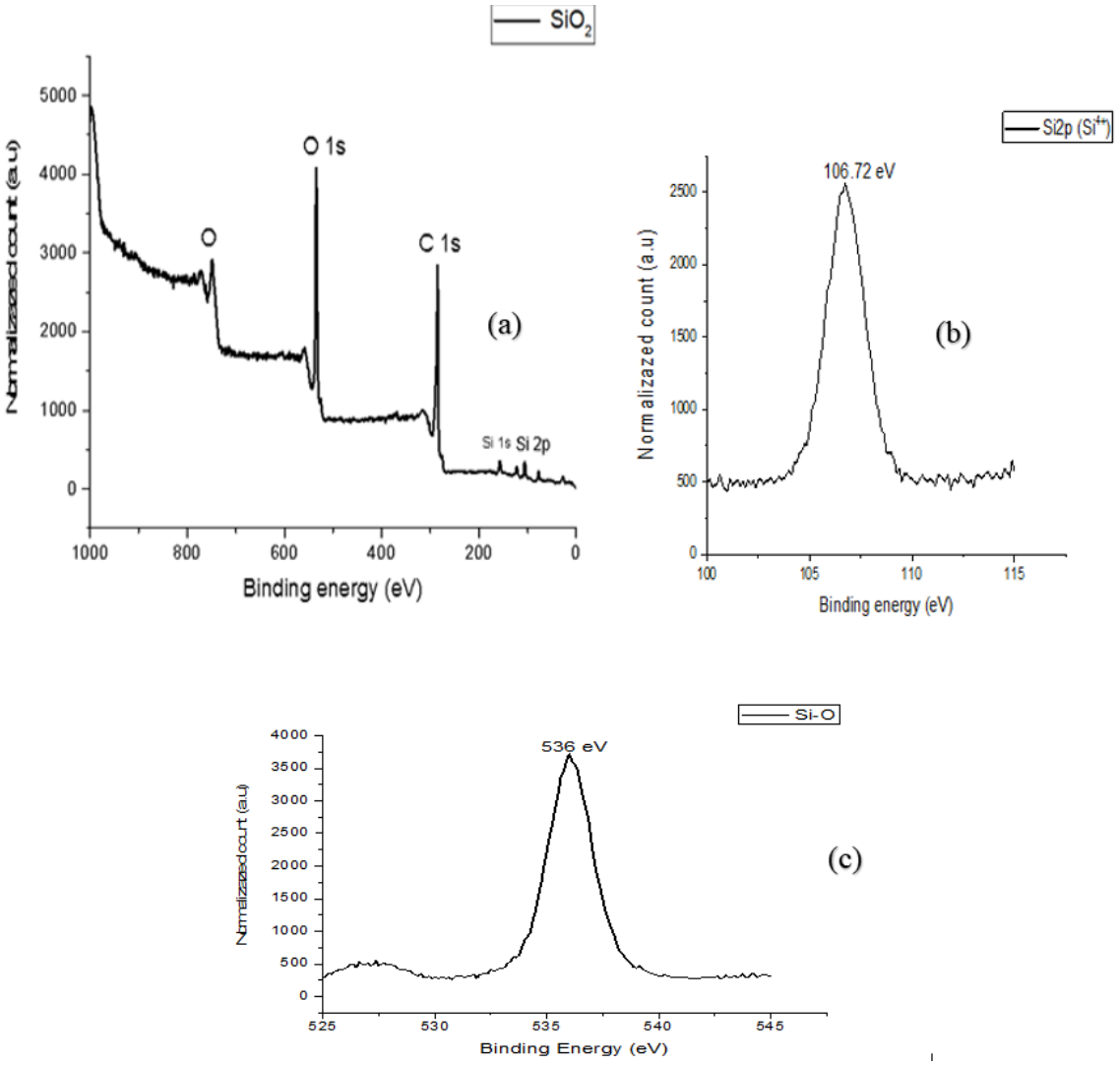


Figure 0.1 (a) XPS Survey Spectrum of the SiO_2 Nanoparticles, XPS Deconvoluted Patterns of the Si (2p) for SiO_2 Nanoparticles and (c) XPS Deconvoluted Patterns of the O 1s for SiO_2 Nanoparticles

Figure 6 (a) shows the full XPS survey spectrum of the SiO_2 nanoparticles. The result indicates the presence of silicon, oxygen and carbon components in the sample with the electron core level XPS spectra of Si (2p), Si (2s), O (1s), O (2s), and C (1s) respectively. The result reveals the presence of Si species at 154.2 eV for Si 2s signal peak. The presence of carbon atoms at the binding energy of 286 eV may be due to the carbon in the quartz sand. Figure 6 (b) shows the presence of a broad peak at the binding energy at 106.72 eV indicating the presence of Si in +4 oxidation state (Si^{4+}). Figure 4.13 (c) depicts O1s spectra single sharp peak which appears at the binding energy of 536.3 eV, the presence of a very high peak clearly shows evidence of more oxygen in the SiO_2 nanoparticles. A similar result has been reported by Lanco *et al* . (2021). The result obtained from this study is different from the 532.3 eV reported by Zenkovets *et al* . (2021), due to the difference in the method, precursors and synthesis processes used for the synthesis of SiO_2 nanoparticles.

Conclusion

The present study described the effect of calcination temperature on the properties of SiO_2 nanoparticles synthesized from locally available kaolin. The synthesis of SiO_2 nanoparticles from kaolin is a sustainable method due to its availability of the materials and a novel method for improving the control of phase, morphological, optical and properties of the SiO_2 nanoparticles. SiO_2 nanoparticles were successfully synthesized using locally available kaolin from Pati-Shaba Kolo. It has been found that when the calcination temperature increases from 300 to 1200°C, the crystallite size of the SiO_2 nanoparticles increases from 23.00 to 62.25 nm The phase of the synthesized SiO_2 nanoparticles changes from α-quartz phase to cristobalite as the Calcination temperature increases from 900°C to 1200°C. The result indicates the presence of silicon, oxygen and carbon components in the sample with the electron core level XPS spectra of Si (2p), Si (2s), O (1s), O (2s), and C (1s) respectively. From the findings of this research, it can be concluded that the calcination temperature influenced the properties of the SiO_2 nanoparticles.

REFERENCES

Alhalili, Z., & Smiri, M. (2022). The influence of the calcination time on synthesis of nanomaterials with small size, high crystalline nature and photocatalytic activity in the TiO2 nanoparticles calcined at 500° C. *Crystals*, *12*(11), 1629.

Chen, L., Liu, G., Feng, N., Yu, J., Meng, J., Fang, F., ... & Guan, G. (2019). Effect of calcination temperature on structural properties and catalytic soot combustion activity of MnOx/wire-mesh monoliths. *Applied Surface Science*, *467*, 1088-1103.

Florensa, M., Llenas, M., Medina-Gutiérrez, E., Sandoval, S., & Tobías-Rossell, G. (2022). Key Parameters for the Rational Design, Synthesis, and Functionalization of Biocompatible Mesoporous Silica Nanoparticles. *Pharmaceutics*, *14*(12), 2703. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14122703

Giacobello, F., Ielo, I., Belhamdi, H. & Plutino, M.R. (2022). Geopolymers and Functionalization Strategies for the Development of Sustainable Materials in Construction Industry and Cultural Heritage Applications: A Review. Materials, 15, 1725. https://doi.org/10.3390/ma15051725

Kepdieu, J. M., Djangang, C. N., Njimou, J. R., Maicaneanu, S. A., Mache, J. R., & Tchanang, G. (2023). Low-cost pathways to synthesize silica-smectite clay-based composites. *Silicon*, *15*(17), 7345-7356.

Khaenamkaew, P., Manop, D., Tanghengjaroen, C., & Palakawong Na Ayuthaya, W. (2020). Crystal structure, lattice strain, morphology, and electrical properties of SnO2 nanoparticles induced by low calcination temperature. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2020*(1), 3852421.

Maged, A., El-Fattah, H. A., Kamel, R. M., Kharbish, S., & Elgarahy, A. M. (2023). A comprehensive review on sustainable clay-based geopolymers for wastewater treatment: circular economy and future outlook. *Environmental monitoring and assessment*, *195*(6), 693. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11303-9

Mallakpour, S., & Naghdi, M. (2018). Polymer/SiO2 nanocomposites: Production and applications. *Progress in Materials Science*, *97*, 409-447.

Mitrano, D. M., Motellier, S., Clavaguera, S., & Nowack, B. (2015). Review of nanomaterial aging and transformations through the life cycle of nano-enhanced products. *Environment international*, *77*, 132-147.

Nayak, P. P., & Datta, A. K. (2021). Synthesis of SiO2-nanoparticles from rice husk ash and its comparison with commercial amorphous silica through material characterization. *Silicon*, *13*(4), 1209-1214.

R.T.E.K. Martins, I.A. Ferreira, A.O. Silva, M.C.S. Nunes, C. Ulsen, R. Künzel, M.M. Souza, M.L. Chithambo, E.M. Yoshimura, N.M. Trindade (2023). Thermoluminescence of rose quartz from Minas Gerais, Brazil, Radiation Physics and Chemistry,209, 1-9.

S. Prabha1 · D. Durgalakshmi1 · Saravanan Rajendran2 · Eric Lichtfouse (2021). Plant-derived silica nanoparticles and composites for biosensors, bioimaging, drug delivery and supercapacitors: a review. Environmental Chemistry Letters (2021) 19:1667–1691.

September, L. A., Kheswa, N. Seroka, N. S. & Khotseng, L. (2023). Green synthesis of silica and silicon from agricultural residue sugarcane bagasse ash a mini review. *RSC Adv.*, 2023, **13**, 1370-1380.

Sharma, P., Kaushal, R., & Prakash, J. (2023). SiO2 Based Multifunctional Hybrid Semiconductor Nanomaterials and Their Applications in Energy, Environment and Health. In *Multifunctional Hybrid Semiconductor Photocatalyst Nanomaterials: Application on Health, Energy and Environment* (pp. 127-152). Cham: Springer International Publishing.

Spitzmüller, L., Nitschke, F., Rudolph, B., J. Berson, Schimmel, T., Kohl, T. (2023). Dissolution control and stability improvement of silica nanoparticles in aqueous media. *J Nanopart Res* **25**, 40, 1-17.

Usgodaarachchi, L., Thambiliyagodage, C., Wijesekera, R., & Bakker, M. G. (2021). Synthesis of mesoporous silica nanoparticles derived from rice husk and surface-controlled amine functionalization for efficient adsorption of methylene blue from aqueous solution. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *4*, 100116.

Wang, Y., Li, F., Xin, J., Xu, J., Yu, G. & Shi, Q. (2023). Mesoporous Drug Delivery System: From Physical Properties of Drug in Solid State to Controlled Release. Molecules, 28, 3406. https://doi.org/10.3390/molecules28083406

Xu, B., Li, S. & Shi, R. (2023). Multifunctional mesoporous silica nanoparticles for biomedical applications. S*ignal Transduction and Targeted Therapy* 8, 435. https://doi.org/10.1038/s41392-023-01654-7

Yadav, M., Dwibedi, V., Sharma, S., & George, N. (2022). Biogenic silica nanoparticles from agro-waste: Properties, mechanism of extraction and applications in environmental sustainability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 108550.

Yu, J., Yu, H., Cheng, B., & Trapalis, C. (2006). Effects of calcination temperature on the microstructures and photocatalytic activity of titanate nanotubes. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, *249*(1-2), 135-142.

ADVANCING SOLID-STATE HYDROGEN STORAGE: MECHANISMS AND INNOVATIONS IN METAL HYDRIDES

Mohammed Naji

Physics Department, LPMAT Laboratory, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco Laboratory of Inorganic Materials for Sustainable Energy Technology (LIMSET), UM6P, Benguerir, Morocco

Abstract

As the global transition toward renewable energy accelerates, the safe and efficient storage of hydrogen has emerged as a critical bottleneck for realizing a sustainable energy economy. While hydrogen is a highly promising, clean energy carrier capable of addressing the intermittency of solar and wind power, conventional storage methods such as compressed gas and cryogenic liquid present significant safety, logistical, and efficiency challenges. Consequently, solid-state hydrogen storage has gained substantial traction as a superior alternative. Among solid-state approaches, metal hydrides stand out by securely and reversibly absorbing hydrogen directly within their crystal lattice structures. This mechanism not only mitigates the risks associated with high-pressure systems but also delivers exceptionally high volumetric hydrogen densities. Furthermore, the storage performance of metal hydrides can be precisely tuned through structural and compositional engineering, making them highly versatile for diverse applications. This review critically examines recent advances in solid-state hydrogen storage via metal hydrides, exploring their fundamental storage mechanisms, key performance metrics, existing technological hurdles, and their future role in scaling the global hydrogen infrastructure.

Keywords: Hydrogen storage, material-based storage, metal hydrides, renewable energy, energy transition, hydrogen economy.

THE PROBLEM OF MİCROPLASTİCS İN ENVİRONMENTAL MEDİCİNE

Mariami Managadze

"Student of the Faculty of Public Health, Tbilisi State Medical University."

Abstract

Introduction: Microplastics represent one of the most significant challenges in modern environmental medicine due to their widespread distribution and potential adverse effects on human health. These compounds enter the environment through various routes, including marine and freshwater sources, ambient air, and food products, increasing human exposure.

The study aimed to analyze the main sources, global distribution, and pathophysiological effects of microplastics on human health based on recent scientific literature.

Study Methods and Materials: This study is based on a narrative literature review conducted in accordance with PRISMA guidelines to ensure methodological transparency and accuracy. A comprehensive search was performed in the PubMed and Google Scholar databases, covering the period from 2014 to 2024. The following keywords were used: "microplastics," "human health," "bioaccumulation," "microplastics ingestion," and "toxicology of microplastics."

Inclusion criteria were: Peer-reviewed studies focusing on the impact of microplastics on human health, Systematic reviews, meta-analyses, original research articles. After initial screening of **134 articles**, **37** met the final eligibility criteria and were analyzed in depth.

Literature management was conducted using **Zotero**, while Microsoft Excel was used for data synthesis and thematic organization.

Results: The findings indicate that microplastics have bio accumulative properties and are linked to serious health effects, including endocrine disruption, inflammation, immune dysfunction, cancer risk, and neurodegenerative diseases.

Conclusion:
Strengthening control measures across drinking water, food, and air quality to mitigate microplastic exposure, supported by coordinated efforts in environmental regulation, public health, and education.

Key words: Microplastics, Health risks, Environmental medicine, Bioaccumulation.

Bibliography

✓ **Browne, M.A., et al.** (2011). *Accumulations of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks.* Environmental Science and Technology, 45, 9175–9179.

✓ **Hao-Peng Wang, Xu-Hui Huang, Jia-Nan Chen, Meng Dong, Cheng-Zhen Nie, Lei Qin.** (2023). *Micro- and nano-plastics in food systems: Distribution, combined toxicity with environmental contaminants, and removal strategies.* Chemical Engineering Journal, 476, 15 November, 146430.

✓ **Ivar do Sul, J.A., & Costa, M.F.** (2014). *The present and future of microplastic pollution in the marine environment.* Environmental Pollution, 185, 352–364.

✓ **Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., Song, M., & Sung.** (2023). *Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects.* Environmental Health, 1(4), 249–257.

✓ **Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B.** (2019). [Title missing]. [Journal name missing], 171(7), 453–457.

✓ **Thompson, R., & Napper, I.** (2019). *Microplastics in the Environment.* In Plastics and the Environment (pp. 60–81).

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

GLACİAL RETREAT, FRESHWATER AVAİLABİLİTY, AND WATER INSECURİTY İN MOUNTAİN-DEPENDENT COMMUNİTİES: A CLİMATE CHANGE PERSPECTİVE

Dr. Ayesha Batool

Ph.D, Department of Rural Sociology, University of Agriculture, Faisalabad.

Hafsa Naeem

Ph.D. Scholar, Department of Biochemistry, University of Agriculture, Faisalabad.

Dr. Farkhanda Anjum

Assistant Professor, Department of Rural Sociology, University of Agriculture Faisalabad.

Zainab Fatima

M.phil Scholar, Institute of Soil and Environmental Sciences, University of Agriculture, Faisalabad

Muneeb

M.Sc. Environmental Assessment and Management, University of Salford, England.

Dr. Shafiq-ur-Rehman Zia

Focal Person Olive Oil Project, The University of Loralai Balochistan Corresponding

ABSTRACT

Glaciers represent one of the most important natural sources of fresh water for communities living in and around mountain regions worldwide. Rising global temperatures, driven by increasing greenhouse gas emissions, are causing these glaciers to melt at an alarming rate. As glacier size decreases, the seasonal flow of rivers and streams that communities depend on for drinking water, irrigation, and hydropower becomes increasingly unreliable, posing serious threats to long-term water security. This study investigates the link between ongoing glacial retreat and growing water insecurity in mountain communities across the Himalayas, the Andes, and the Alps. Using satellite imagery, hydrological data, and field-based community surveys, the research identifies which populations are most at risk and how water shortages are affecting agriculture, health, and local livelihoods. Results indicate that low-income communities with limited adaptive capacity bear the greatest burden of glacier-driven water stress. The study also assesses the effectiveness of existing water management policies and international climate finance in supporting at-risk populations. It recommends that adaptation strategies integrate both scientific monitoring and local knowledge systems, and calls for more equitable and targeted climate action to protect the most vulnerable mountain communities from worsening water insecurity.

Keywords: glacial retreat, freshwater availability, water insecurity, climate change, climate adaptation

CO@AU HYBRID NANOSTRUCTURES FOR NANOMEDICINE: MODELLING OF PHOTOTHERMAL DYNAMICS AND GEOMETRIC REGULATION OF HEAT

H. EL MANSSOURI

Engineering and Materials Laboratory (LIMAT), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University Casablanca, P.O. Box 7955, Casablanca, Morocco.

A. AKOUIBAA

Engineering and Materials Laboratory (LIMAT), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University Casablanca, P.O. Box 7955, Casablanca, Morocco.

S. MORDANE

Engineering and Materials Laboratory (LIMAT), Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University Casablanca, P.O. Box 7955, Casablanca, Morocco.

ABSTRACT

Hybrid bimetallic nanoparticles (NPs) have attracted significant interest due to their ability to merge distinct physical and chemical functionalities within a single nanostructure. In particular, combining a magnetic cobalt core with a plasmonic gold shell enables the generation of surface plasmon resonances that facilitate intense optical confinement and efficient light-to-heat conversion. This work provides a comprehensive numerical and analytical investigation into the optical and thermoplasmonic properties of Co@Au NPs, featuring both spherical and prolate ellipsoidal geometries. The optical response was characterized using the Finite Element Method to evaluate key figures of merit, including the complex effective permittivity and the absorption cross-section. For spherical architectures, we systematically explored the impact of the internal void in yolk-shell configurations and the shell thickness on plasmonic damping and resonance tuning. To resolve the ultrafast heating dynamics, an analytical study based on the Two-Temperature Model was conducted under femtosecond pulsed laser irradiation. We meticulously tracked the transient evolution of electron and lattice temperatures within the various NPs components. The synergy between the magnetic properties of the cobalt core, which allows for precise spatial guidance, and the tunable thermoplasmonic effects of the gold shell, provides a robust platform for advanced nanomedical applications. These findings pave the way for high-precision protocols in localized thermal therapy, controlled drug triggering, and global cellular hyperthermia for cancer treatment.

Keywords: Magnetoplasmonic nanoparticles, Co@Au core-shell, Yolk-shell, Prolate geometry, Two-temperature model, Femtosecond laser, Photothermal cancer therapy.

BILTEK CONGRESS-XV
15th INTERNATIONAL CONGRESS ON CURRENT DEVELOPMENTS IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIAL SCIENCES

MODÉLISATION ANALYTIQUE D'UN SYSTÈME D'ÉVOLUTION FRACTIONNAIRE

Manel DJEBAILI

Université Larbi Ben Mhidi, Faculté des sciences et des sciences appliquées, Oum El Bouaghi, Algerie.

Résumé

Dans cette étude, nous étudions une nouvelle classe de problèmes de valeurs aux limites d'équations différentielles fractionnaires non linéaires dont le terme f non linéaire dépend d'une dérivée fractionnaire d'ordre inférieur donnée par:

$$c_{D_{0^+}}^{\alpha} x(t) = f\left(t, x(t), c_{D_{0^+}}^{\beta} x(t)\right) \quad , \quad t\epsilon[0,T], 1 < \alpha \leq 2 \, , 0 < \beta \leq 1$$

Avec des conditions limites fractionnaires séparées :

$$a_1 x(0) + b_1 \left(c_{D_{0^+}}^{\gamma} x(0)\right) = c_1 \quad , \quad a_2 x(T) + b_2 \left(c_{D_{0^+}}^{\gamma} x(T)\right) = c_2 \qquad 0 < \gamma < 1$$

où $c_{D_{0^+}}^{\alpha}$ est la dérivée fractionnaire au sens de Caputo, f : [0, T] × $R^2 \rightarrow$ R est une fonction continue et a_i, b_i, c_i, i = 1, 2 sont des constantes réels avec : $a_1 \neq 0$ et T > 0.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'existence et l'unicité des solutions d'un problème à limites fractionnaires séparées par application du théorème du point fixe de Schauder, ce dernier est plus topologique et affirme qu'une carte relativement compacte admet un point fixe qui n'est pas nécessairement unique. Il n'est donc pas nécessaire d'établir des estimations sur la fonction, mais simplement sur la compacité.

Et pour finaliser ce travail, nous illustrerons le résultat de ce théorème par un exemple d'application.

Mots clés : équation différentielles fractionnaires, conditions aux limites séparées fractionnaires, théorème du point fixe de Schauder, existence

İlgili makama;

15. Uluslararasi Bilimsel Araştirmalar Ve Güncel Gelişmeler Kongresi, 19-21 Haziran 2026 tarihleri arasında Paris'te 24 farklı ülkenin akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre kapsamında sunumu yapılan 124 bildirinin 57 adeti Türkiye'den katılımcılar tarafından; 67 bildiri ise 24 ülkeden katılımcılar tarafından sunulmuştur. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir. Bilgilerinize arz edilir.

Saygılarımla,

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU
Chair of the Organizing Committee

T.C.
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü

Sayı : E-54588387-903.07-174205 11/06/2026
Konu : Yurtdışı Görevlendirme (Çevrimiçi)-Doç. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN

PERSONEL DAİRE BAŞKANLIĞINA

İlgi dilekçeye istinaden; Merkezimizde görev yapan Doç. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN'in 19-21 Haziran 2026 tarihleri arasında Fransa'nın Paris şehrinde düzenlenecek olan **"BİLTEK 15. ULUSLARARASI BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE GÜNCEL GELİŞMELER KONGRESİ"** isimli kongrenin düzenleme kurulunda **çevrimiçi** olarak yer alacağına dair evrakları ilgi yazımız ekinde sunulmuştur.

Üniversitemiz Yurtiçi ve Yurtdışı Görevlendirme yönergesinin 4. Maddesine istinaden ilgili personelin görevlendirmesi Müdürlüğümüzce uygun görülmüştür.

Bilgilerini ve gereğini arz ederim.

Prof. Dr. Haşim KELEBEK
Rektör Yardımcısı

Ek: Dilekçe ve Ekleri-Doç. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN (5 Sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik İmza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu :BSF8AP444 Pin Kodu :36971 Belge Takip Adresi : https://ebelge.atu.edu.tr/enVision/Dogrula/BSF8AP444
Adres:Balcalı Mah. Güney Kampüs 10 Sokak No:1u Sarıçam/Adana
Telefon:3224550000 Faks:3224550000
e-Posta:iltem@atu.edu.tr Elektronik Ağ:itam.atu.edu.tr
Bilgi için: Makbule GÖZ
Unvanı: Şef
Tel No: 2802