



SAKKADİK GÖZ HAREKETLERİNDEN BİLİŞSEL YÜK TESPİTİ

Didem İŞSEVER

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Didem İŞSEVER

21/12/2023

SAKKADİK GÖZ HAREKETLERİNDEN BİLİŞSEL YÜK TESPİTİ
(Doktora Tezi)

Didem İŞSEVER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2023

ÖZET

Bilişsel yük, bireyin zihinsel kaynaklarını, bir görevi gerçekleştirirken kullanma kapasitesini ifade eden önemli bir kavramdır. Bilgisayar programcılarının karmaşık kodlama görevlerini yerine getirirken ortaya çıkan bilişsel yük etkilerini anlamak, hem yazılım geliştirme süreçlerini optimize etmek hem de programlama eğitimi geliştirmek açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, göz hareketleri aracılığıyla bilgisayar programcılarının kod anlama görevleri sırasında bilişsel yüklerini etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışma, 216 farklı programcının kişisel parametrelerini içeren “Programlamada Göz Hareketleri (EMIP)” veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Göz hareket verileri, gözbebeği hareket hızı ve çap değişimi gibi alt bilgilere ayrıştırılmıştır. Sinyallerdeki hızlı değişimleri bulmak için z-skor tabanlı tepe tespit algoritmasından yararlanılmıştır. Elde edilen göz hareket verileri ile programcılarının kişisel parametreleri arasında, matematiksel bir model oluşturmak için kanonik korelasyon analizi seçilmiştir. Programcıların yaşları, cinsiyetleri, anadilleri, deneyim süreleri, programlama yapma sıklıkları gibi bazı kişisel parametrelerin bilişsel yüke etki oranları incelenmiştir. Sonuç olarak göz hareketlerine bağlı bilişsel yük ile programcıların kişisel özellikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında incelenen dilsel mesafenin bilişsel yük üzerindeki etkisinin son derece önemli olduğu tespit edilmiştir. Kod anlama görevlerinde kullanılan programlama dili dışında başka bir programlama dili kullanma sıklığının bilişsel yük üzerinde zayıf bir etkiye sahip olduğu tespit edilirken programcıların yaşının bilişsel yük üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 92419

Anahtar Kelimeler : Sakkadik, göz hareketleri, bilişsel yük, göz izleme, bilgisayar programlama, EMIP

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Doç. Doç. Dr. Fecir DURAN

COGNITIVE LOAD DETECTION FROM SACCADIC EYE MOVEMENTS

(Ph. D. Thesis)

Didem İŞSEVER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2023

ABSTRACT

Cognitive load is an important concept that expresses the capacity of an individual to use his/her mental resources while performing a task. Understanding the cognitive load effects that occur when computer programmers perform complex coding tasks is critical to both optimizing software development processes and improving programming education. In this study, factors affecting the cognitive load of computer programmers during code comprehension tasks through eye movements were examined. The study was carried out using the "Eye Movements in Programming (EMIP)" dataset, which contains the personal parameters of 216 different programmers. Eye movement data is parsed into sub-information such as pupil movement speed and diameter change. A z-score-based peak detection algorithm was used to find rapid changes in signals. Canonical correlation analysis was chosen to create a mathematical model between the obtained eye movement data and the personal parameters of the programmers. The effect rates of some personal parameters such as programmers' ages, gender, native language, length of experience, and frequency of programming on cognitive load were examined. As a result, a significant relationship was found between the cognitive load due to eye movements and the personal characteristics of programmers. It has been determined that the effect of the linguistic distance examined within the scope of this study on cognitive load is extremely important. While the frequency of using another programming language other than the programming language used in code comprehension tasks was found to have a weak effect on cognitive load, the age of the programmers was found to have the highest effect on cognitive load.

Science Code : 92419

Key Words : Saccadic, eye movement, cognitive load, eye tracking, computer programming, EMIP

Page Number : 85

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Fecir DURAN

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, tez konusunun belirlenmesinden yazılmasına kadar tüm aşamalarda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bana her zaman inanan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Fecir DURAN'a mesleki gelişimime büyük katkı sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. O. Ayhan ERDEM'e, çalışmalarım süresince değerli katkıları ile bana destek olan komite üyesi değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YENİAD'a, saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun doktora çalışmalarım süresince büyük fedakârlıklarda bulunarak her zaman yanımda olan sevgili eşim Fethi İŞSEVER'e, değerli çocuklarıma, desteği ve yardımlarından dolayı şube müdürüm Nusret TÜRK BAY'a, Serap İŞSEVER'e, ayrıca sonsuz destek ve anlayışları ile bugünlere gelmemde büyük emeği olan canım annem, babam ve çok kıymetli kardeşime teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR.....	3
3. GÖZ ANATOMİSİ VE GÖZ TAKİP SİSTEMLERİ	15
3.1. Göz Anatomisi	15
3.1.1. Kornea.....	16
3.1.2. İris	16
3.1.3. Gözbebeği (Pupil)	16
3.1.4. Retina.....	16
3.1.5. Optik sinir	17
3.1.6. Sklera	17
3.1.7. Lens.....	17
3.2. Görme Olayı	17
3.3. Sakkadik Göz Hareketleri	18
3.4. Göz Takip Sistemleri	19
3.4.1. Sensör tabanlı göz takip sistemleri	20

	Sayfa
3.4.2. Bilgisayar görme tabanlı göz takip sistemleri	21
3.5. Göz Takip Yöntemleri.....	24
3.6. Göz Takip Ölçüm Metrikleri	25
3.6.1. Sabitlenme (Fixation)	25
3.6.2. Sıçrama (Saccade).....	26
3.6.3. Tarama yolu (Scanpath).....	26
3.6.4. İlgi alanı (Area of Interest)	26
3.6.5. Sıcaklık haritası (Heat Map).....	27
3.7. Göz Takip Cihazları	28
3.7.1. Sabit göz takip cihazları.....	28
3.7.2. Takılabilir göz takip cihazları	29
3.7.3. Taşınabilir göz takip cihazları	30
3.8. Göz Takip Cihaz Modelleri	30
3.8.1. Tobii.....	30
3.8.2. Smi	31
3.8.3. Eyelink	32
3.8.4. Iscan	32
3.8.5. Eyeteck	33
3.8.6. Eye tribe.....	33
3.8.7. Smart eye	34
3.8.8. Mirametrix	35
3.8.9. Pupil labs	35
3.8.10. Gazepoint.....	36
4. SAKKADİK GÖZ HAREKETLERİNDEN BİLİŞSEL YÜK TESPİTİ	37

	Sayfa
4.1. Bilişsel Yük Teorisi (BYT)	37
4.1.1. Bilişsel yükün ölçülmesi.....	40
4.2. Çok Değişkenli Yöntemler ve Kanonik İlişki Analizi.....	46
4.2.1. Kanonik korelasyon analizi (KKA)	47
4.2.2. Kanonik korelasyon analizinin amacı.....	50
4.2.3. Kanonik korelasyon analizi temel kavramları.....	50
4.2.4. Çoklu korelasyon analizi.....	51
4.2.5. Regresyon analizi (Regression Analysis).....	52
4.2.6. Yaşam analizi (Survival Analysis)	53
4.2.7. Varyans analizi (Variance Analysis)	53
4.3. Metot ve Deneysel Sonuçlar	53
4.3.1. EMIP veri seti	53
4.4. Deneysel Sonuçlar	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İlgili Araştırmalar	12
Çizelge 4.1. EMIP veri setine ilişkin özellikler	54
Çizelge 4.2. EMIP veri seti sayısal veriler	54
Çizelge 4.3. EMIP veri seti anadil verileri	55
Çizelge 4.4. EMIP veri seti diğer veriler.....	55
Çizelge 4.5. EMIP veri seti sorular	55
Çizelge 4.6. Bağımsız ve bağımlı değişkenler	56
Çizelge 4.7. Katılımcı verileri.....	56
Çizelge 4.8. Katılımcıların göz hareket verileri	57
Çizelge 4.9. Farklı dillerin İngilizceye olan dilsel uzaklığı	58
Çizelge 4.10. Bağımlı değişkenler için parçacık korelasyonu analiz sonuçları.....	62
Çizelge 4.11. Bağımsız değişkenler için parçacık korelasyonu analizi	63
Çizelge 4.12. Bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki parçacık korelasyonu analizi	64
Çizelge 4.13. Bağımlı değişkenler için parçacık korelasyonu analiz sonuçları.....	64
Çizelge 4.14. Kanonik değişken vektörleri arasındaki korelasyon katsayısı	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Göz pozisyonu ve bakış koordinatlarını takip süreci.....	19
Şekil 3.2. Göz takip yöntemleri blok diyagramı	24
Şekil 4.1. Bilişsel yük gösterimi	38
Şekil 4.2. Bilişsel yük teorisi şema gösterimi	39
Şekil 4.3. BYT ve gözbebeği çapı ölçüm kaynakları.....	42
Şekil 4.4. Bilişsel yükün göze dayalı gösterge modeli	43
Şekil 4.5. Bilişsel yük ve görselleştirilmiş bibliyometrik ağ	45
Şekil 4.6. Çok değişkenli analiz yöntemlerinin sınıflandırılması	46
Şekil 4.7. KKA'nın parametrelerle şematik diyagramı	49
Şekil 4.8. Göz bebeği hareketi ve z-skor ile tespit edilen sakkadik hareket.....	61
Şekil 4.9. Gözbebeği çapının ve merkez koordinatının zamanla değişimi	62
Şekil 4.10. İlk çift (U_1 ve V_1)	66
Şekil 4.11. İkinci çift (U_2 ve V_2)	66
Şekil 4.12. Bilişsel yük ve kişisel parametrelerin yol diyagramı.....	67
Şekil 4.13. Programcılarının kişisel parametrelerinin bilişsel yük üzerindeki etkisi.....	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Gözün anatomisi ve bölümleri	15
Resim 3.2. Sakkadik göz hareketleri ve bakış yönleri.....	18
Resim 3.3. EOG Elektrotlarının yerleşim yerleri.....	21
Resim 3.4. Bilgisayar görme tabanlı göz takip sistemi.....	22
Resim 3.5. Okuma anında temel göz hareketleri ve tarama yolu	26
Resim 3.6. Okuma anında ilgi alanı	27
Resim 3.7. Sıcaklık haritası örneği	27
Resim 3.8. Kızılötesi kamerayla kullanıcı göz takibi.....	28
Resim 3.9. Sabit göz takip cihazı.....	29
Resim 3.10. Takılabilir göz takip cihazı.....	29
Resim 3.11. Taşınabilir göz takip cihazı	30
Resim 3.12. Tobbi göz takip cihaz çeşitleri	31
Resim 3.13. SMI RED 250 göz takip cihazı	31
Resim 3.14. Eyelink 1000 plus göz takip cihazı.....	32
Resim 3.15. Iscan ETL-400 göz takip cihazı	33
Resim 3.16. Eyetech TM5 Mini plus göz takip cihazı	33
Resim 3.17. Eyetribe göz izleme cihazı	34
Resim 3.18. Smart eye pro göz takip cihazı.....	34
Resim 3.19. Mirametrix S2 göz takip cihazı.....	35
Resim 3.20. Pupil Labs core göz takip cihazı	36
Resim 3.21 Gazepoint GP3 HD Eye Tracker göz takip cihazı.....	36
Resim 4.1. Dikdörtgen kodu anlama görevi	58
Resim 4.2. Araç sınıfı kodu anlama görevi	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

a_i	Kanonik ağırlık
b_i	Kanonik ağırlık
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
Hz	Hertz
x_1	Birinci girdi değeri
x_2	İkinci girdi değeri
x_i	İ.ci girdi değeri
U_i	Kanonik değişkenler
V_i	Kanonik değişkenler
y_1	Birinci çıktı değeri
y_2	İkinci çıktı değeri
y_j	J.ci çıktı değeri

Kısaltmalar

Açıklamalar

AİBS	Araç içi bilgi sistemi
BYT	Bilişsel yük teorisi
DVM	Destek vektör makineleri
EEG	Elektroensefalogram
EKG	Elektrokardiyografi
EOG	Elektrookülogram
EMG	Elektromiyografi
FKEOS	Fare kontrollü etkileşimli okuma sistemi
GKEOS	Göz kontrollü etkileşimli okuma sistemi

Kısaltmalar**Açıklamalar****GT**

Göz takibi

GTS

Göz takip sistemleri

IR

İnfrared

İBE

İnsan bilgisayar etkileşimi

KKA

Kanonik korelasyon analizi

R

Kanonik korelasyon katsayısı

MEG

Manyetoensefalografi

SDY

Sonlu dürtü yanıtı

SGH

Sakkadik göz hareketleri

SGO

Sinyal gürültü oranı

UG

Uyarlamalı güçlendirme

VA

Varyans analizi

YSA

Yapay sinir ağı

SD

Standart Sapma

1. GİRİŞ

Son yıllarda insanların zihinsel süreçlerini, bilgi işleme yeteneklerini ve zihinle ilgili bütüncül unsurları inceleyen bilişsel bilim alanı, elde edilen bulgular ve gelişen veri analizi yaklaşımları sayesinde anlamlı ve umut verici sonuçlar ile ön plana çıkmaktadır. Bilişsel bilim, çeşitli disiplinleri bir araya getirerek insanların düşünme, öğrenme, problem çözme, bilgi işleme, bellek kullanımını anlama ve açıklama amacıyla çalışan bir alanı temsil etmektedir. Bilişsel bilim alanı, psikoloji, nörobilim, yapay zekâ, dilbilim, felsefe, antropoloji ve eğitim bilimleri gibi pek çok farklı alanda insan zihninin işleyişini ve bilgi işleme süreçlerini anlamaya odaklanmaktadır. Bu tez çalışmasında bilişsel bilimin bir alt alanı kabul edilen bilişsel yük teorisi konusunda kapsamlı bir çalışma gerçekleştirildi. Bilişsel yük teorisi (BYT), bilişsel bilimin temel prensiplerini öğrenme ve öğretme süreçlerine uygulayarak zihinsel süreçleri incelemeyi amaçlar. Kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan BYT, sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliğinin yüksek olması sebebiyle birçok farklı bilim dalında tercih edilmektedir.

BYT ile doğrudan ölçülemeyen durumlarda, farklı ölçme yöntemleri kullanılarak kişilerin çalışma belleği kapasiteleri ve zihinsel süreçleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Günümüzde BYT için kullanılan yöntemlerden biri de göz hareket takibidir. BYT kişilerin göz hareketlerini takip ederek dikkat, ilgi ve zihinsel süreçleri anlamayı amaçlayan bir yöntemdir. Göz hareketleri ölçülürken gözbebeği hızı, çapı, göz kırpma oranı, sabitlenmesi gibi göze dair parametreler bilişsel yük tespitinde kullanılabilir.

Göz hareketlerinin ölçümü, göz izleme cihazlarındaki teknolojik gelişmeler sayesinde günümüzde bayağı gelişmiştir. BYT çalışmalarında sıklıkla kullanılan bu yöntem sonucunda, ilgili alanda yapılan çalışmaların başarısı ve sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Farklı teknikler kullanılarak elde edilen göz takibi sonucu elde edilen bilişsel yük değerleri, bize kişilerin fiziksel ve ruhsal durumları dahil olmak üzere pek çok konuda doğru bilgi vermekte ve alınmak istenen sonuçlara doğru olarak ulaştırmaktadır. BYT işletme, ekonomi, tıp, ulaşım, mühendislik, eğitim, psikoloji, reklam, savunma gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

BYT ve göz takibi bir araya geldiğinde, bir görevin zihinsel zorluğunu, kişinin dikkatini nasıl dağıttığını veya göreve ne kadar odaklanıldığını anlamak için güçlü bir araç haline gelmektedir. Bu iki kavram kullanıcıların ürünleri veya içerikleri nasıl işlediklerini daha iyi anlamak, eğitim materyallerini optimize etmek ve birçok alanda farklı tasarımlar geliştirmek için kullanılmaktadır.

Bilişsel yük insan bilgisayar etkileşimi (İBE) alanında önemli bir kavramdır. İnsanlar ve bilgisayarlar arasındaki ilişkiyi anlamak ve geliştirmek için tasarım, kullanılabilirlik, etkileşim gibi ilkeleri incelemektedir. BYT, kullanıcıların bir bilgisayar sistemini kullanırken deneyimlediği zihinsel çabanın ölçülmesine ve yönetilmesine yardımcı olmaktadır.

BYT kullanıcı deneyimi tasarımında da önemli bir rol oynamaktadır. Karmaşık veya yorucu görevler, kullanıcıların zihinsel kaynaklarını tüketebilmekte ve olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. BYT' nin anlaşılması, insanların nasıl düşündüğünü, bilginin ne şekilde işlendiğini, verilen görevlerin nasıl yerine getirildiğini ve buna benzer birçok farklı konuyu anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmuştur. Tezin ikinci bölümünde, göz hareketlerine bağlı olarak bilişsel yük alanında yapılan literatür çalışmaları incelendi. Üçüncü bölümde, gözün anatomisi, sakkadik göz hareketleri, göz takip sistemleri ve kullanım alanları, göz takip yöntemleri, göz takip ölçüm metrikleri, göz takip cihazları ve modelleri açıklandı. Dördüncü bölümde, bilişsel yük teorisi, bilişsel yükün ölçülmesi, çok değişkenli yöntemler ve kanonik ilişki analizi, kullanılan veri seti, metot ve deneysel sonuçlar açıklandı. Beşinci bölümde ise tez kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın genel değerlendirmesine ilişkin sonuçlar, öneriler ve sonraki çalışmalara ait fikirler sunuldu.

2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bilişsel yük tespiti ile ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmış ve ilerleyen teknoloji ile birlikte pek çok çalışmaya konu olmuştur.

Pfleging ve arkadaşları, farklı aydınlatma koşulları altında sezgisel bir sınıflandırıcı ile tam kontrollü bir deney gerçekleştirmiş ve bu süreçte göz hareketlerine dayalı zihinsel yük seviyesini tahmin etmek için bir veri seti ve bir ön model geliştirmişlerdir [1].

Kun ve arkadaşları bir sürüş simülatörü çalışmasında uzaktaki bir konuşmacının ve konuşmaya hazırlanan bir sürücünün gözbebeği çapı ölçümlerini analiz etmiş, sürücü konuşmaya hazırlanırken sürücünün gözbebeği çapının uzaktaki konuşmacıdan daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Farklı konuşmaların gözbebeği çapı üzerindeki etkilerini de araştırarak yüksek bilişsel yük altında sürücülerin davranışına uyum sağlayabilen bir diyalog sistemi oluşturmayı amaçlamışlardır [2].

Kruger ve meslektaşları, katılımcıların ders videolarını altyazılı veya altyazısız izledikleri esnada oluşan bilişsel yükü incelemek için, gözbebeği çapındaki değişim yüzdesini kullanmışlardır. Katılımcıların altyazılı ders videolarını izlerken bilişsel yüklerinin azaldığını tespit etmişlerdir [3].

Chen ve arkadaşları gözlerin kullanımına dayalı akıllı bir bilişsel yük izleme sistemi önermiştir. Aritmetik tabanlı görevler ile duygusal görüntü uyaranlarını birleştiren sisteme göre, bilişsel yük, aritmetik alıştırmalar için hamle ve basamak sayısı ile kontrol edilmiştir. Farklı göz aktivitesi modelleri aracılığıyla ikiden fazla bilişsel yük seviyesini tanımlamak için regresyon modelleri kullanmışlardır. Uyarılma etkilerinin görev sırasında bilişsel yük tarafından domine edildiğini göstermişlerdir. Karmaşık görevler sırasında göz bebeği çapının ve göz kırpma sayısının daha fazla arttığı sonucuna ulaşmışlardır [4].

Zagermann ve meslektaşları, bir sistemle etkileşime giren kullanıcıların bilişsel yükünü incelemek için göz izleme araçlarının kullanılmasını önermektedirler. Bu bağlamda, insan-bilgisayar etkileşimi özelliklerini göz izleme verileri ve bilişsel yük arasındaki bağlantıya entegre eden bir model sunmuşlardır.

Bu yaklaşımın daha az bilişsel kapasite gerektiren arayüzlerin geliştirilmesine yardımcı olacağına ve göz takibinin görsel hesaplamalardaki bilişsel süreçleri incelemek için önemli bir araç olduğunu kanaatine varmışlardır [5].

Cong ve arkadaşları başka bir araştırmada bilişsel yük ve göz hareketleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Multimedya sunum sürecindeki bilişsel yükü araştırmışlardır. Bilgiyi anlama açısından bilişsel yükü değerlendirmek için nicel bir model geliştirmişler ve bilişsel yük teorisine odaklanan bir değerlendirme için göz çapı değişimini kullanmışlardır [6].

Čegovnik ve arkadaşları göz izleme teknolojisiyle otomobil sürücülerinin bilişsel yüklerindeki değişiklikleri izlemek için küçük kameralarla donatılmış başa takılan bir cihaz kullanarak, her iki gözün hareketlerinin yatay ve dikey pozisyonunu, bileşenlerini video tabanlı bir yöntemle ölçerek gözbebeğinin çevresini nasıl gördüğüyle ilgili görüşler veren bir sürüş simülatörü çalışması sunmaktadırlar. Bilişsel yüke ait gerçek zamanlı bilgilerin, sürücüyü olası bilişsel aşırı yüklenme durumunda uyararak, trafik kazalarını önlemek amacıyla sürüş destek sistemlerinin bir parçası olarak kullanılmasının gerekliliğini önermişlerdir [7].

Joseph ve arkadaşları göz fiksasyon süresi, bekleme süresi, bakış örnekleri, sabitleme süresi gibi tüm göz izleme metriklerine ve göstergelerine bütüncül bir şekilde bakarak bilişsel yük ölçümünün insan bilgisayar etkileşimleri gibi birçok araştırmada kullanabileceğini araştırmışlardır [8].

Wang ve arkadaşları, bilişsel yük perspektifinden göz izleme takibi kullanarak web sitesi karmaşıklığını araştırmışlardır. Belli sayıdaki üniversite öğrencisinin farklı karmaşıklık seviyelerine sahip web sitelerinde gezinirken, sırasıyla basit ve karmaşık görevlerde göz hareketlerini izlemişlerdir. Web sitesi ve görev karmaşıklığının, farklı bilişsel yükler nedeniyle kullanıcıların görsel dikkatini ve davranışını birlikte nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Orta düzeyde karmaşıklığa sahip bir web sitesinde karmaşık bir görev yürütüldüğünde, görev tamamlama süresinin, sabitleme sayısının ve sabitleme süresinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Görev ve web sitesi karmaşıklığının iyileştirilmesinin, kullanıcıların görsel dikkatlerinin ve davranışlarının üzerindeki etkisini hafifletebileceği sonucuna varmışlardır [9].

Kim ve meslektaşları, fen ders kitaplarında editöryel tasarım uygulanmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Tasarım uygulaması farklı olduğunda öğrencilerin göz hareketlerini ve bilişsel yükteki değişimi incelemişlerdir. Ders kitabında görsel materyallerle ilgili destekleyici bilgilerin olması ve sola hizalama ile öğrencilerin daha dikkatli oldukları ve daha çabuk öğrenebildikleri sonucuna varmışlardır [10].

Lee ve arkadaşları bilişsel yük ve performans üzerindeki duraklama etkisini deneysel olarak araştırmayı amaçlamışlardır. Duraklama etkisinin belirgin olduğu karmaşık ve yoğun senaryolar içeren, acil tıp alanında bilgisayarlı bir tıbbi simülasyon oyunu kullanmışlardır. Bilişsel yükü değerlendirmek için derecelendirme ölçekleri ve göz hareketleri ölçümünden faydalanmışlardır. Öğrencilerin performansını ve öğrenmesini artırmak için onları duraklamanın farklı etkilerinden yararlanmaya teşvik etmenin önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [11].

Keskin ve arkadaşları uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarının uzamsal hafıza yeteneklerini basit bir harita öğrenme görevinde, göz izleme ve elektroansefalogram kullanarak araştırmış olup görevlerin neden olduğu bilişsel yükü belirlemek için davranışsal ve psikolojik verilerden yararlanmışlardır. Uzmanların uzun ve zor görevlerde daha fazla bilişsel yük altında kaldıklarında daha başarılı oldukları aynı zamanda acemilere kıyasla daha hırslı ve azimli olduklarını tespit etmişlerdir [12].

Majooni ve arkadaşları bilgi grafiklerindeki yerleşim düzeninin izleyicilerin bilişsel yükleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sırasında, göz hareket verilerini ve gözbebeği çapı dalgalanması gibi verileri göz izleme cihazıyla toplamışlardır. Analiz için eşik yöntemi ve bilişsel yük skoru yöntemi kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma ile, izleyicilerin sağ-sol ve yukarı-aşağı göz hareketlerini kullanmanın yerleşim tasarımında faydalı olabileceğini, iş yükünü azaltma ve kavrayışı artırma konularında hangi düzenlerin daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu, çalışmanın konularının soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru hareket etme eğiliminde olduğunu, bu nedenle mizanpaj düzenlemesinin infografik tasarımda önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir. Parçaların öngörülebilir yönelimi, izleyicilerin infografik hikayesini daha az dikkat dağıtarak daha istikrarlı bir şekilde takip etmelerine yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Öğretim tasarımları stratejilerinin infografik tasarımda uygulanmasının bilişsel yükü azaltmada etkili olduğu görülmüştür [13].

Melissa ve arkadaşları çalışmalarında bir tanıma belleği görevi sırasında hem bellek performansı hem de göz bebeği tepkilerini değerlendirerek duygusal değerliliğin sözcük belleği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Katılımcılar, deneyin test aşamasında sunulan bir kelimenin daha önce sunulup sunulmadığına ("eski, yeni") ilişkin yargılarda bulunmuşlardır. Duygusal içeriğe sahip kelimeler daha yüksek isabet oranına sahip olmasına rağmen nötr kelimelerden daha fazla yanlış alarm ortaya çıkarmıştır. Eski kelimeleri doğru bir şekilde eski olarak sınıflandırırken, doğru olduğunda daha küçük bir gözbebeği tepkisi yeni kelimeleri yeni olarak sınıflandırırken yüksek bir gözbebeği tepkisinin olduğu gözlenmiştir [14].

Bailey ve arkadaşları çalışmalarında, alt görev sınırlarına ve ilgili görev seviyelerine odaklanarak, hedefe yönelik görevlerin yürütülmesi sırasında bir kullanıcının zihinsel iş yükünün nasıl değiştiğini deneysel olarak incelemişlerdir. Kullanıcılar rota planlama, belge düzenleme ve e-posta sınıflandırma gibi çeşitli etkileşimli görevler gerçekleştirmiştir. Görevler esnasında kullanıcıların gözbebeği hareketleri başa takılan bir göz izleme sistemi kullanılarak sürekli olarak ölçülmüştür. Bilişsel iş yükü verileri, bilinen teknikler kullanılarak gözbebeği verilerinden çıkarılmış bilişsel iş yükü verilerine karşılık gelen görev verileriyle eşleştirilerek iş yükü modelleri analiz edilmiştir. Bilişsel iş yükünün, hedefe yönelik görevlerin yürütülmesi sırasında değiştiği gözlenmiştir. Görevin yürütülmesi sırasında alt görev sınırlarına ulaşıldığında bilişsel iş yükünde geçici düşüşler yaşandığı görülmüştür. Bu durumun devam eden görevlerde görevin kesintiye uğraması durumunda maliyeti de etkileyeceği sonucuna ulaşılmıştır [15].

Ledger çalışmasında bilişsel yük ve göz kırpma oranı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Belli bir sayıdaki kişilerden oluşan grupta denekler dört koşul içeren iki deneyden birine katılmıştır: A koşulu dört boş ekrandan oluşurken, B koşulu ise bir ekranın sunusu şeklinde ayarlanmıştır. C koşulu uyumlu ses dosyalarıyla eşleştirilmiş belirli sayıdaki ev nesnesinin sunumunu içerirken, D koşulu ise uyumlu ve benzer nesneler olmasına rağmen uyumsuz ses dosyalarından oluşturulmuştur. İkinci deney, daha uzun ses dosyaları içermesiyle birinci deneyden farklılık göstermiştir. Deney sonucunda koşul A' nın, her iki deneyde de önemli ölçüde daha yüksek bir göz kırpma hızı ürettiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak en düşük bilişsel yük durumunda, en yüksek göz kırpma oranının üretildiği görülmüştür [16].

Katona çalışmasında, göz hareket parametrelerini kaydederek ve değerlendirerek bilişsel yükü tanımlamak için akış şemasının mı yoksa Nassi-Shneiderman diyagramının mı daha etkili bir algoritma tanımlama aracı olduğunu incelemiştir. Yaptığı çalışmada deneklerin bilişsel yükü ile göz hareketi parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Doğal ı ışık altında bir göz-izleyici cihazı kullanarak uygun bir algoritmayla göz verilerini elde etmiştir. Çalışma sonrası akış şemasını yorumlamanın Nassi-Shneiderman diyagramını yorumlama durumuna göre önemli ölçüde daha uzun sabitleme süresine ihtiyaç duyduğunu tespit etmiştir. Çalışmada daha fazla sayıda sabitleme oranına gerek olduğu ve daha büyük gözbebeği çapı ölçülmesi gibi sonuçlara ihtiyaç olduğu gözlenmiştir. Kaydedilen ve değerlendirilen göz hareketi sonuçlarına dayalı olarak, kişiselleştirilmiş veya ekibe özel destek araçlarının, programlama tekniklerinin ve teknolojilerinin seçilmesinin önemini vurgulamıştır [17].

Reyes ve arkadaşları çalışmalarında, bilişsel yükün sürücü performansı üzerindeki geçici etkilerini araştırmışlardır. Sürüş simülatörü kullanılan çalışmada katılımcılar, araç içi bilgi sistemi (AİBS) ile süresi 1 ila 4 dakika arasında değişen etkileşimler için bilişsel yükün sürüş performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sürücülerin fren yapan bir araca tepkisini, sürüş sırasında bir hedefi tespit etme yeteneğini ve göz hareketlerini ölçmüşlerdir. Bu sonuçların araç içi bilgi sistemi tasarımı, değerlendirmesi ve gerçek zamanlı sürücü dikkat dağınıklığı tahminlerinin geliştirilmesinde kullanılabilir olduğu görülmüştür [18].

Lin ve arkadaşları çalışmalarında geometri problemi çözüldüğünde algılanan bilişsel yükün farklı olup olmadığını ve geometri problemlerini kavramada göz hareketlerinin bilişsel yük kaynaklarını gösterip göstermediğini araştırmışlardır. İlk deneyde 9. sınıf öğrencilerinden oluşan 311 kişi bilgisayar destekli bir ortamda benzer üçgenler bilgisi gerektiren beş geometri problemini çözmüştür. İkinci deneyde 63 katılımcı aynı problemleri çözmüş ve o esnada göz hareketleri kaydedilmiştir. Bilişsel yükler ve göz hareketleri arasındaki ilişkiler pearson korelasyonu kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak çalışılan örneklerdeki diyagramların iyi tasarlanmış olması, bilgi unsurlarının sayısı, etkileşim seviyeleri ve zihinsel işlemlerin seviyeleri bakımından çok çeşitliliğin olmasının iyi olacağı sonucuna ulaşılmıştır [19].

Liu ve arkadaşları çalışmalarında göz hareket verilerini temassız bir şekilde kullanarak bilişsel yükü hesaplamaya çalışmışlardır. Işık kontrollü model ve ışık değiştirme modeli ile

ortamdaki kişilerin bilişsel yükünü bulmak için göz takip cihazı ile göz verilerini kaydetmişlerdir. Kaydedilen göz verilerini istatistik testi kullanarak oniki sınıfa ayırmışlardır. Sınıflandırma için destek vektör makinası (DVM) kullanmışlardır. Sonuç olarak ışık değişikliği ve ışık yoğunluğunun mümkün olduğunca sabit ayarlanmasının bilişsel yük bulma oranını iyileştirebileceğini tespit etmişlerdir [20].

Derick ve arkadaşları çalışmalarında iki farklı zorluk seviyesine sahip bir video oyunu etkileşimi sırasında, kullanıcıların göz kırpma davranışlarını karşılaştıran bir deney yapmışlardır. Belirli sayıdaki katılımcı bir video oyununda 2 farklı zorluk seviyesi ayarında oyun oynadıkları esnada her seviye için göz kırpma hareketleri bir göz izleme sensörüyle kaydedilmiştir. İki görevin gerçekleştirilmesi sırasındaki göz kırpma hareketleri, normal göz kırpma hızıyla karşılaştırıldığında, her katılımcı için dakika başına göz kırpma hızlarında önemli bir azalma olduğu fakat herhangi bir zorluk ayarında kullanıcıların göz kırpma davranışının değişmediği bu durumun da yüksek bilişsel yük için anlamlı bir fark olmadığı sonucunu bulmuşlardır [21].

Chen ve meslektaşları çalışmalarında kol saati okunabilirliği ile kullanıcının satın alma tercihi arasındaki ilişkiyi belirlemek için dört tür kol saati üzerinde bilişsel yükü dikkate aldıkları bir göz hareketi deneyi gerçekleştirmişlerdir. Temel olarak ibreli veya ibresiz, skalalı veya skalasız kol saatlerinin okunabilirliğini ve satın alma tercihlerini kesin olarak söylemeleri ve sıralamaları isteyerek toplam fiksasyon süresini ve yanlış zaman raporlarının sıklığını ve satın alma tercihi gibi puanlamaları bulmuşlardır. Okunabilirlik puanının toplam sabitleme süresi ve hata sıklığıyla negatif, satın alma tercihi puanıyla ise pozitif ilişkili olduğu bulunmuştur. Çalışma farklı alanlardan 20 genç ile gerçekleştirilmiştir. Kolaylık açısından A, B, C, D gibi dört farklı tür tanımlanmıştır. Kol saatinin zaman göstergeleri A tipinden D tipine düştükçe bilişsel yükün arttığını ölçmüşlerdir. A'dan D'ye tür değiştikçe yanıtlayıcıların zaman okuma görevini yerine getirmek için ihtiyaç duyduğu toplam sabitleme süresinin arttığı, ancak okunaklılık puanı ve kullanıcı satın alma tercihinin düştüğü görülmüştür. Sonuç olarak bilişsel yük değerlerinin ürün tasarımında, ürünün tercih edilmesinde çok yarar sağladığı ve kullanıcıların ürünü satın almasında büyük bir rol oynadığı görülmüştür [22].

Chen ve arkadaşı gözbebeği çapı ve göz kırpma ölçümlerini kullanarak, bilişsel yük ölçümünün farklı görev türlerinden nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Düşük ve yüksek

algısal yük görevleri sırasında beş bilişsel yük seviyesi oluşturarak yaptıkları çalışmada algısal yükün düşük olduğu durumda, göz bebeği çapının bilişsel yük üzerinde anlamlı etkilerinin olmadığını, algısal yük yüksek olduğunda ise ne göz kırpmaya hızının ne de göz bebeği çapındaki değişimin bilişsel yük üzerinde anlamlı etkileri olmadığını tespit etmişlerdir [23].

Appel ve arkadaşları bir acil durum simülasyon oyununda, bilişsel yükü sınıflandırmak için davranışsal ve fizyolojik ölçümleri yeni bir multimodel yaklaşımda birleştirmişlerdir. Gözbebeği genişlemesi, göz sabitleme davranışı ve kalp atış hızı verilerini kullanarak, düşük ve yüksek bilişsel yük arasında ayrım yapan rastgele ağaçlardan oluşan, bireysel katılımcıya özel ormanlar eğitmişlerdir. Katılımcılar arasındaki benzerliği, normalleştirmeyi ve bireysel özellikleri kullanarak kişilerin, davranışsal ve fizyolojik durumlarının, acil durum simülasyon oyunundaki bilişsel yüklerinin, güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır [24].

Chen ve meslektaşları ekran tabanlı dijital okumayı desteklemek amacıyla dijital metni kontrol etmek için geleneksel fare yerine, insan gözlerini kullanan bir göz kontrollü etkileşimli okuma sistemi (GKEOS) önermişlerdir. Çalışmalarında sırasıyla GKEOS ve fare kontrollü etkileşimli okuma sistemini (FKEOS) kullanan, belirli sayıdaki öğrencilerden oluşan bir deney grubunun ve bir kontrol grubunun etkilerini incelemek için yarı deneysel bir tasarım kullanmışlardır. İki grubun bilişsel yükleri ve teknolojiyi kabullenişleri arasında önemli bir fark bulunmazken, deney grubunun okuma süresinin kontrol grubununkini önemli ölçüde aştığı görülmüştür. GKEOS yöntemi insanın gözle yaptığı doğal okumaya daha yakın olduğu için okuduğunu anlama noktasında FKEOS yöntemine göre başarılıdır sonucuna ulaşılmıştır. Belli yaş grubundaki öğrencilere uygulanması sınırlılığı dışında GKEOS desteğiyle dijital metnin yüksek etkileşimli okuma modellerinin, öğrencilere daha sezgisel ve doğal bir okuma deneyimi sunmasının yanında bilişsel süreçleri eşzamanlı olarak entegre etmesi nedeniyle öğrencilerin dikkatini motivasyonlarını ve öğrenme isteklerini artırdığı, FKEOS sisteminden daha derin dijital okumaya yönlendirdiği görülmüştür. Göz hareketini kullanarak dijital nesnelerle insan etkileşimini kolaylaştırmak için kullanılabilirliğinin yüksek olduğu tespit edilmiştir [25].

Alemdag ve arkadaşı multimedya öğrenmedeki bilişsel süreçlerin göz izleme teknolojisi aracılığıyla ilgili değişkenlerle nasıl incelendiğini araştırmışlardır. Belirli sayıda makale

inceleyerek yaptıkları çalışmalarında multimedya öğrenmede göz izleme ölçümlerini etkileyebilecek potansiyel faktörlerin, multimedya öğrenme ilkeleri, multimedya içeriği, bireysel farklılıklar, üst biliş ve duygular olduğunu tespit etmişlerdir. Uyarlanabilir sistemlerde, öğrencilerin göz hareketlerini gerçek zamanlı izleyip, analiz ederek, farklı ön bilgi düzeylerine sahip öğrencilerin bilişsel durumları hakkında çıkarımlarda bulunulabileceğini görmüşlerdir. Tanımlanan bilişsel süreçler ve göz hareketlerinin, multimedya sistemlerinin gelecekteki tasarımına katkı sağlayabileceğini, çevresel koşullardan etkilenen göz hareketlerinin ise uyarlanabilir öğrenme ortamları için doğru algoritmaların geliştirilmesini engelleyebileceğini tespit etmişlerdir [26].

Rahman ve arkadaşları bir sürücünün yüz görüntüleri aracılığıyla göz hareketi parametrelerini çıkarmak için vizyon tabanlı bir yöntem önermiştir. Alan bilgisine dayalı manuel özellik çıkarmanın yanı sıra derin öğrenme mimarilerini kullanarak beş makine öğrenme modeli ve üç derin öğrenme mimarisi geliştirmiş, sürücünün bilişsel yükünü sınıflandırmak için de otomatik özellik çıkarma özelliği kullanmışlardır. Göz bebeği konumları ile sakkad ve fiksasyon değerlerini bulmuşlardır. Çalışma sonucu en yüksek sınıflandırma doğruluğunun lineer çekirdek işlevli DVM modelinde %92, sinir ağları modelinde ise %91 olduğunu görmüşlerdir. Manuel öznitelik çıkarımının, otomatik öznitelik çıkarımına göre %1 oranında daha iyi doğruluk sağladığı gözlemlenmiştir. Temassız sürücünün bilişsel yük sınıflandırması, yüz görüntü dizilerinden sakkad ve sabitleme özellikleri gibi göz hareketi parametrelerinin çıkarma hatasını en aza indirerek optimize edilebildiği görülmüştür [27].

Tong ve arkadaşı, göz izleme teknolojisini kullanarak tasarımcıların bilişsel yükünü ölçmeyi ve bilgi aktarma zamanını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bilişsel yükün göz ölçümleri üzerindeki etkisini incelemek üzere sınıflandırma algoritmaları kullanarak bir göz izleme deneyi yapmışlardır. Tasarımcıların göz takibi yoluyla ne zaman yüksek düzeyde bir bilişsel yük yaşadıklarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada bilişsel yükün göz aktivitelerini etkilediği bulunmuştur. Ortalama fiksasyon süresi ve fiksasyon sıklığının, bilişsel yükteki artışla birlikte azaldığı görülmüştür. Regresyon, DVM ve rastgele orman algoritmaları ile sınıflandırma performansı gerçekleştirilmiş sonuç olarak tasarımcıların yüksek düzeyde bilişsel yük yaşadıkları zamanı, göz izleme yoluyla bulabilecekleri tespit edilmiştir [28].

Biondi ve diğerleri yaygın otomotiv montaj görevlerinin yürütülmesi sırasında bilişsel yükü karakterize etmek için başa takılan bir göz izleme cihazı yardımıyla göz kırpma hızı ve

gözbebeği boyutu gibi oküler ölçümleri kullanmanın doğruluğunu incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada görev sayısı arttıkça gözbebeği boyutunda da bir artış olduğu görülmüştür. Daha fazla bilişsel görev talebi altında çalışmak, daha uzun görev süreleri ile sonuçlanmıştır. Bilişsel yükün fazla olmasının görev sürelerini artırdığı, dikkat dağınıklığı gibi insan faktörlerinin ise genel üretim performansı üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğu sonucuna varılmıştır [29].

Babu ve diğerleri çalışmalarında savaş uçaklarındaki pilotların bilişsel yükünü oküler parametrelerden otomatik olarak tahmin etmek için askeri havacılık ortamında göz izleyicilerinin kullanımı ile parametrelerin karşılaştırılmasını araştırmışlardır. Belli sayıdaki askeri pilot ve bir uçuş simülatörü kullanarak iki çalışma yapmışlardır. İlk çalışmalarında sabit tabanlı bir simülatörde izleme görevi sonucunda gözbebeği genişlemesi, sabitleme sayısı ve sakkadlar gibi farklı değerler karşılaştırılmış olup ikinci çalışmada çeşitli manevralar yapabilen dört test uçuşu incelenmiştir. Oküler parametrelerin, özellikle de sakkad ve fiksasyon sayısının pilotların iş yüküyle önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Pilotların bilişsel yükünün gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesi sayesinde kokpitteki pilota uygun uyarıların ve ikazların zamanında sağlanabileceği tespit edilmiştir [30].

Literatür çalışmaları incelendiğinde farklı alanlarda göz hareketlerinden bilişsel yük tespiti için değişik çalışmaların olduğu ve çeşitli yöntemler kullanıldığı görüldü. Yapılan çalışmaların çoğunun genellikle bir konu üzerindeki parametrelerin değiştirilmesi, yöntem değişikliği veya ortam koşullarının değişimine bağlı olarak ortaya konulduğu tespit edildi.

Son yıllarda çok yaygın olarak kullanılan bilişsel yük kavramı bilgisayar kullanımıyla da yakından ilişkilendirilebilir. Bilgisayar kullanımı esnasında kullanıcılar belirli oranda bilişsel yük harcarlar. Bilişsel yükün az veya çok olması farklı parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir. İnsan bilgisayar etkileşiminin başarılı olabilmesi kullanıcıların bilişsel yüklerini en aza indirgeyerek sağlanabilmektedir. Çizelge 1’de incelenen çalışmalarda bilişsel yük değişimlerinin hangi parametrelere bağlı olarak ne şekilde etkilendiği görülmektedir [31-36].

Çizelge 2.1. İlgili Araştırmalar

Yazar / Tarih	Örnekleme	Konu	Bulgular / İnceleme
Van Gerven ve arkadaşları (2002)	Psikoloji öğrencileri ve yaşlı kişiler (1.grup yaşları 18- 30 arası 30 öğrenci) (2.grup yaşları 61-76 arası 34 yaşlı kişi)	Bilişsel yük teorisi ve yaşın, eğitim verimliliği üzerine etkisi	Öğrenme süreçlerinin analizi kapsamında bilişsel yükün yaşla birlikte arttığı görülmüştür.
Daniel Voyer ve arkadaşları (2016)	Sağlıklı bireyler (Yaşları 3 ile 86 arası 98 kişi)	Çalışma belleği ile cinsiyet farklılıklarının etkisi	Çalışma belleği yeteneklerindeki cinsiyet farklılıklarının etkisinin az olduğu görülmüştür.
Andy Bevilacqua (2016)	Konu ile ilgili çalışmaların derlemesi	Bilişsel yük teorisinde cinsiyet farklılıkları	Cinsiyet farklılıklarının tek başına bilişsel yüke çok etkisi olmadığı bulunmuştur.
Andreas Korbach ve arkadaşları (2017)	Üniversite öğrencisi (Yaş ortalaması 23 olan 94 öğrenci)	Farklı nesnel ve bir öznel bilişsel yük ölçüm yöntemi	Öznel derecelendirmenin bilişsel yükü daha fazla arttırdığı görülmüştür.
Marina Bers (2019)	Okul öncesi öğrenciler (4-7 yaş arası 9 çocuk)	Bilgisayar programlama ve konuşma dilleri arasındaki ilişki	Anadilin ingilizceye uzaklığının bilişsel yükü etkilediği tespit edilmiştir.
Raffaella Nori ve arkadaşları (2023)	Üniversite öğrencisi (Yaş ortalaması 26 olan 125 kişi)	Psikolojik durumların bilişsel yüke etkisi	Psikolojik faktörlerin azaltılmasının bilişsel yükü olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmalar incelendiğinde insan bilgisayar etkileşiminde en önemli unsur olan insan faktörünün yaş, deneyim, çalışma yılı, çalışma sıklığı, cinsiyet, dilsel mesafe gibi önem arzeden ve bilgisayar kullanımında temel olan önemli kişisel parametrelerinden genellikle tek bir parametresinin seçilerek incelendiği tespit edildi. Bu tez çalışmasında;

- Farklı dillerin kullanıldığı çok kültürlü ortamlarda dil yeterliliğinin kullanıcıların bilişsel yükleri üzerindeki etkileri tespit edildi. Anadil veya ikinci bir yan dilin bilişsel yük üzerine etkisinin ne şekilde olabileceği araştırıldı.
- Bilgisayar alanında önemli olan deneyim yılının, az veya çok olmasının kullanıcıların bilişsel yüklerindeki artış ve azalmayı ne kadar etkilediği incelendi.
- Bellek, dikkat ve problem çözme yeteneklerinin ilerleyen yıllarla beraber değişimi göz önüne alındığında bilgisayar kullanımında önemli bir faktör olan yaş parametresinin bilişsel yüke ne kadar etkisi olduğu tespit edildi.
- Bilgisayarı sürekli kullanan ve bu alanda çalışan bireylerin karmaşık görevlere odaklanma süreleri, hızla gelişen teknoloji karşısında daha başarılı olabilmek adına ne kadar sıklıkla çalıştıkları incelenerek bu sonuçların bilişsel yüke olan etkisi değerlendirildi.

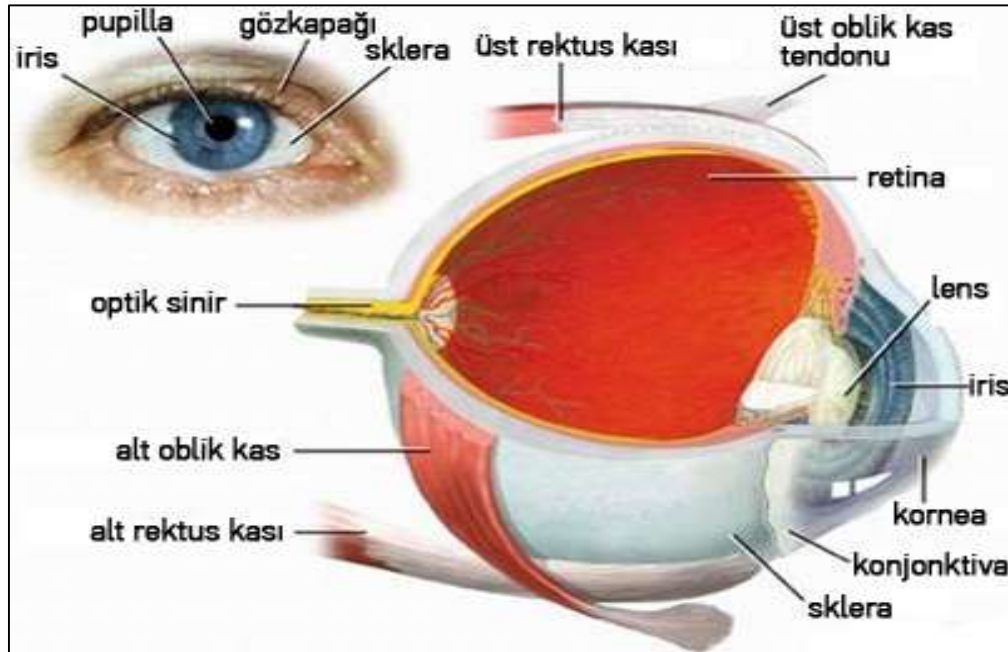
Bilgisayar kullanıcılarının kod anlama görevi sırasında sahip oldukları deney dilinde deneyim süresi, yaş, deney dilinde uzmanlık düzeyi, deney dilindeki çalışma sıklığı, dilsel mesafe, cinsiyet gibi parametrelerin yüzdesel olarak bilişsel yüke etkileri göz hareketleri aracılığıyla incelendi.

3. GÖZ ANATOMİSİ VE GÖZ TAKİP SİSTEMLERİ

İnsanın en önemli duyu organlarından biri olan göz dış dünyaya açılan pencere olarak adlandırılmaktadır. Görsel algı büyük oranda gözler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Tüm bedenin duyuları algılama oranının yüzde yetmişi, gözde bulunan retinada konumlanmış durumdadır [37]. Bu yüzden yapısı itibarıyla insan vücudunun en karmaşık hayati organlarından biridir.

3.1. Göz Anatomisi

Gözler yüz iskeletinde bulunan ve göz çukuru adı verilen alana yerleşmişlerdir. Orbitayı saran yağ tabakasıyla çevrili olup, 6 adet kas tarafından kontrol edilen hareketleri gerçekleştirirler. Tipik olarak 7.5 gram ağırlığında ve 6.5 cm³ hacminde olan bir yapıya sahiptirler. Göz ile beyin arasındaki iletişim görsel sinirler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Göz dış tabaka, orta tabaka, iç tabaka, optik sinir ve görme yolu, göz bebeği ve göz sıvıları gibi yapılardan oluşmaktadır. Göz kornea, lens, retina, pupilla, iris gibi yapıların bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yapılar ışığı toplar, odaklar ve görüntüyü beyne ileterek görme sürecini sağlar. Göz görme yeteneğimizi oluşturan kompleks bir yapıya sahiptir. Resim 3.1 'de gözün anatomik yapısı ve bölümleri görülmektedir [37-38].



Resim 3.1. Gözün anatomisi ve bölümleri [38]

3.1.1. Kornea

Bu bölüm gözümüzün en ön kısmında bulunan ve ışığı kıran ilk saydam kısımdır. Kornea gözün toplam kırıcı gücünün yaklaşık $2/3$ 'ünü oluşturmaktadır. Korneanın çapı yaklaşık olarak 11.5 mm kadardır. Kornea kalınlığı ise merkezi kısımda 500-600 mikron, çevre kısımlarda ise 600-800 mikron kadardır. Kornea epitel tabakası, bowman zarı, stroma tabakası, desme zarı ve endotel tabakası olmak üzere 5 tabakadan oluşmaktadır [39].

3.1.2. İris

Göze rengini veren kısımdır. Fotoğraf makinesi diyaframı gibi çalışır; pupil yani göz bebeği küçülüp büyüyerek gözün içine daha fazla ya da az ışık girmesini sağlar. Kornea ile iris arasındaki boşluk aközle dolu olup bu madde su gibi berraktır ve göze basınç verir [40].

3.1.3. Gözbebeği (Pupil)

Pupil gözün iris kısmının ortasında bulunan ve ışığın retina üzerine düşmesini sağlayan siyah renkte gözükten boşluktur. Pupilden geçen ışık ışınları gözün içindeki dokular tarafından soğrulduğundan dolayı gözün içinde yansıyan ışın saçılmalarının dar pupilden geri çıkmaması nedeniyle pupil siyah renkli olarak görülür. Pupilin genişlemesinin asıl amacı göze giren ışık miktarını ayarlamaktır [41].

3.1.4. Retina

Gözün bölümlerinden biri olan retina koyu kırmızı renkte olup içerisinde kılcal damarlar bulunmaktadır. Retina görme sürecinin temel bileşenlerinden biridir. Retinada çomak hücreleri ve koni şeklinde iki tür fotoreseptör hücresi bulunmaktadır. Retinanın fonksiyonu, kornea ve göz merceği aracılığıyla odaklanan görüntüyü elektriksel sinyallere dönüştürmektir. Çevrilen sinyaller, optik sinirler aracılığıyla beyindeki ilgili kısımlara ulaştırılır. Retina tabakası, görme yeteneği için son derece önemli bir role sahiptir. Retina tabakası normal yerinden ayrılırsa ve gerekli müdahale hızlı bir şekilde yapılmazsa, körlük meydana gelebilmektedir [37].

3.1.5. Optik sinir

Optik sinir, merkezi sinir sisteminin bir parçası olarak da kabul edilmektedir. Nörosensöriyel retina ile oksipital korteks arasındaki görsel bilgiyi taşır. Optik sinir, retina ganglion hücrelerinin aksonlarından oluşur. Göz içi, orbita içi, kanal içi ve kraniyum içi denilen bölümlerden oluşur ve yaklaşık olarak 50 mm uzunluğundadır [42].

3.1.6. Sklera

Sklera, gözün dış tabakasını oluşturan yoğun, fibröz, viskoelastik bir bağ dokusudur. Sklera, iç gözün görsel aparatını destekleyen, göz içi basıncının oluşturduğu genişleme kuvvetine dayanan ve göz içeriğini dış travmadan koruyan güçlü bir çerçeve sağlar. Skleranın biyokimyasal ve biyomekanik özellikleri kürenin şeklini ve boyutunu belirlediğinden gözün kırılma durumunu etkilemede önemli bir rol oynamaktadır [43].

3.1.7. Lens

Gözbebeğinin arka kısmında bulunan saydam bölümdür. Lensin görevi, görüntünün odaklanabilmesi için gerekli hassas ayarı yapmaktır. Bu işlevi, yakına odaklandığında şişerek ve incelerek gerçekleştirir. Bu sayede okuma tarzı görevlerin gerçekleşmesi sağlanmış olur [37].

3.2. Görme Olayı

Gözümüz optik bir araç gibidir. Kornea ve lensten geçerek göze giren ışınlar sarı nokta üzerinde görüntü oluşturur. Göze giren ışığın miktarını iris düzenler. Işığa göre göz bebeği büyür veya küçülür. Göz merceği de inceli kalınlaşarak cisimlerin görüntülerinin tam fovea üzerine düşmesini sağlar. Foveada oluşan görüntü, görme hücrelerinde sinir enerjisine çevrilir. Sinirler yoluyla bu enerji beyne giderek duyu merkezinde görme ve üç boyutlu algısı meydana gelir [44].

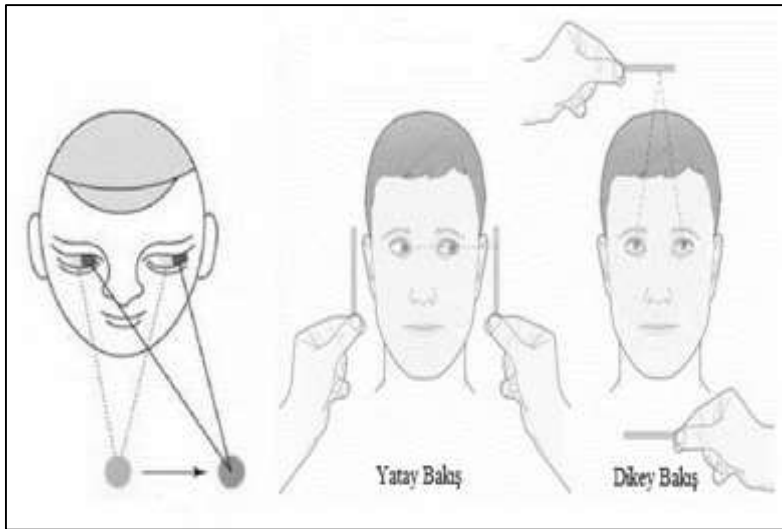
3.3. Sakkadik Göz Hareketleri

Sakkadik göz hareketi (SGH) isteğe bağlı veya refleksif olabilen kısa ve çok hızlı göz hareketidir. İlgilenilen görüntüyü yakalamak için onu retinanın en hassas kısmına, fovea merkezine yansıtır. SGH programlanması, karmaşık algısal, isteğe bağlı ve bilişsel süreçlerin bir sonucudur. Sağlıklı insanlarda görsel olarak yönlendirilen sakkadik göz hareketleri %95 oranında doğrudur [45]. Eğer gözler aynı anda zıt yönlerde hareket ediyorsa verjans göz hareketlerinden söz edilir; bunlar diverjans ve konverjans hareketlerdir [46].

Sakkadik hareketler, okülomotor sistemin yapabildiği en hızlı (300-700 derece/saniye) hareketlerdir. Amaç gözü bir hedeften diğerine en kısa zamanda geçirebilmektir. Sakkadik bir göz hareketi başladıktan sonra yönü ve hızı istemli olarak değiştirilemez, ancak dikkatin azaldığı durumlarda yavaş hareketler ortaya çıkabilir [47].

Sakkadik harekette ortalama hız ve maksimum hızdan bahsedilir. Maksimum hız sakkadın süresinden bağımsızdır ve sakkadik hareketin değerlendirilmesinde en sık kullanılan parametredir. Normal bireylerde ortalama hız/peak hız=1.65'tir [48]. Gözler, görsel hedefin hareketini izleyerek, hedefin retina üzerinde odaklanmış görüntüsünü korumaktadır.

Resim 3.2’de sakkadik göz hareketine bakış yönleri gösterilmiştir [49-50].



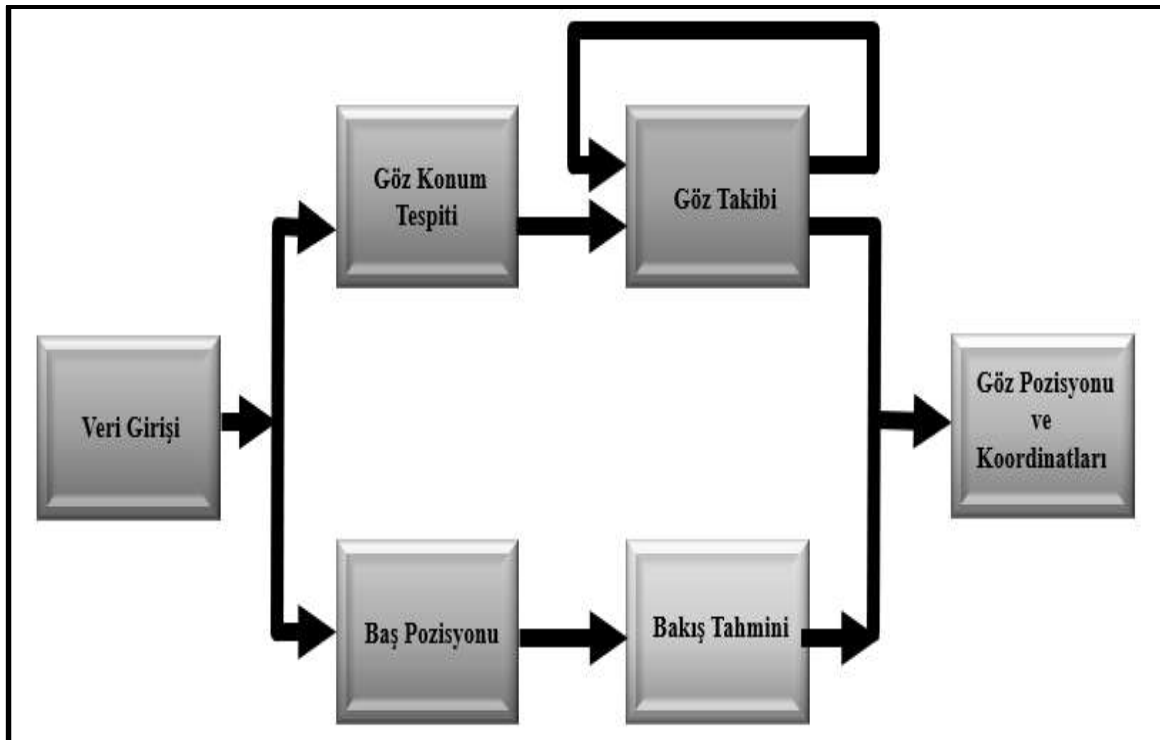
Resim 3.2. Sakkadik göz hareketleri ve bakış yönleri [49, 50]

3.4. Göz Takip Sistemleri

Göz takip sistemleri (GTS) günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok yeni yaklaşımda ölçüm doğruluğu sebebiyle tercih edilmektedir. Göz takip, belirli bir zaman ve görev boyunca göz hareketini, görsel dikkatin dağılımını izlemek ve gözün konumunu kaydetmek için kullanılan deneysel bir yöntemdir [51].

Günümüzde mevcut olan GTS' lerinin çoğunun iki ortak unsuru vardır: bunlardan ilki ışık kaynağı diğeri ise kızılötesi kameradır. Işık kaynağı göze doğru hedeflenir kaynağın yansıması, göz bebeği gibi göz merceği ve retina üzerinden algılanır ve göz takip kamerası tarafından izlenir [52].

GTS pazarlama, reklam, web tasarımı, spor eğitimi, savunma sanayi, sürücü/pilot davranışları, grafik, sanal gerçeklik ve simülatör uygulamaları, gibi birçok alanda kullanılmaktadır [53]. Psikoloji ve bilişsel bilimde, göz takibin günlük aktivitelerde insan davranışlarını incelemek için yararlı bir yöntem olduğu görüldü [54]. Göz pozisyonu ve bakış koordinatlarının genel süreci Şekil 3.1' de verilmiştir [55].



Şekil 3.1. Göz pozisyonu ve bakış koordinatlarını takip süreci [55]

İlk göz takip sistemleri 1800' lü yıllarda ortaya çıkmış olmasına rağmen bu sistemlerin sadece göz hareketlerinin kaydedilmesini sağladığı fakat veri analizi için herhangi bir teknolojilerinin olmadığı görülmüştür. Göz hareketlerini incelemek için kullanılan ilk yöntem doğrudan görme gözlem yöntemidir. Göz hareketlerini dikkat çekmeden izleyebilmek için bir ayna kullanmışlardır. Bu yöntem, okuma sırasında göz hareketini gözlemleyebilmek için ve yalnızca büyük göz hareketlerinin tespitinde kullanılmıştır [53]. 1900' lü yılların başında psikoloji alanında yararlanılan sistemler 1950'lerde ilk kez ticari amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde geliştirilen sistemlerin çoğu elektromanyetik bobinler veya fotoelektrik hücreler gibi basit teknolojilerle yapılmıştı. 1980' lerde ise göz takip sistemleri ilk defa bilgisayar destekli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler kullanıcının göz hareketlerini algılayabilen kameralar kullanarak çalışmaktaydı.

Günümüzde halen yaygın olarak kullanılmakta olup daha hızlı ve hassas hale gelerek küçük boyutlarda ve daha düşük maliyetli olarak üretilmektedirler. Göz takip sistemleri kullanım alanlarına göre teşhis veya etkileşimli olarak sınıflandırılabilir. Teşhis sistemleri, kullanıcının görsel ve dikkat süreçlerinin nicel kanıtı olarak göz takip verilerini kullanır. Etkileşimli sistemler ise göz hareketlerine dayalı olarak kullanıcıya yanıt vermek veya kullanıcıyla etkileşim kurmak için gerekli göz takip verilerini kullanmaktadır [56]. Günümüzde kullanılan göz takip sistemleri sensör tabanlı ve bilgisayar (video) tabanlı olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

3.4.1. Sensör tabanlı göz takip sistemleri

İnsan gözünün geometrik ve hareket özelliklerinin benzersiz olması, göz algılama ve takibi dikkat analizi, duygusal durum analizi, etkileşimli kullanıcı arayüzleri ve biyometrik güvenlik gibi birçok uygulama için önemli kılınmaktadır. Sensör tabanlı göz takip sistemleri, göz çevresindeki bölgeye yerleştirilen elektrotlarla ölçülen elektrik potansiyellerine dayanarak göz hareketlerini algılar ve analiz eder. Elektrokülogram (EOG) denilen bu yöntem göz hareketlerini ölçmek için kullanılır. EOG ile ölçümde gözler başlangıç durumundayken, elektrotlar sabit bir elektrik potansiyeli alanı ölçer. Gözler çevreye doğru hareket ettiklerinde, retina bir elektroda, kornea ise diğer bir elektroda yaklaşır. Bu durum dipolün yönünü değiştirir ve ölçülen EOG sinyalinde değişikliğe neden olur [57].

EOG sinyali ölçmek için en sık kullanılan elektrot yerleşim konfigürasyonu Resim 3.3’ de gösterilmiştir. Bu elektrotlar yatay hareketleri algılamak için gözün sağına ve soluna, dikey hareketi algılamak için ise gözün altına ve üstüne yerleştirilmektedir [58].



Resim 3.3. EOG Elektrotlarının yerleşim yerleri [58]

3.4.2. Bilgisayar görme tabanlı göz takip sistemleri

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte günümüzde kullanılan göz takip sistemlerinin birçoğu bilgisayar tabanlı teknikler kullanmaya başlamıştır. Bu şekilde kullanılan kamera bir veya iki göze odaklanacak şekilde ayarlanarak ilgili göz hareketlerini kaydetmeye olanak sağlamaktadır.

Bilgisayarlı görme tabanlı göz takip sistemlerinde ele alınan iki ana alan bulunmaktadır. Bunlardan ilki göz konumu olarak da bilinen görüntüdeki göz tespittir. İkincisi ise gözün bakış yönünü tahmin etme süreci olan göz takiptir. Tespit edilen göz bölgesinin işlenmesinden ve analiz edilmesinden sonra elde edilen verilere dayanarak, göz bakışının yönü tahmin edilebilmekte ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. [57].

Göz takibi kullanan farklı uygulamalar; gözlerin açıklık derecesi, göz boyutundaki değişiklikler, başın duruş şekli gibi etkenlerden de etkilenebilmektedirler [57]. Resim 3.4’de bilgisayar görme tabanlı göz takip sistemi düzeneği görülmektedir [59].



Resim 3.4. Bilgisayar görme tabanlı göz takip sistemi [59]

Bu yöntemde kızılötesi aydınlatma ile göz bölgesi aydınlatılmaktadır. Göze tutulan ışığın gözün camsı tabakası korneanın ön tarafından yansıyan ve purkinje yansıması olarak adlandırılan yansımaları ile mercekten geçen kızılötesi ışığın gözün arka bölümü olan retinadan yansımasının sonucu oluşan göz bebeğinin parlak veya karanlık görüntüsünden faydalanılmaktadır [60]. Bilgisayarlı görme tabanlı göz takip yaklaşımları 7' ye ayrılmaktadır.

Göz takip için örüntü tanıma

Şablon eşleştirme ve sınıflandırma gibi farklı örüntü tanıma tekniklerinin göz izleme alanında etkili olduğu kanıtlanmıştır. Önemli tekniklerden biri olan yapay sinir ağı (YSA) göz bebeği konumunu sınıflandırmak için kullanılır. YSA için eğitim verileri, kullanıcının farklı gözbebeği konumlarını gösteren ve noktaları gözlemlemesi gereken kalibrasyon sırasında toplanır. Sistem, gözlük ve başa takılan kameradan oluşan özel bir donanım gerektirir [57].

Kornea yansıma noktalarına dayalı göz takip

Kornea üzerindeki yansıma noktaları, bakış yönünü tahmin etmek için birçok bilgisayarlı görme tabanlı göz takip cihazında kullanılmaktadır. Kornea yansıma noktalarını içeren görüntüler Purkinje görüntüleri olarak da adlandırılır. Göz bebeği merkezi ile kornea yansımaları arasındaki bakış yönü vektörünü hesaplamak için kullanılır [61].

Şekile dayalı göz takip

Göz izleme ve göz bebeğini, dairesel şekile veya kenar algılamaya odaklı olarak irisi tespit etme yöntemine dayanan popüler yaklaşımlardan biridir. Göz tespiti için Hough dönüşümü yüz görüntülerine uygulanır. Mevcut yüz algılama yöntemi ile yüz algılanır daha sonra göz, iki boyutlu bir görüntüde gözün dairesel şekline göre aranır [57].

Gradyanlar aracılığıyla göz takip

Düşük çözünürlüklü görüntülerde ve videolarda göz merkezlerini doğru bir şekilde tespit edebilen bu yaklaşımda gözler, görüntü gradyanlarının vektör alanının analizi ile tespit edilir. Bir merkez ile tüm görüntü gradyanlarının yönelimleri arasındaki ilişki matematiksel olarak tanımlanmaktadır. Görüntü gradyanlarını elde etmek için kısmi türev işlemleri kullanılmaktadır [62].

Koyu ve parlak göz bebeği efekti kullanarak göz takip

Gözbebeği tespiti için kullanılan iki aydınlatma yöntemi vardır, biri koyu gözbebeği diğeri ise parlak gözbebeği yöntemidir Koyu gözbebeği yönteminde, gözbebeğinin yeri, kamera tarafından çekilen göz görüntüsünde belirlenir. Parlak gözbebeği yöntemi, göz bebeğinin göz görüntüsünde beyaz görünmesini sağlayan kızılötesi ışığın, retinadan yansımaları özelliğinden yararlanmaktadır [63].

Göz modellerini kullanarak göz takip

Göz modelleri, bilgisayar görüş alanında göz takibi için kullanılır. Göz hareketlerini analiz etmek ve anlamak amacıyla kullanılan farklı tekniklerle geliştirilmiştir. Gözün korneası dışbükey bir ayna olarak modellenmiştir. Gözün 3 boyutlu optik eksen, dışbükey aynanın özelliklerine göre tahmin edilmektedir. Görsel eksen, kullanıcının gerçek 3 boyutlu göz bakış yönünü temsil etmektedir [61].

Hibrit modeller ve göz takip

Hibrit modellerde göz takibi için farklı tekniklerin bir karışımı kullanılabilmektedir. Bunlardan ilki kızılötesi aydınlatmadır. Gözbebeğini görüntüde bulunan parlak nesnelerden ayırmak için gözbebeği boyutu ve şekli gibi diğer gözbebeği özellikleri kullanılabilir. Tespit edilen göz konumunu bulmak için DVM kullanılmaktadır [57]. Bir kornea yansıması ve enerji kontrollü yineleme ile göz takip için eğri belirleme yöntemi kullanılabilmektedir [64]. Başka bir yöntemde ise ikili görüntü, orijinal koyu göz bebeği görüntüsüyle eşlenen beyaz lekeler içeren haritalamadan kaynaklanan alt görüntüler kullanılmaktadır. Bu görüntüler, gözle ilgili olan veya olmayan şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemin sınıflandırmasında YSA, DVM ve uyarlamalı güçlendirme (UG) kullanılmaktadır [65].

3.5. Göz Takip Yöntemleri

Göz takip işlemleri web kamerasından veya önceden kaydedilmiş videodan görüntü alınmasıyla başlar [66].



Şekil 3.2. Göz takip yöntemleri blok diyagramı [66]

Gözlerin hareketlerinin izlenmesi için üç temel metot bulunmaktadır:

1. Gözbebeği reaksiyonlarının belirlenmesi için göze yönlendirilen ışınların kullanılmasıdır. Bu metot genellikle kızılötesi ışınlarla gerçekleştirildiğinden kişiye herhangi bir zararı olmayacağı gibi aynı ortamda bulunan yoğun ışık gibi zararlı etkilere de korunulmuş olur.
2. Gözün etrafında bulunan deri tabakası üzerindeki elektriksel aktivitenin bulunmasıdır.

3. Göz bölgesine yerleştirilen lensler aracılığıyla hareketlerin takip edilmesidir.

Kullanılan üç methodtan sonuncusu, kişi ile doğrudan etkileşimin yoğun olduğu, birincisi ise, kişilerle herhangi bir etkileşimin olmadığı veya çok az olduğu methodlardır.

Birinci method beş farklı kategoride incelenebilir.

- a) Gözbebeği kenar takibi
- b) Gözbebeği takibi
- c) Kornea ve gözbebeği arasındaki etkileşim dinamikleri
- d) Göz ve kornea imgesinin YSA aracılığıyla işlenmesi
- e) Purkinje görüntü takibi

Bu teknikler, çalışma ortamına, kişilerin inceledikleri veya okudukları nesnelerin niteliklerine göre kesinlik ve hız gibi konularda değişiklikler göstermektedirler [67].

3.6. Göz Takip Ölçüm Metrikleri

Çalışmalara bağlı olarak göz takibinde, gözün sabitlenme sayısı, sabitlenme süreleri ve sıçramalar gibi göz hareketi davranışının farklı yönleri ölçülebilmektedir [68]. Çeşitli işlemler sırasında gerçekleşen bilişsel hareketlerin göstergeleri olarak kabul edilen bu metrikler ile araştırmaların amaç ve yöntemleri doğrultusunda çeşitli analizler gerçekleştirilerek değerlendirme ve incelemeler yapılmaktadır [69]. Çalışmalarda en çok kullanılan göz takip metrikleri aşağıdaki gibidir.

3.6.1. Sabitlenme (Fixation)

Gözün bir anda duraksadığı noktalar. Bu duraklama sırasında, göz sabitlenmesinin içerdiği bilgiler alınır ve analiz ve anlam için beyne iletilir. Bununla birlikte, bir sabitleme duraklaması sırasında, çeşitli sabitleme duraklamalarından gelen bilgilerin anlamlarına göre yorumlanması da mümkündür [70].

Gözler bir ekranda tipik bir arama yaparken "fiksasyon "dan "fiksasyon "a doğru hareket eder. Tipik bir sabitleme 250-300 ms'lik süresi içinde en az üç süreçte gerçekleşir. İlk olarak,

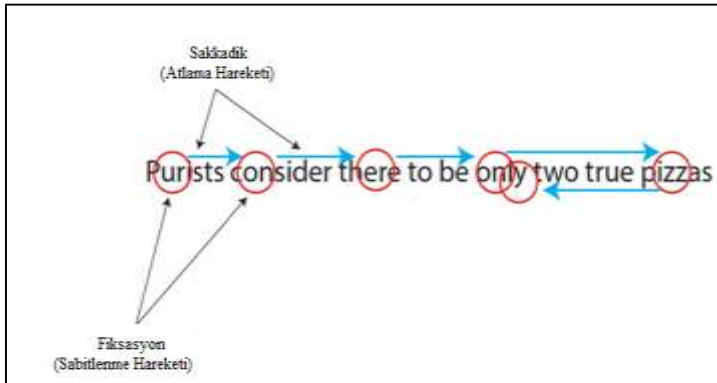
genel sahneyi etiketlemek için görsel bilgi kodlanır. Sonraki aşamada bilgilendirici alanları belirlemek için mevcut bakış alanı örneklenir. Son olarak, bir sonraki sakkad planlanır ve hazırlanır. Bu süreçler birbiriyle örtüşür ve paralel olarak gerçekleşebilir [71].

3.6.2. Sıçrama (Saccade)

Sıçrama, bir sabitten diğerine hızlı göz hareketleri olarak tanımlanır. Sıçramalar tipik olarak yaklaşık 30–80 ms sürer. Bu süre zarfında görsel bilgiler bastırılır. Tipik ölçümler sakkadik genlik (bir sakkala mesafesi), sakkadik süre (milisaniye cinsinden) ve sakkadik hızdır (derece/saniye cinsinden) [72].

3.6.3. Tarama yolu (Scanpath)

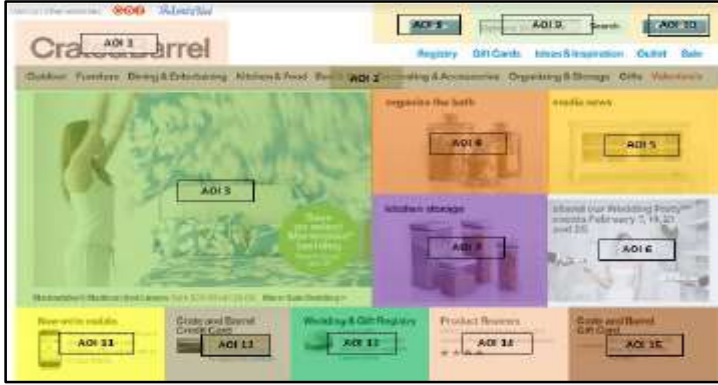
Bir tarama yolu hem açık hem de gizli görme süreçleri sırasında göz takip cihazı tarafından tespit edilen sabitleme dizisidir [73].



Resim 3.5. Okuma anında temel göz hareketleri ve tarama yolu [51]

3.6.4. İlgi alanı (Area of Interest)

Birçok göz takip çalışmasında araştırmacılar, katılımcıların bir uyarının belirli bir bölümüne ne kadar süreyle veya ne sıklıkta baktıklarını bilmek isterler. Uyarıcının bölümlerini kapsayan bu kısımlar ilgi alanı olarak bilinir. Bu alan bir cümledeki belirli bir kelime, sahnedeki bir nesne veya bir yüzün gözleri gibi belirli alan ya da alanlar olabilmektedir [51].



Resim 3.6. Okuma anında ilgi alanı [59]

3.6.5. Sıcaklık haritası (Heat Map)

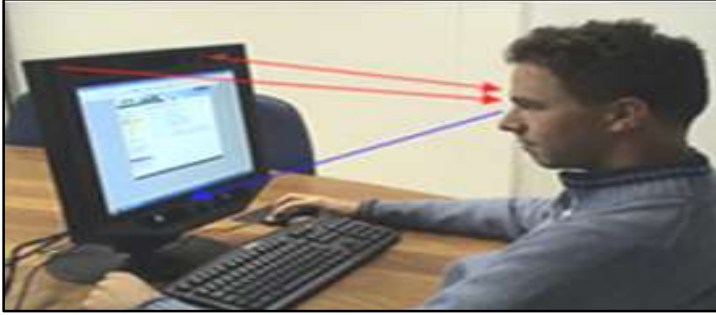
Herhangi bir kişinin veya kişilerin bakış açısını belirlemek için kullanılan görsel bir araçtır. Yoğunluk haritası olarak da adlandırılabilir. Sıcaklık haritaları kullanım alanlarına göre kişi veya ilgili bir grubun nesnelere veya farklı bölgelere olan ilgilerinin yoğunluğunu kırmızı, sarı veya yeşil gibi renklerle veya sıcaklık dereceleriyle göstererek görsel bir sunum sağlamaktadır. Kırmızı en yoğun sabitlemeleri, sarı orta yoğunlukta olanları ve yeşil en az yoğun olanları gösterir. Renksiz alanlar, kullanıcıların uyarının o kısımlarına sabitlenmediğini göstermektedir [59]. Sıcaklık haritaları kullanıcıların gözlerini daha çok nerelere yönlendirdiklerini ve bakışlarının nerelerde yoğunlaştıklarını anlamayı sağlayan göz takip yöntemlerindendir.



Resim 3.7. Sıcaklık haritası örneği [59]

Göz takibi genel olarak baktığımız yerdeki ölçüm sürecini ifade eder. Bu ölçümler, gözlerin pozisyonlarını ve yaptıkları hareketleri kaydeden bir göz takip cihazı tarafından gerçekleştirilir. Kızılötesi ışık, göz bebeğine doğru yönlendirilir hem göz bebeğinde hem de korneada tespit edilebilir yansımalar neden olur. Kornea ve göz bebeği arasındaki yansıma

vektörü bir kızılötesi kamera ile izlenir. Bakış yönü ölçümünün doğruluğu göz bebeğinin net bir şekilde sınırlandırılması tespitine bağlı olduğundan, bir kızılötesi ışık kaynağı ve tespit yöntemi gereklidir [74].



Resim 3.8. Kızılötesi kamerayla kullanıcı göz takibi [75]

3.7. Göz Takip Cihazları

Göz takip (GT), göz küresinin optik ekseninin uzaydaki yönünü belirlemek için kullanılan bir cihaz ile bakışın koordinatlarını belirleme işlemidir. Göz takibi esas olarak psikofizik, hastalık teşhisi, bilişsel süreç gibi çalışmalarda kullanılırken, son on yılda teknolojik ekipman maliyetindeki düşüş ve makine görüşündeki ilerlemeler sayesinde çok farklı alanlarda da kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde göz takibi multimedya öğrenimi, web 'de gezinme, psikoloji araştırması, pazar araştırması ve özellikle video oyunları için popüler olan gerçek zamanlı grafik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [76]. Göz takip sisteminin temel çalışma prensibinde, gözün kornea tabakasına yansıyan ışığın kayıt altına alınması bulunmaktadır. En basit ifade ile göz bebeği çevresine infrared ışık gönderilir, gönderilen bu ışığın retinadan ve korneadan geri yansıması kayıt altına alınır. Söz konusu yansımadan elde edilen veriler özel bilgisayar yazılımı ile işlenebilir hale getirilir. Bu işlemin hızı, başka bir ifade ile göz bebeğine gönderilen ışığın sıklığı, kullanılan cihazın özelliğine göre belirli frekans aralığında (120-1000 Hz.) gerçekleşmektedir [77]. Göz takip cihazları sabit, takılabilir ve taşınabilir olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

3.7.1. Sabit göz takip cihazları

Sabit göz takip cihazı, genellikle laboratuvar ortamlarında kullanılan büyük sistemlerdir. Bu cihazlar genellikle masaüstü veya özel bir kurulum gerektiren sabit bir konumda kullanılmaktadır. Herhangi bir kaynaktan monitöre aktarılan görüntü üzerinden

kullanıcıların göz takibi yapılır. Deneyler süresince etkileşim konusunda kullanıcı serbest bırakılacağı gibi yapılandırılmış olarak bazı görevler yerine getirmesi de istenebilir. Süreç boyunca kullanıcının göz hareketleri sabit cihazla takip edilir. Sabit modellerin en büyük dezavantajı mekâna bağlı olması, alan uygulamalarına imkân vermemesidir ve kullanıcının kendi ortamı (ev, iş yeri ve okul gibi) yerine testin bir laboratuvar ortamında gerçekleştiriliyor olmasıdır [78].



Resim 3.9. Sabit göz takip cihazı [77]

3.7.2. Takılabilir göz takip cihazları

Takılabilir göz takip cihazları kişilerin vücuduna takılan veya giyilebilen portatif olup kullanımı kolay ve rahat cihazlardır. Genellikle gözlük veya başlık şeklinde olabilmektedirler. Bu tür modellerin teknik olarak diğer sabitlenen modellere oranla bir dezavantajı söz konusu olsa da (örneğin, daha düşük frekanslarda göz takibi yapmak gibi) sabit olmayan kişilerin çoğu zaman daha gerçek verilerine ulaşmayı mümkün kılması bakımından avantaj sağlamaktadır [77, 78]. Bu cihazlar genellikle kamera, infrared sensörler ile göz hareketlerini takip etmektedirler.



Resim 3.10. Takılabilir göz takip cihazı [77]

3.7.3. Taşınabilir göz takip cihazları

Taşınabilir göz takip cihazları kullanıcıların genellikle kolay taşıyabilecekleri küçük ve hafif cihazlardır. Bu cihazlar genellikle bir telefona veya bir tablete entegre edilebilmektedir. Kullanıcılar bu cihazları hareket halinde de kullanabilmektedirler. Taşınabilir göz izleme cihazlarında da tıpkı sabit göz izleme cihazlarında olduğu gibi katılımcı kendi ortamında da olsa bir monitör karşısında uygulamaya katılabilmektedir. Bu durum bir dezavantaj olarak görülmekte ve uygulama sırasında katılımcıların hareketlerini kısıtlamaktadır [79].



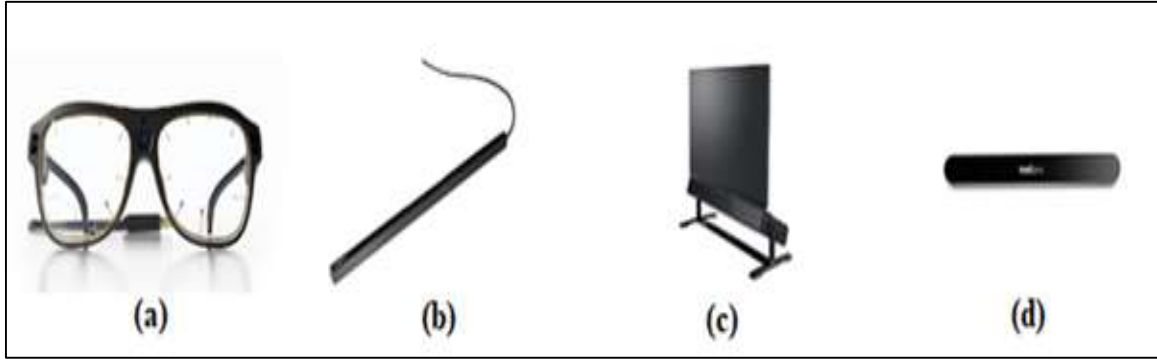
Resim 3.11. Taşınabilir göz takip cihazı [79]

3.8. Göz Takip Cihaz Modelleri

Göz takibi için yapılan çalışmalarda problem çözümüne uygun olabilecek farklı modellerde ve özelliklere sahip değişik firmalara ait cihazlar kullanılabilmektedir.

3.8.1. Tobii

Tobii, 2001 yılında Stockholm'de kurulmuş ve çok sayıda yayınla göz izleme dünyasında önemli bir figür haline gelmiş şirkettir. Araştırma, yardımcı teknolojiler ve oyun için göz izleme birimleri sağlamaktadır. Genellikle 60, 120 ve 250 Hz. hızında göz hareketi yakalama özelliğine sahiptirler. Tobii göz takip cihazı genel olarak kullanıcının yüzünün ve gözlerinin bulunduğu bir alanı izlemek için tasarlanmıştır. Gözlüklü ve kulaklıklılı göz takip üniteleri de mevcuttur. Tobii 4C, Tobii pro nano ve Tobii pro glasses 3, pro fusion, gibi modelleri bulunmaktadır [80-81].



Resim 3.12. Tobii göz takip cihaz çeşitleri (a) Tobii Pro Glasses 3 (b) Tobii Pro Fusion (c) Tobii Pro Spectrum (d) Tobii Pro NANO [80,81]

3.8.2. SMI

SMI 26 yıldan beri var olan ve deneyimli göz takip ekipmanı cihazları geliştiren Alman şirkettir. Hem göz takibi hem de sanal gerçeklik cihazlarıyla piyasada bulunmaktadır. SMI RED göz takip cihazı, entegre 22" monitörden televizyon ekranlarına ve her boyuttaki projeksiyonlara kadar aynı sistemle farklı kurulumlara olanak tanıyan modüler bir tasarıma sahiptir. Laboratuvar ortamlarında, göz takibinde, kullanılabilirlik testlerinde, psikolojik özelliklerin değerlendirilmesi, tıbbi araştırmalarda, veri toplama ve analiz etme işlemlerinde kullanılmaktadır.

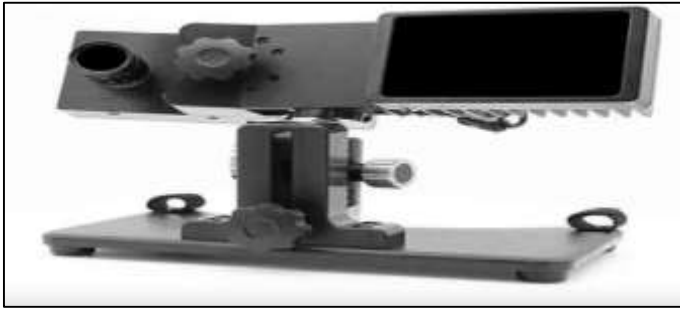
Genellikle 60, 120, 250 ve 500 Hz. hızında göz hareketi yakalama özelliğine sahiptirler. Bu göz takip cihazı, küçük paketlerden büyük raf ekranlarına kadar farklı uyarıcıları test etmek için kullanılabilen hepsi bir arada çözümler sunmaktadır [82].



Resim 3.13. SMI RED 250 göz takip cihazı [82]

3.8.3. Eyelink

Eyelink göz takip cihazı video tabanlı göz izleyicilerden biri olup psikoloji, oftalmoloji, nöroloji ve ergonomi gibi araştırma alanlarında kullanılmaktadır. Eyelink, her iki gözü aynı anda izlemek için iki yüksek hızlı kamera sensörü kullanmaktadır. Üçüncü bir kamera, görsel uyaran ekranına monte edilmiş dört kızılötesi işaretçiyi izler, böylece baş hareketi ölçülebilir ve bakış konumu hesaplanabilmektedir. Eyelink 2000 Hz.'e kadar örnekleme ile dünyanın en hassas ve doğru video tabanlı göz takip cihazıdır. Eyelink göz takip üniteleri, portatif ve başa takılan sistemler dahil olmak üzere çeşitli çözümler sunan Kanada merkezli bir şirket olan SR araştırmaları tarafından üretilmektedir [83, 84]. Çoklu montaj seçenekleri, değiştirilebilir lensler ve kafaya sabitlenmiş ve kafasız izleme modları ile son derece özelleştirilebilir çözümlere sahiptir [85].



Resim 3.14. Eyalink 1000 plus göz takip cihazı [85]

3.8.4. Iscan

Iscan göz takip cihazı Massachusetts merkezli ve 1980'de kurulmuş olup dünya çapındaki şirketler, üniversiteler ve araştırma laboratuvarları tarafından çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere mevcut en iyi video tabanlı göz ve hedef izleme ekipmanını sağlamıştır. Göz takip donanımı başa takılan ekranın içine yerleştirilmiştir. Iscan 1000 Hz.'e kadar örnekleme sahiptir.

Küçük bir göz kamerası, infrared ışık kaynağı ve bir dikroik aynaya sahiptir. infrared ışık kaynağı göz üzerinde kornea yansıması yaratır o sırada göz kamerası aynadan yansıyan göz görüntüsünü yakalar bu görüntüyü bilgisayardaki bir kare yakalayıcıya gönderir. Bilgisayar yazılımı, göz bebeğinin merkezi ile kornea yansıma noktası arasındaki ilişkiyi kullanarak görsel bakış çizgisini hesaplamaktadır [86-87].



Resim 3.15. Iscan ETL-400 göz takip cihazı [86]

3.8.5. Eyetech

Eyetech yirmi yılı aşkın bir süredir kurulmuş olup hem araştırma hem de yardımcı teknoloji olarak göz takibi sunmaktadır. Arizona’da bulunan şirket, evrensel seri veriyolu bağlantılı bir göz izleme ünitesini üreten ilk firma olmuştur. Araştırmacılar, sağlık profesyonelleri, kullanılabilirlik uzmanları tarafından tercih edilmektedir. Eyetech, bireylerin iletişim kurmalarını ve kendilerini ifade etmelerini sağlayan konuşma üreten yazılımlar, cihazlar ve göz bakışı teknolojisi üzerine çalışan bir firmadır. Sağlam ve kullanımı kolay cihazlar üretmektedirler [87-89].



Resim 3.16. Eyetech TM5 Mini plus göz takip cihazı [89]

3.8.6. Eyetribe

2007 yılında Kopenhag'da bir göz takip şirketi olarak kuruldu. Cihazları kullanıcı dostu ve uygun maliyetle düşünülerek tasarlanmış olup dünyadaki ilk en ucuz göz takip cihazını Tracker Proyu, günlük kullanıcıların teknolojiyle daha verimli etkileşim kurmasına yardımcı olmak için üretmiştir. Eyetribe yazılımı, mobil cihazlarda göz kontrolünü mümkün kılarak, gözle etkinleştirilen oturum açma, gelişmiş oyun deneyimleri ve bulut tabanlı kullanıcı

etkileşimi analizleri dahil olmak üzere web sitelerinde ve uygulamalarda eller serbest gezinmeye olanak tanımaktadır [90-91].



Resim 3.17. Eyetribe göz izleme cihazı [91]

3.8.7. Smart eye

Smart Eye 1999'da yılında kurulan göz takip teknolojileri ve hizmetleri sağlayan bir İsveç merkezli şirkettir. Karmaşık ortamlardaki insan davranışlarını anlayan, destekleyen ve tahmin eden bir teknoloji olan insan içgörüsü yapay zekâ alanında dünya çapında lider konumda bulunmaktadır. Teknolojilerini yeni nesil araçlara yerleştirerek daha güvenli ve insan merkezli mobiliteye giden yolda öncülük etmişlerdir. Yüksek kaliteli göz takip sistemleri, otomotiv ve uçuş simülatörleri ile çalışan Smart Eye, taşımacılığın geliştirilmesine yardım etmeye odaklanmış bir şirkettir [92].



Resim 3.18. Smart eye pro göz takip cihazı [92]

3.8.8. Mirametrix

2011 yılında başlayan ve evrensel seri veriyolu bağlantılı göz izleme üniteleri sunan şirket Montréal'de bulmakta olup göz takip alanında nispeten yeni bir katılımcı olmasına rağmen, neredeyse yüzlerce yayında yer almış durumdadır. Mirametrix göz takip cihazı, bilgisayar ekranının hemen altına oturan taşınabilir bir donanım cihazıdır. Cihaz anında kalibre olabilir ve kalibrasyonu son derece iyi tutarak denekler arasında tutarlı bir şekilde çalışma sağlar. Bilgisayarda kolaylıkla çalışabilmektedir. Laboratuvar içinde ve dışında çeşitli yerlerde kullanılabilir [93-94].



Resim 3.19. Mirametrix S2 göz takip cihazı [93]

3.8.9. Pupil labs

Pupil Labs 2014 yılında kurulmuş açık kaynaklı kodlama ve hacklenebilir göz takip çözümleri sunan oldukça yeni Berlin merkezli şirkettir. Şirket nispeten uygun fiyatlı ve özelleştirilebilir göz izleme birimleri sunmaktadır. Sezgisel bir kullanıcı arabirimi ve açık bir arayüz ile araştırmacılar ve oluşturucular için erişilebilir güçlü bir algoritma ve altyapı seti oluşturmak için Pupil Cloud'u oluşturmuşlardır [95].



Resim 3.20. Pupil Labs core göz takip cihazı [95]

3.8.10. Gazepoint

Gazepoint, 2010 yılında Kanada'da kurulmuş olup çeşitli araştırmalar için göz takip yazılımı ve donanımı sağlamaktadır. Gazepoint ürünleri arasında farklı ölçeklerde göz takip cihazları bulunmaktadır. Kullanılabilirlik testi için göz izleme ekipmanı sağlamaktadır [96].



Resim 3.21. Gazepoint GP3 HD Eye Tracker göz takip cihazı [96]

4. SAKKADİK GÖZ HAREKETLERİNDEN BİLİŞSEL YÜK TESPİTİ

4.1. Bilişsel Yük Teorisi (BYT)

Biliş terimi, beynin duyuşal uyaranlar, algı, deneyim, görme vb. gibi çeşitli kaynaklardan alınan bilgileri toplama, işleme ve dönüştürme yeteneğini ifade eder. BYT' nin amacı, insan beyninin algılama, anlama ve öğrenme süreçlerini nesnel olarak analiz etmek ve anlamlandırmaktır [97]. İnsanlar son derece büyük miktarda bilgiyi depolayabilen uzun süreli bir belleğe ve sınırlı kapasiteye sahip bir çalışma belleğine sahiptir [98].

BYT John Sweller tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir [99]. Kısa süreli bellek olarak da bilinen çalışma belleği, sınırlı bir kapasiteye sahiptir ve yalnızca sınırlı miktarda bilgiyi anında etkili bir şekilde işleyebilir. Belleğin bilgi işleme kapasitesine ilişkin bu varsayım, bilişsel yük teorisinin temelini oluşturur. Bilişsel yük teorisine göre, insanın bilişsel mimarisi, sınırlı bir çalışma belleği ve sınırsız bir uzun süreli bellek içerir ve yalnızca uzun süreli bellekte depolanan bilgilerden elde edilir.

Bilişsel yük, belirli bir görevi yerine getirirken öğrenenin bilişsel sistemini etkileyen çok boyutlu bir kavramdır. Paas ve Van Merrinboer'in geniş BYT modelinin çerçevesi, görev ve öğrenen özelliklerinin etkileşimini yansıtan nedensel bir boyut, ölçülebilir yük, çaba ve zihinsel performans kavramlarını yansıtmaktadır [100-101]. BYT' nin asıl yük, ekstra yük ve etkili yük olmak üzere üç türü bulunmaktadır [102].

Asıl yük, bir alandaki yeni bilgiyi öğrenmenin karmaşıklığı veya zorluğu tarafından üretilen bir bilişsel yük türüdür. Asıl yükte çok sayıda etkileşim ögesine sahip bir yapıyı öğrenmek, daha az etkileşim ögesine sahip bir yapıyı öğrenmekten daha zor olup çok fazla bilişsel kapasite gerektirmektedir [103].

Ekstra yük, öğrenmeye katkı sağlamayan nesnelerin kullandığı zihinsel kısımdır. Bu bölüm, öğrenmeyi geliştirmeden kullanıcının genel bilişsel yükünü artıran bilgi sunumu, öğretim biçimi ile ilgilidir ve arka planda çalışan tüm gizli programlar tarafından tüketilen bellek miktarıdır [104].

Etkili yük ise zihinsel yapıların oluşması ve düzenlenmesini sağlayan süreçlerde ortaya çıkar. Konu dışı ve etkili yük öğretim tasarımından etkilendiğinden öğretim tasarımcılarının kontrolündedir. Önemli olan, asıl yük, ekstra ve etkili yükün toplamının bilişsel kapasitenin sınırlarını aşmamasıdır. Aşırı bilişsel yüklenmenin önleildiği durumda, öğrenmenin beklenen seviyede gerçekleşmesi mümkün olacaktır. [105].

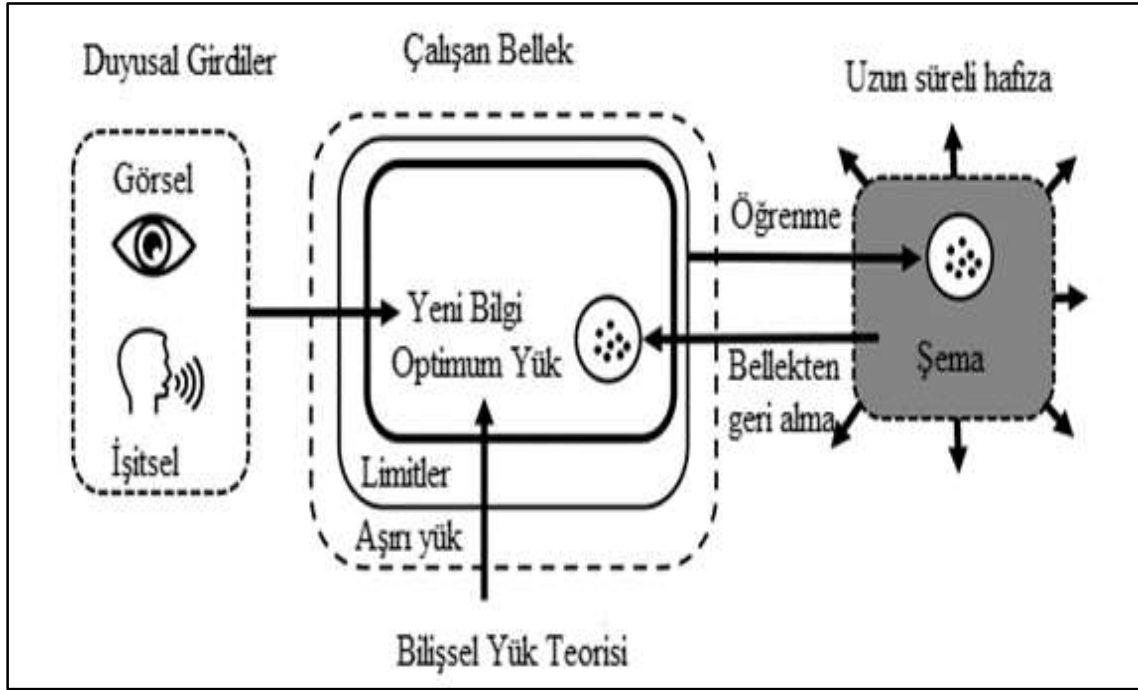
Ekstra yük, uzun vadeli bellek şemaları oluşturmak ve düzenlemek için ayrıştırılmış zihinsel kaynakları temsil eder ve bilgisayarımıza bir program yüklerken bellek kullanımına benzer bir nitelik gösterir. Ekstra yük, uzun süreli bilgi veya şema depolama faaliyetini tanımlar ve öğrenme sürecini de önemli ölçüde hızlandırır [104].

Ekstra yük, bilgi kategorilerini anlamlandırmak için gerekli bilişsel davranış kalıplarının geliştirilmesini sağlar. Kullanılan üç yükün toplamı bilişsel yük olarak tanımlanır. Bu aynı zamanda, bireyin belirli bir görevle ilgilenirken işleyen bellekteki bilişsel yükün, üç farklı yük tipinin toplamı olduğu anlamına gelmektedir. Bilişsel yükün diğer yüklerle ilişki temsili Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Bilişsel Yük Gösterimi [102]

Bilgi aktarımı, bilginin uzun süreli bellekte bir şema halinde yapılandırılmasını sağlar. Bir şema oluşturmak, farklı bilgi parçalarını daha düşük bir karmaşıklık düzeyinden daha yüksek karmaşıklık düzeyine bağlamayı ve bunları tek bir bilgi öbeği olarak anlamlı bir bütün olarak bir arada tutmayı gerektirmelidir.



Şekil 4.2. Bilişsel yük teorisi şema gösterimi [103]

Bilişsel yükü ölçmek bu kavramı tanımlamak kadar önemlidir. Belirli görevlerin yerine getirilmesi sırasında fizyolojik sinyallerin ölçümü ile bilişsel yük arasında anlamlı bir ilişki vardır. Bu parametrelerden en etkili ve anlamlı olanı göz hareketleridir. Gözbebeği genişlemesinin artan bilişsel yük ile bağlantılı olduğu ve gözbebeği daralmasının azalan bilişsel yük ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. BYT’ de kullanılan bazı göz hareketine dayalı göstergeler aşağıda verilmiştir [12,106-108].

- Gözbebeği çapı ortalaması
- Gözbebeği çap sapması
- Sakkadik göz hareketi
- Gözbebeği Hippiusu

Göz hareketleri bilişsel süreçlerle etkileşime girerek bilgi işleme süreçlerini yönlendirmektedir. Bu çalışmada, bireysel özelliklere göre bilişsel yük etkisini araştırmak için göz hareketlerinden elde edilen sakkadik göz hareketleri, pupil çapı sapması, verilen görevleri tamamlama süreleri ve gözbebeği merkez pozisyonundaki değişikliğin standart sapması gibi parametreler ölçülmüştür [109].

Aşağıda, bilişsel yükü değerlendirmek için literatürde sıklıkla kullanılan bazı yaklaşımlar yer almaktadır [104, 110].

Duygusal ölçekler: Katılımcılara bilişsel görevlerin zorluk derecesi ve karmaşıklık seviyelerini değerlendiren anketler uygulanır.

Performans ölçütleri: Görev tamamlama süresi, doğruluk seviyesi veya hata sayısı gibi performans ölçütleri, bilişsel yükün belirleyicileri olabilmektedir.

Psikofizyolojik ölçümler: Elektroensefalogram (EEG), elektrokardiyogram (EKG), göz hareketleri veya deri iletkenliği gibi fizyolojik ölçümler bilişsel yükü tespit etmek için kullanılmaktadır.

Bu yaklaşımlar arasında fizyolojik ölçümlerin kullanıldığı çalışmalar, öznel olmaması ve sensör teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle daha popüler hale gelmiştir. GTS, bilişsel yükü tahmin etmek için çeşitli fizyolojik parametreler arasında daha çok öne çıkmaktadır. Uyarının genellikle kullanıcıya görsel olarak sunulması ve bunun sonucunda göz hareketlerinde belirgin değişiklikler gözlenmesi; GTS ile kullanıcı arasında fiziksel bir bağlantının bulunmaması; göz hareketlerinin diğer fizyolojik sinyal ölçümlerine göre daha kolay yorumlanabilmesi; GTS' nin maliyetinin kapsamlı bir EEG cihazı veya manyetoensefalografi (MEG) cihazı kadar olması; uygulamada uzmanlık gerektiren herhangi bir ön işlem gerektirmemesi gibi sebeplerden dolayı daha çok tercih edilmektedir.

4.1.1. Bilişsel yükün ölçülmesi

Bilişsel yük, doğrudan gözlemlenemeyen bilgi işlemenin dahili süreçlerini tanımlayan teorik bir yapı olarak ele alınabilir. Bununla birlikte, öğretim tasarımını bilgilendirmek üzere bu kavramı kullanmak için, bilişsel yükü değerlendiren geçerli ve güvenilir araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. BYT nesnellik (öznel veya nesnel) ve nedensel ilişki (doğrudan veya dolaylı) olmak üzere iki boyutta sınıflandırılabilir. Nesnellik boyutu, yöntemin öznel, kendi kendine bildirilen verileri mi yoksa fizyolojik koşullar veya performansa ilişkin nesnel gözlemleri mi kullandığını açıklar. Nedensel ilişki boyutu, ölçüm tarafından gözlemlenen olgunun ilişkili türüne ve ilgilenilen gerçek niteliğe göre yöntemleri sınıflandırır [110].

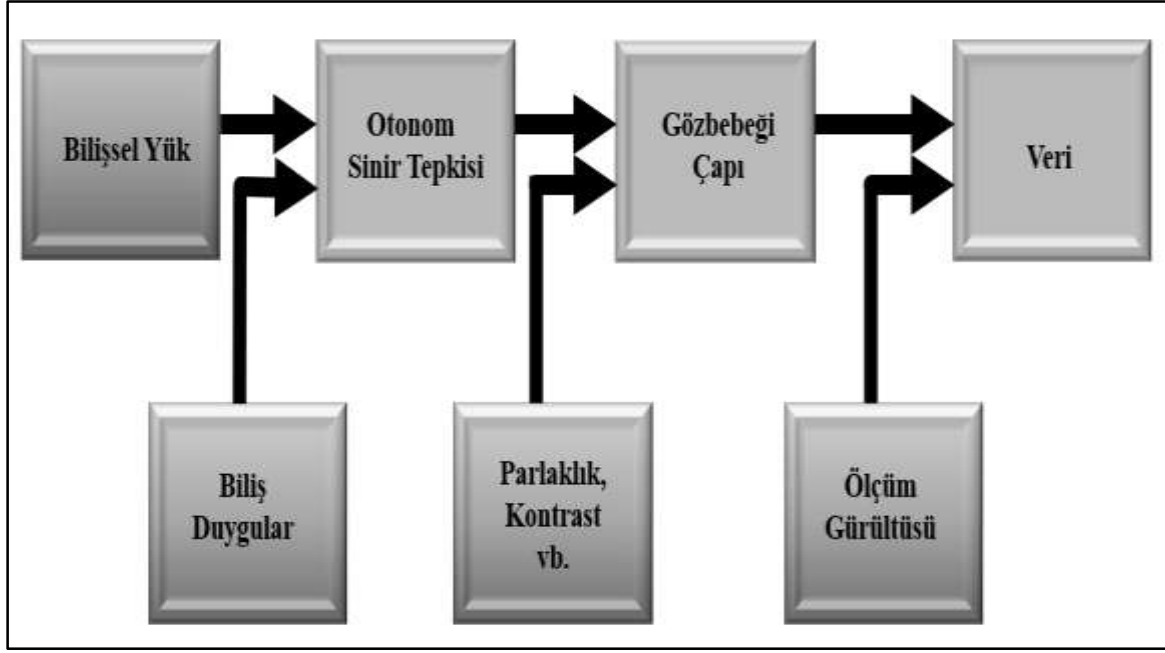
Bilişsel yük ölçüm teknikleri öznel, fizyolojik ve görev performansına dayalı olarak yapılabilir. Her kategori, bir dizi bireysel değerlendirme tekniğini bünyesinde barındırmaktadır. Öznel teknikler, insanların bilişsel süreçleri üzerinde iç gözlem yapabildikleri ve harcanan zihinsel çaba miktarını bildirebildikleri varsayımına dayanır. Tipik olarak, bu tekniklerde, deneyimlenen eforu veya kapasite harcamasını raporlamak için derecelendirme ölçekleri kullanılmaktadır.

Fizyolojik teknikler ise bilişsel olmayan işlevsellikteki değişikliklerin fizyolojik ölçümlere yansıdığı varsayımına dayanmaktadır. Bu teknikler, kalp atış hızı ve kalp atış hızı değişkenliği, beyin aktivitesi (örn., beyin uyarılmış potansiyeller) ve göz aktivitesi (örn., gözbebeği genişleme, göz kırpma hızı) ölçümlerini içermektedir. Göreve ve performansına dayalı teknikler ise öğrenci performansına dayalı olan birincil görev ölçümü ve birincil görevle aynı anda ikinci bir görev gerçekleştirildiğinde performansına dayalı olan ikincil görev metodolojisi şeklindedir. Bu teknikler, bilişsel yük hakkında bilgi elde etmek için nesnel görev özelliklerini ve performans düzeylerini (örneğin, farklı öğrenme süreleri, hatalar) kullanmaktadır [111-113].

Fizyolojik tekniklerde iş yüküne bağlı gözbebeği genişlemelerinin büyüklüğü genellikle 0,5 mm'den daha az ve toplu olarak sabit bir varyasyona neden olan ışık refleksleri, duygular ve diğer beyin aktivitelerinin neden olduğu aynı anda devam eden diğer gözbebeği değişikliklerinin büyüklüğünden daha küçüktür.

Bilişsel iş yüküne bağlı genişlemeler ile göz bebeği değişkenliği arasındaki büyüklük farkı artan bilişsel yükün herhangi bir örneğine verilen gözbebeği tepkisini diğer gözbebeği değişikliklerinin arka plan "gürültüsünden" ayırt etmeyi imkânsız kılar. Daha doğru görev kaynaklı sonuçlar ve gözbebeği değerlerini ölçmek için görevin birkaç tekrarından elde edilen ölçümleri birleştirmek gerekmektedir [114].

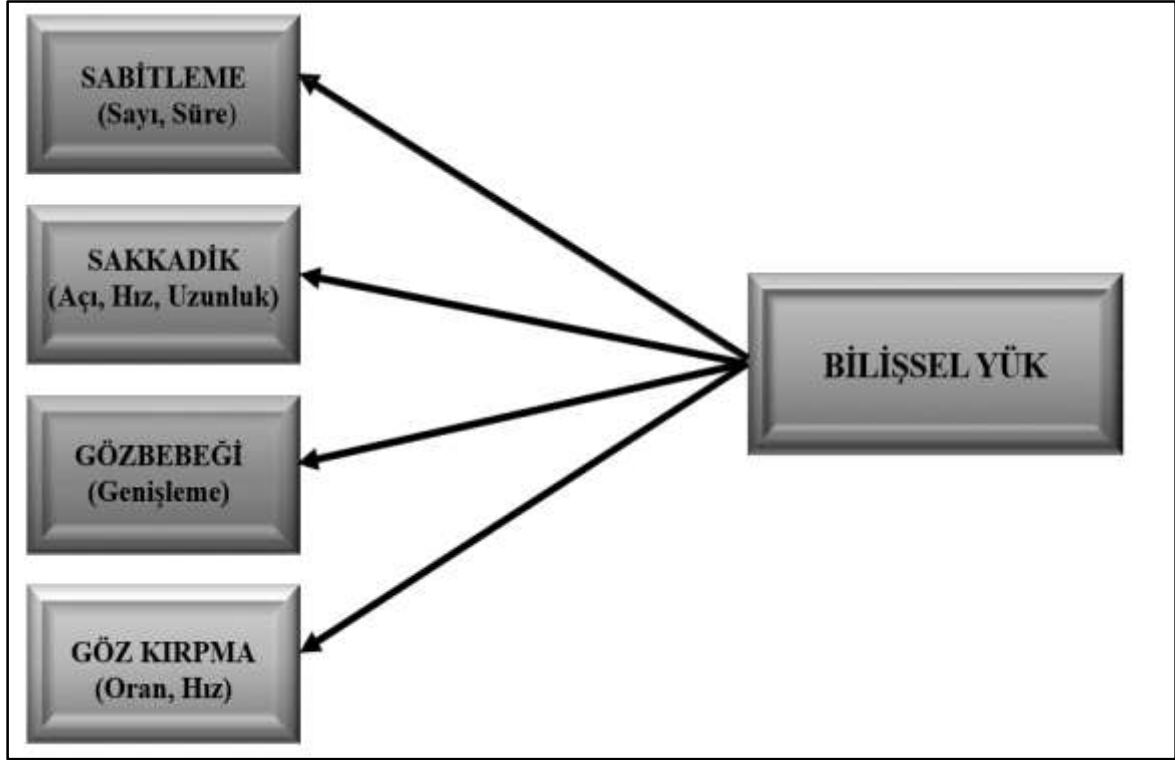
Bilişsel yükün ölçülmesi için gerekli gözbebeği çapı ölçümlerindeki ölçüm kaynakları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.3. BYT ve gözbebeği çapı ölçüm kaynakları [113]

Bilişsel süreçleri ve bilişsel yükü araştıran görsel ve işitsel görevler, e-öğrenme ve arayüzlerin görselleştirilmesi için biliş durumları ve göz izleme alanında çeşitli çalışmalar yapılmış olup istemli ve istemsiz göz hareketlerinin bilişsel yükü ölçmenin bir yolu olarak kullanılabileceği görülmüştür. Şekil 4.4'te göz hareketi tabanlı bilişsel yük ölçüm sistemine ait blok şema gösterilmektedir.

Bilişsel yükün dört göz hareketi sabitlemeler, sakkadlar, göz bebeği genişlemesi ve göz kırpma yönleri üzerindeki etkisini göstermektedir. İlgili model ile, elde edilen göz hareketleri üzerinden sinyallerin öğrenilip yorumlanması gerekmektedir. Bu yorum sonucunda operatöre ait bilişsel yük oranının gerçek zamanlı değişimi gözlemlenebilmektedir [115].



Şekil 4.4. Bilişsel yükün göze dayalı gösterge modeli [114]

Sabitleme (Fiksasyon): En yaygın göz izleme olayı olup gözün belirli bir süre hareketsiz kaldığı belli bir yere odaklanmış bir durumu ifade eder. Fiksasyon süresi bilişsel işlem seviyesiyle ilişkili olup yüksek fiksasyon süresi çalışma belleği üzerinde artan bir baskıya işaret etmektedir [114, 116-117].

Sıçrama (Sakkad): Başka bir göz izleme olayı olan sakkad ise iki konum arasındaki kaymayı ifade eder. Göz bir fiksasyondan diğerine istemli bir hareket yaptığında bu olaya sakkad denir. Sakkadların hızı ve uzunluğu ölçülebilmektedir. Sakkad hızındaki bir düşüş yorgunluğa işaret ederken hızdaki artışın daha yüksek bir görev zorluğuna işaret ettiğini tespit edilmiştir [117-118]. Sabitleme ve fiksasyon kavramları üçüncü bölümde detaylı şekilde anlatılmıştır.

Gözbebeği genişlemesi: Göz ile ilgili diğer bir ölçüm ise, gözbebeğinin yanıtıdır. Bu istemsiz bir refleks olup göz bebeğinin çapı 1/16 inç (1,5 mm) ila 1/3 inç (8 mm) arasında değişebilir. Psikologlar, yirmi yılı aşkın bir süredir, gözbebeği genişlemesindeki değişikliklerin zor olan bir bilişsel işleme eşlik ettiğini öngörmektedirler. Önceki

araştırmalar, görevin zorluğu ve bunu çözmek için bilişsel yük arttığında kullanıcıların gözbebeklerinin büyüdüğünü göstermiştir [117, 119-120].

Ortam karanlık olduğunda gözbebeği daha fazla ışık almak için genişler, ortam aydınlandığında ise küçülür. Deneylerde gözbebeği genişlemesi araştırıldığında çevresel parlaklığın ve ekran parlaklığının kontrol edilmesi çok önemlidir. Araştırılan görevlerin sonuna doğru gözbebeği çapında bir azalma gözlemlenmeye başlanması potansiyel bir yorgunluk işareti olarak yorumlanmaktadır. Bilişsel süreçlere ek olarak, ortamın parlaklığındaki değişimler gözbebeği büyüklüğünde önemli rol oynamaktadır [119, 121].

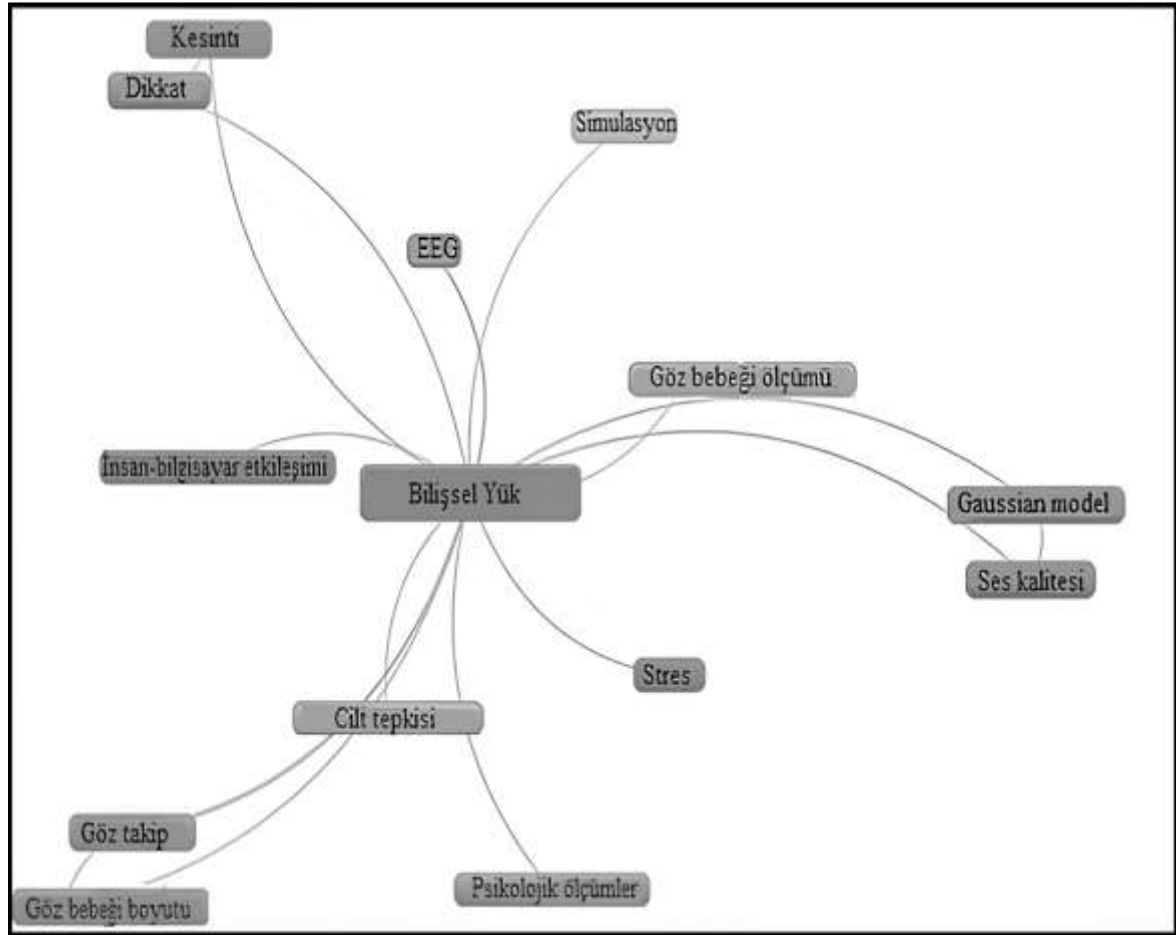
Göz kırpma: Göz kırpma etkinliklerinin hızı ve gecikmesi, kullanıcının bilişsel yükü hakkında bilgi sağlayan göz izleme ölçümlerinden biridir. Göz kırpma istemli olabildiği gibi çoğu zaman istemsiz bir harekettir. Göz kırpma hızı ve gecikmesi, katılımcıların dikkat durumu hakkında daha derin bir anlayış sağlamaya yardımcı olabilir. Örneğin, yüksek göz kırpma gecikmesi ve düşük göz kırpma hızının yüksek bilişsel çabayı gösterdiği bulunmuştur. Göz kırpma hızındaki azalma ve göz kapaklarının açıklığının azalmasının, artan yorgunluk belirtileri olduğu yapılan çalışmalarla bulunmuştur [117-118].

İncelenen göreve ve arayüzün içeriğine bağlı olarak, uygun sakkadik göz hareketlerini tahmin edebilir. Bir belgeyi okurken, okuyucunun metni ne kadar iyi anladığını bir tarama yolunun modellerinden anlamak mümkün olmaktadır. Belirli bir metin için gerçek sakkadik göz hareketlerini ideal seğirmelerle hizalamak, kullanıcının metni ne ölçüde anladığını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca, regresyon sayısı (kullanıcının okuma sırasında seğirme hareketleri) ve okuma hızı (okumanın başlama ve bitiş sabitlenmesi arasındaki süreye dayalı olarak) kullanıcıların bir metnine kadar anladığını göstermektedir [122].

Göz kırpmaları, göz sağlığı için dakikada sadece iki ila dört kez gerçekleşir. Göz kırpma farklı şekillerde olabilmektedir. Refleksif göz kırpma (koruyucu bir tepki, örneğin nefes veya hava), istemli göz kırpma (amaca yönelik bir yanıt, kişinin iradesiyle) ve endojen göz kırpma (bilinçsizce gerçekleşir). Göz kırpma davranışlarının çoğu, merkezi olarak kontrol edilen ve bilişle bağlantısı olan endojen göz kırpmalardır bu nedenle göz kırpma hareketi bilişsel yük tespiti için kullanılabilir [123-124].

Bilişsel yük kavramı ile ilgili olarak Web of Science veri tabanında 2008 yılından bu yana yapılan çalışmalar incelenerek Şekil 4.5'te gösterilen görselleştirilmiş bibliyometrik ağ çıktısı elde edildi. Bu literatür taraması çerçevesinde yaklaşık 4000 akademik araştırma makalesi kullanılmış olup bilişsel yük kavramı ile ilgili elde edilen 14 önemli anahtar kelimeden üçünün göz parametreleriyle (gözbebeği boyutu, göz takibi ve pupillometri) ilişkili olduğu görüldü.

Bilişsel yük için literatür incelemesinde elektrik-elektronik mühendisliği ve bilgisayar bilimi alanlarına odaklanıldı. Yapılan literatür taramasının bulgularına göre, bilişsel yük ile göz hareketleri arasında anlamlı ve faydalı bir ilişki olduğu görüldü.

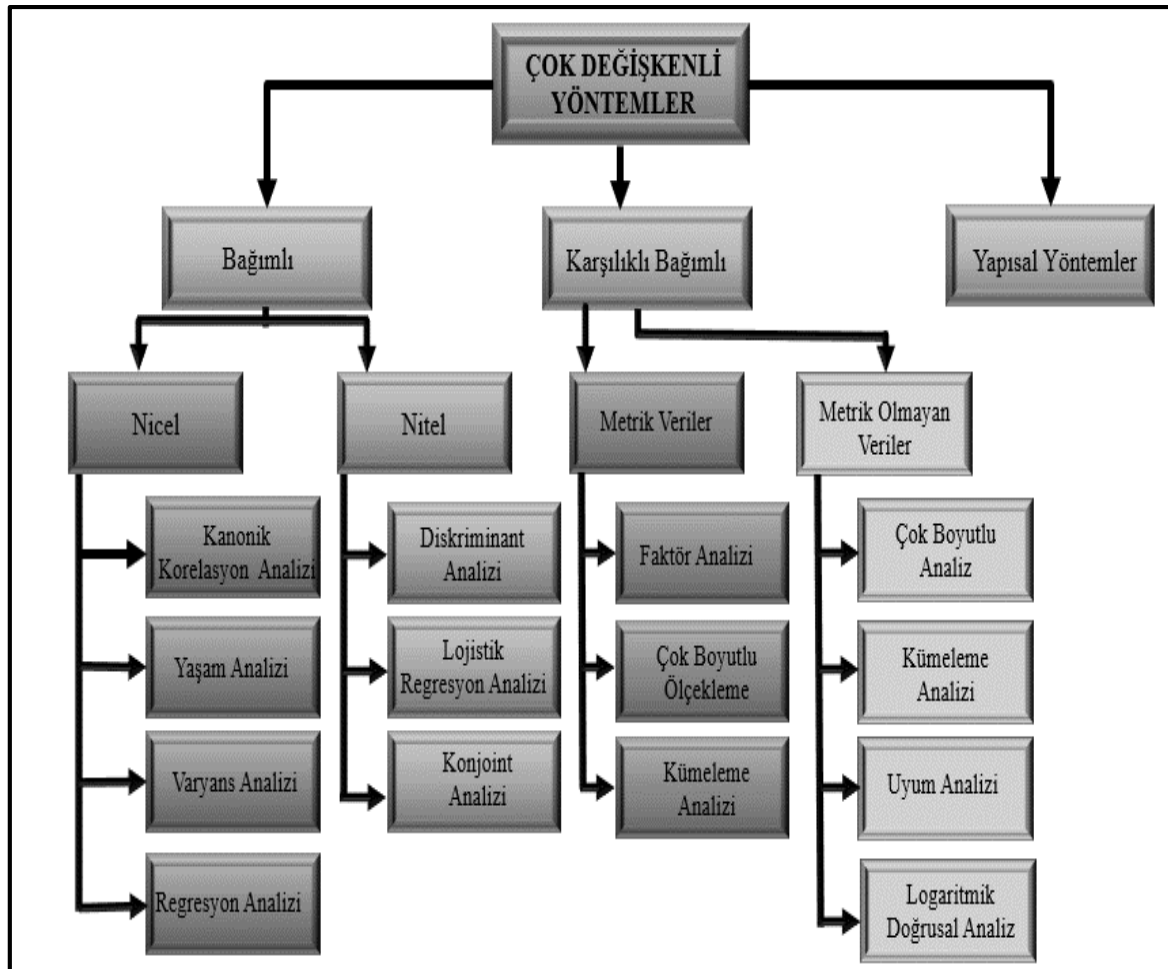


Şekil 4.5. Bilişsel yük ve görselleştirilmiş bibliyometrik ağ

4.2. Çok Değişkenli Yöntemler ve Kanonik İlişki Analizi

Bu çalışma kapsamında kullanılması amaçlanan matematiksel modelin oluşturulması için çok değişkenli bir analiz yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Çok değişkenli analiz yöntemleri, birçok gözlem veya değişken içeren veri setleri arasında mantıksal bir ilişki oluşturmaya olanak sağlamaktadır [125].

Çok sayıda değişken arasında anlamlı bir örüntü oluşturmak, problemlerin çözümü veya veri setinin ana örüntüsünün anlaşılması için verimli bir matematiksel model sağlamaktadır. Özellik çıkarma, ekonomi, tıp ve eczacılık bilimleri, çok değişkenli analitik analiz tekniklerinin sadece birkaç uygulama alanıdır [126,127]. Şekil 4.6’da çok değişkenli analiz yöntemlerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çok değişkenli analiz yöntemlerinin sınıflandırılması [126]

Bu çalışmada kullanılan veri seti çok sayıda değişken içerdiğinden çok değişkenli bir analiz yöntemine ihtiyaç duyuldu. Bu nedenle, çok değişkenli analiz yöntemlerinde sıklıkla kullanılan, çıktılarını anlamak ve değerlendirmek için yararlı olan kanonik korelasyon analizi (KKA) yaklaşımı seçildi.

4.2.1. Kanonik korelasyon analizi (KKA)

İki çok değişkenli değişken seti arasındaki ilişkiyi belirlemek ve değerlendirmek için sıklıkla kullanılan çok değişkenli analiz aracıdır [128]. Temel bileşen analizi veya doğrusal diskriminant analizi gibi boyut azaltma uygulaması olarak da kullanılabilir. KKA'nın temel amacı, iki veri kümesi arasındaki doğrusal ilişkiyi en üst düzeye çıkaran kanonik katsayıları keşfetmektir [129]. H. Hotelling, 1936'da literatürde KKA'yı önermiş ve yayınlamıştır o zamandan günümüze istatistik, biyometri, meteoroloji, epidemiyoloji ve diğer birçok disiplinde kullanılmaktadır [130].

KKA, gözlemler arasındaki ilişkiyi analiz etmek ve anlamlandırmak için tıp, eğitim, ekonomi ve mühendislik dahil olmak üzere birçok farklı sektörde de sıklıkla kullanılmaktadır. KKA bu çalışmada iki farklı veri seti arasındaki ilişkinin anlamlılığını ve bu ilişkiyi etkileyen alt bileşenlerin birbirlerine oranını analiz etmek için kullanıldı. Bu veri setlerinden biri bilişsel yük faktörlerini içerirken, diğeri programcılarının kişisel parametrelerini içermektedir. Çok değişkenli regreasyon analizi " $x_1, x_2, \dots, x_i$ " girdi parametreleri ile tek değişken " y " arasındaki en iyi doğrusal ilişkiyi sağlayacak katsayı değerleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

KKA yaklaşımı bu ilişkiyi çok sayıda girdi (x_1, x_2, x_i) ve çıktı (y_1, y_2, y_j) , üzerinden inceleyerek, iki çok değişkenli veri seti arasındaki korelasyonu maksimize edecek en uygun katsayılardan oluşan parametreler yardımıyla analiz gerçekleştirilir [131]. Kanonik değişkenler, bu iki veri seti arasındaki korelasyonu optimize eden ve birbirine göre en iyi doğrusal ilişkiyi tanımlayan parametrelerdir. Girdi verilerine göre bu doğrusal ve optimal ilişkinin kurulmasını sağlayan katsayılar kanonik ağırlıklar olarak tanımlanır.

Girdi veri kümeleri, kanonik ağırlıklar (b_i, a_i) ve kanonik değişkenler (V_i, U_j) arasındaki ilişki Denklem 1 ve 2'de verilmiştir.

$$V_1 = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_ix_i \quad (4.1)$$

$$U_1 = a_1y_1 + a_2y_2 + a_3y_3 + \dots + a_iy_i \quad (4.2)$$

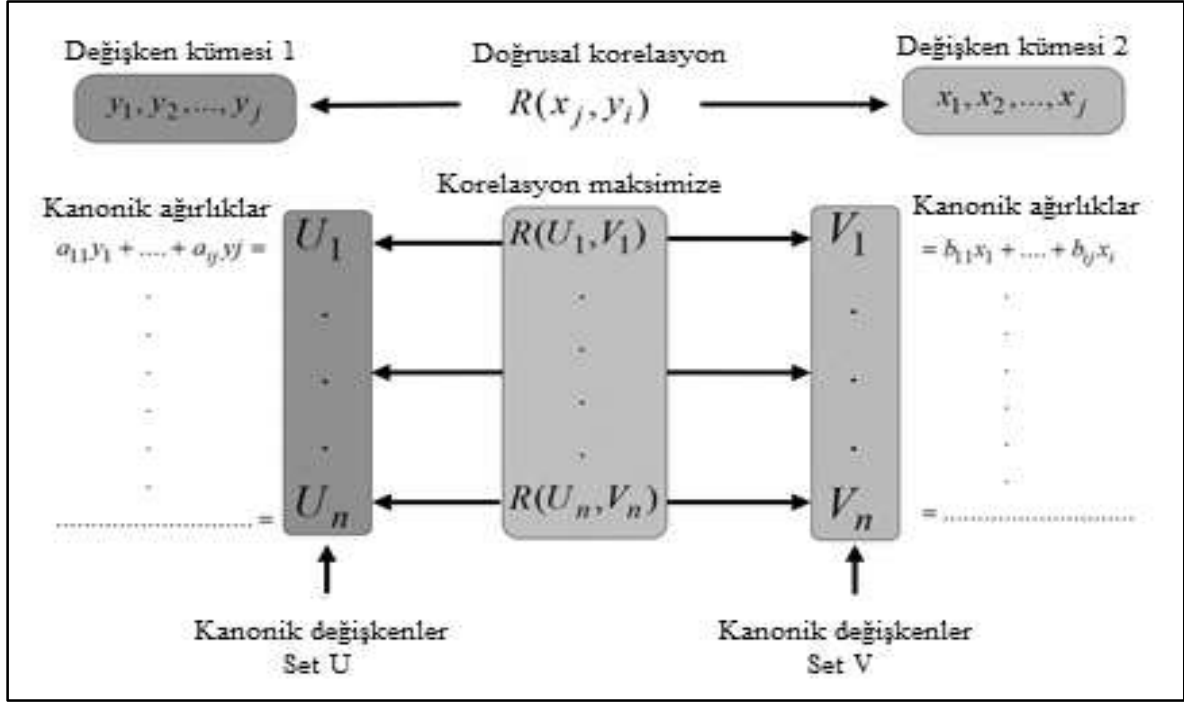
KKA yaklaşımında veri setlerinin büyüklüğüne bağlı olarak kanonik değişkenler elde edilmekte ve bu değişkenlere ilişkin kanonik korelasyon katsayısı (R) değerleri elde edilmektedir.

Kanonik korelasyon için önemli olan kanonik değişkenlerin elde edilebilmesi ve veri setleri arasında doğrusal bir ilişki sağlanabilmesi için Denklem 3 ve 4'teki özdeğer probleminin çözülmesidir. X ve Y kanonik korelasyon analizinde kullanılan veri setlerini, C_{xy} ise bunlar arasındaki kovaryansı temsil etmektedir.

$$R = \frac{E[U_x V_y]}{E[U_x^2]E[V_y^2]} \quad (4.3)$$

$$R = \frac{E[a^T X Y^T b]}{\sqrt{E[a^T X Y^T a]E[b^T Y Y^T b]}} = \frac{a^T C_{xy} b}{\sqrt{a^T C_{xx} a b^T a^T C_{yy} b}} \quad (4.4)$$

KKA'nın şematik bir gösterimi, kanonik değişkenler, katsayılar ve diğer parametrelerle birlikte Şekil 4.7' de verilmiştir [132].



Şekil 4.7. KKA'nın parametrelerle şematik diyagramı [132]

KKA sayesinde yüksek korelasyon katsayısından düşük korelasyon katsayısı değerine doğru kanonik değişken çiftleri elde edilir. Analiz sonucunda elde edilen kanonik değişken çiftlerinin anlamlılığını test etmek için çeşitli parametreler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki korelasyon katsayısı, ikincisi ise Wilk's lambda testidir. Denklem 5' te verildiği gibi korelasyon katsayısı üzerinden hesaplanan Wilk's lambda testi, elde edilen kanonik korelasyon katsayıları ve kanonik değişkenler hakkında ön bilgi sağlamanın yanı sıra önemleri hakkında da bilgi vermektedir. Ayrıca, türetilen kanonik değişkenlerin anlamlılığını incelemek için F-statik, serbestlik derecesi ve ki-kare (χ^2) testi gibi çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır [133].

$$\Lambda = \prod (1 - R_i^2) \quad (4.5)$$

Programlama sürecinde bilişsel yüke etki eden değişkenler belirlenirken çeşitli nedenlerden dolayı KKA yaklaşımı tercih edildi. İlk olarak, ilişkinin önemini ve oranını doğru bir şekilde analiz etmemizi sağlaması, ikinci olarak aradaki ilişkinin görselleştirmeye uygun olması ve son olarak bu çalışma için oluşturulan değişkenlerin veri setinin KKA yaklaşımı için ideal olmasıdır.

4.2.2. Kanonik korelasyon analizinin amacı

Kanonik korelasyon analizinin hedefleri maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Aynı kişiden elde edilen iki değişken grubun sayısal olarak birbirinden özerk olup olmadığının tespit edilmesi,
- Gruplar arasındaki ilişkiyi en çok etkileyen değişkenlerin tespiti,
- Bağımsız ve bağımlı değişken gruplarındaki en yüksek ilişkiyi sağlayan lineer kombinasyonların belirlenmesi,
- Değişken kümelerinden birtanesinin diğer bir değişken kümesi tarafından ne ölçüde türetilmiş olduğunun saptanması,
- Bir kanonik değişkenin dahil olduğu veya dahil olmadığı değişken kümesinin açıklama kapasitesine hangi ölçüde katkıda bulunduğunun değerlendirilmesi,
- Çeşitli kanonik fonksiyonların birbirleriyle ilgisini açıklamak ya da öngörülen etkinin ne derece olduğunun tespit edilmesidir [134].

4.2.3. Kanonik korelasyon analizi temel kavramları

Kanonik korelasyon analizinde kullanılan temel kavramlar aşağıdaki gibi olmaktadır.

Kanonik korelasyon katsayısı: İki değişken arasındaki korelasyon katsayısı, bu değişkenler arasındaki ilişkinin bir ölçüsü olarak açıklanmaktadır [135].

Kanonik ağırlıklar: Kanonik ağırlıklar, kanonik korelasyon analizinin açıklanmasında kullanılmaktadır. Kanonik ağırlıklar, orijinal değişkenlerin her birinin kanonik değişkene etki derecesini gösterir ve regresyon denklemindeki beta katsayılarının anlamlandırılmasına benzer özelliktedir [136].

Kanonik yükler: Kanonik fonksiyonların analizleri için, her bir değişkenin kendi kanonik ağırlık ve işaretleri incelenmelidir. Orjinal değişkenler ile kanonik değişkenler arasındaki basit korelasyon katsayılarına kanonik yükler adı verilmektedir [137].

Kanonik değişken: İki değişken grubun lineer bileşenler türünden ifade edilmesiyle oluşan değişkenlerdir.

Kanonik fonksiyon: Biri bağımlı diğer bağımsız olmak üzere iki kanonik değişken arasındaki korelasyonu gösterir. Her kanonik fonksiyon iki kanonik değişken ile gösterilir. Kanonik çapraz yükler bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlerden elde edilen kanonik değişkenlerle ve bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerden elde edilen kanonik değişkenlerle arasındaki korelasyonu ifade etmektedir.

Kanonik kök: Kanonik korelasyon katsayısının karesine denmektedir. Karakteristik (öz) değer olarak da bilinmektedir.

Açıklanan varyans: Her değişken grubundaki kanonik yüklerin, orijinal değişken grubundaki değişkenliğin yüzdesel olarak gösterimidir.

Belirleme indeksi: Bu kavram, kanonik yükler tarafından bağımsız değişken grubu için elde edildiğinde, bağımlı gruptaki varyansın açıklanan kısmını, aynı şekilde bağımlı değişken grubu için elde edildiğinde ise bağımsız gruptaki varyansın açıklanan kısmını izah etmeye yardımcı olmaktadır [138-141].

4.2.4. Çoklu korelasyon analizi

Araştırmalarda bazen bir seri ile ikiden fazla seri arasındaki ilişkinin eşzamanlı olarak ölçülmesi istenir ise, “Çoklu Korelasyon Katsayısı” kullanılır. X_1 , X_2 ve X_3 serileri verilmişken, $(\rho_{23}, \rho_{13}, \rho_{12})$ sırasıyla X_2 ile X_3 ; X_1 ile X_3 ; X_1 ile X_2 serileri arasındaki korelasyon katsayılarını göstermek üzere, X_1 , X_2 , X_3 serileri arasındaki çoklu korelasyon katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho_{1.23} = \sqrt{\frac{\rho_{12}^2 + \rho_{13}^2 - 2\rho_{12}\rho_{13}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2}} \quad (4.6)$$

$$\rho_{2.13} = \sqrt{\frac{\rho_{21}^2 + \rho_{23}^2 - 2\rho_{21}\rho_{23}\rho_{13}}{1 - \rho_{13}^2}} \quad (4.7)$$

$$\rho_{3.12} = \sqrt{\frac{\rho_{31}^2 + \rho_{32}^2 - 2\rho_{31}\rho_{32}\rho_{12}}{1 - \rho_{12}^2}} \quad (4.8)$$

Çoklu korelasyon katsayısının değer aralığı ve yorumu basit korelasyon katsayısından farklıdır. Çoklu korelasyon katsayısı, ikinci grup serilerin birinci seri üzerindeki doğru veya ters yönlü toplam etkilerini yüzde olarak ifade eder ve değişim aralığı 0' dan 1' e kadardır. Örneğin X_1 serisi ile X_2, X_3 serileri arasındaki $\rho_{1.23}$ çoklu korelasyon katsayısı için değer aralıkları aşağıdaki gibi olmaktadır [139, 142]

$\rho_{1.23} = 0$ ise ilişki yok,

$\rho_{1.23} < 0.5$ ise ilişki zayıf,

$\rho_{1.23} > 0.5$ ise ilişki kuvvetli,

$\rho_{1.23} = 1$ ise ilişki tam olarak değerlendirilmektedir.

4.2.5. Regresyon analizi (Regression Analysis)

Bu analiz yöntemi ile değişkenler arasındaki ilişkiler incelenebilmektedir. İki değişken arasındaki ilişki, bunların değerlerinin karşılıklı değişimleri arasındaki bağıllık şeklinde açıklanabilmektedir. X değerleri değişirken buna bağlı olarak Y değişkeninin değerleri de değişiyorsa, bu ikisi arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Regresyon analizinde değişkenlerin bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler olarak iki gruba ayrılması gerekmektedir.

Bağımlı değişken, bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaya çalışılan değişken türüdür. Regresyonda bağımlı değişken Y ve bağımsız değişkenler de X ile gösterilmektedir. Regresyon analizi ile eldeki verilerden yola çıkılarak bilinmeyen değişkenlerle ilgili olarak çeşitli varsayımlar yapılabilmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki bağlantı kurulduktan sonra, bağımsız değişkenin sonucu bilinirse bağımlı değişkenin sonucu da buna bağlı olarak tahmin edilebilmektedir [143-145].

4.2.6. Yaşam analizi (Survival Analysis)

Yaşam analizi, belirli bir başlangıç noktasından itibaren kaydedilen ve belirli bir olayın gerçekleşmesine kadar geçen süreleri inceleyen bir veri analiz yöntemidir. Mühendislikte güvenilirlik analizi (reliability analysis), ekonomide süre analizi (duration analysis), sosyolojide olay geçmişi analizi (event history analysis) olarak isimlendirilmektedir. Bu analizde olayın, izleme süresi boyunca mutlaka zorunlu olarak izlenmiş olması şart değildir. Yaşam analizinde öne çıkan önemli bir özellik, diğer veri türlerinde rastlanmayan durdurmanın (censoring) bulunmasıdır. Bu analizde temel iki önemli kavram karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, yaşam analiz eğrisi ve hazard hızıdır. Önceden meydana gelmemesi şartıyla, yaşam analiz eğrisi belirli bir zaman aralığı boyunca hayatta kalan birey sayısını ifade ederken, hazard hızı, incelenen olayın gerçekleşme riskini zamanın bir fonksiyonu olarak sunmaktadır [145,146].

4.2.7. Varyans analizi (Variance Analysis)

Varyans analizi (VA), genellikle kategorik faktörlerin (çoğunlukla nominal düzeydeki sınıflandırma değişkenleri) belirlediği koşullar altında ölçülen bir yanıtta (sürekli rastgele değişken) değişkenliği incelemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Hiyerarşik bir modelde etkilerin gruplandırılmasının varyans analizi tablosunun satırlarında tam bir karşılığı bulunmaktadır. Genellikle, gruplar arasındaki varyansı tekrar gruplar içindeki varyansla karşılaştırarak çeşitli ortalamalar arasındaki eşitliği test etmek için kullanılmaktadır [147].

4.3. Metot ve Deneysel Sonuçlar

4.3.1. EMIP veri seti

Programcılarının programlama süreçlerindeki bilişsel yükleri analiz edilirken EMIP veri setinden yararlanılmıştır. EMIP veri seti farklı deneyim süresi, çalışma sıklığı, cinsiyet, dil ve yaşa sahip 216 kişiyi içermektedir. Farklı anadillere sahip İngilizce yeterlilikleri belli bir seviyede olan, 41'i kadın, 175'i erkek olan büyük bir veri setidir [148].

EMIP veri seti iki farklı kod anlama görevi sürecinde programcılarının çeşitli göz hareketlerini içermektedir. Bu veri seti oluşturulurken SMI RED250 göz takip cihazı kullanılmıştır. İlgili göz takip cihazı 250 Hz. yüksek örnekleme hızına ve $<0,4^\circ$ doğruluk değerine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yüksek hızlı göz hareketlerinin tespiti için de uygundur.

EMIP veri seti, Java, Python ve Scala'da oluşturulmuş olan "Dikdörtgen" ve "Araç" adlı iki kod programı içermektedir. İlk program kodu, yüksekliğe ve genişliğe bağlı dikdörtgen alanı ile ilgili olup, diğer program kodu ise araç üreticisi, tipi ve hızı ile ilgilidir. Dikdörtgen ve araç bilgileri içeren çoktan seçmeli kod soruları katılan programcılara gösterilmiş ve daha sonra karşılırlarına çıkan ekranda birden fazla seçenek arasından bu kodların işlevini doğru bir şekilde cevaplamaları beklenmiştir [149, 150].

Çizelge 4.1. EMIP veri setine ilişkin özellikler

Parametreler	Değer
Erkek Sayısı	175
Kadın Sayısı	41
Ortalama (Yaş)	26.560
Standart Sapma (Yaş)	9.276
Ortalama (Programcılıkta Deneyim Süresi-Yıl)	2.259
Standart Sapma (Programcılıkta Deneyim Süresi-Yıl)	3.342

Çizelge 4.2. EMIP veri seti sayısal veriler

Yaş Aralığı	İngilizce Seviyesi	Görsel Yardım
17-25 Yaş: 121	Yüksek:123	Lens:17
25-35 Yaş: 68	Orta:89	Gözlük:74
35-45 Yaş:13	Düşük:4	Normal:125
45+ Yaş:14		

Çizelge 4.3. EMIP veri seti anadil verileri

Anadiller		
1 Arabic	8 Hebrew	1 Ukrainian
4 Chinese	3 Hindi	1 Thai
2 Czech	21 Italian	1 Turkish
1 Egyptia	1 Italian English	4 Telagu
62 English	1 Marathi	1 Tamil
1 English Hebrew	2 Nepali	1 Tagalog
17 Finnish	1 Norwegian	2 Swedish
10 German	1 Persia	3 Spanish
2 Greek	2 Portuguese	57 Slovak
1 Punjabi	1 Russian Hebrew	

Çizelge 4.4. EMIP veri seti diğer veriler

Uzmanlık Programı	Uzmanlık Düzeyi	Uzmanlık Yılı
Java	Yüksek:123	0-2 Yıl :114
Python	Orta:89	2-4 Yıl: 64
Scala	Düşük:4	4-6 Yıl: 26
	Yok: 30	6 Yıl +: 1

Çizelge 4.5. EMIP veri seti sorular

Dikdörtgen Sorusu	Taşıt Sorusu
Doğru cevaplayan: 152	Doğru cevaplayan:50
Yanlış cevaplayan: 64	Yanlış cevaplayan:166

Literatürde ilgili çalışmalar incelendiğinde bilişsel yük ile göz hareketleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görüldü. EMIP veri setini oluşturan bilgisayar programcılarının kişisel parametreleri bu çalışmada bağımsız değişkenler olarak kullanıldı [150].

Yapılan çalışmada bağımlı değişkenler olarak göz hareket verilerinden yararlanıldı. Bu verileri zamana göre modelleyen parametreler tercih edildi [127,129]. Bilgisayar programcılarının kişisel parametreleri ile bilişsel yük arasında anlamlı bir ilişki oluşturmak için Çizelge 4.6' da verilen değişkenler kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Bağımsız ve bağımlı değişkenler

Bağımsız Değişkenler	Bağımlı Değişkenler
1. Yaş 2. Dilsel Mesafe 3. İngilizce Seviyesi 4. Deney Dilinde Uzmanlık Düzeyi 5. Deney Dilinde Deneyim Süresi 6. Deney Dilindeki Sıklık 7. Programlamada Deneyim Süresi 8. Diğer Dilde Sıklık 9. Programlamada Uzmanlık Düzeyi 10. Cinsiyet	1. Göz hareketlerinin tepe oranları 2. Göz hareketinin standart sapması 3. Gözbebeği yarıçapı değişikliğinin standart sapması 4. Toplam Süre

Çizelge 4.7. Katılımcı verileri

1. Yaş 2. Cinsiyet 3. Anadil 4. İngilizce Seviyesi (yok/düşük/orta/yüksek) 5. Genel Programlama Uzmanlığı (yok/düşük/orta/yüksek) 6. Java /Python /Scala konusunda uzmanlık (yok/düşük/orta/yüksek) 7. Ne zamandır programlama yapıyorlar (yıl) 8. Java/Python/Scala ne zamandır programlama yapıyorlar (yıl) 9. Java/Python/Scala dışındaki herhangi bir programlama dilini kullanma sıklığı 10. Bildikleri diğer programlama dilleri 11. Gözlük veya kontak lens kullanımı 12. Göz makyajı yapmaları

Çizelge 4.8. Katılımcıların göz hareket verileri

1. L Raw X(px): Yatay gözbebeği pozisyonu (sol göz)
2. L Raw X(px): Dikey gözbebeği pozisyonu (sol göz)
3. R Raw X(px): Yatay gözbebeği pozisyonu (sağ göz)
4. R Raw Y(px): Dikey gözbebeği pozisyonu (sağ göz)
5. L Dia X (px): X ekseninde piksel cinsinden gözbebeği çapı (sol göz)
6. L Dia Y (px): Y ekseninde piksel cinsinden gözbebeği çapı (sol göz)
7. L gözbebeği çapı mm: Göz bebeği çapı mm sol göz
8. R Dia X (px): Göz bebeği çapı X eksenini piksel olarak (sağ göz)
9. R Dia Y (px): Göz bebeği çapı Y eksenini piksel olarak (sağ göz)
10. R gözbebeği çapı mm: Göz bebeği çapı mm sağ göz
11. L CR2 Y (px): dikey kornea refleksi pozisyonu (sol göz)

EMIP veri setinde, bazı veriler kategorik olarak tanımlandığından programcılar ana dili gibi önem arzeden parametrik değerlerinin çok değişkenli analiz işlemleri için dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için bir dilin veya lehçenin diğerlerinden farklı olduğunun bir ölçüsü olan dilsel mesafe kavramı kullanıldı.

Bu dilsel dönüşümü gerçekleştirmek için dilbilim alanında çok sayıda katılımcının yer aldığı bir çalışmanın sonuçlarından yararlanıldı. İlgili çalışma, Amerikalıların yabancı dil öğrenirken karşılaştıkları zorluklara odaklanmakta ve İngilizce ile diğer diller arasındaki mesafenin niceliksel bir ölçüsünü geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma için gerekli dilsel mesafenin, kategorik verilerden skaler verilere dönüşümü Çizelge 4.9' da verilmiştir [151].

Çizelgede EMIP veri setinden bazı örnek dillerin dilsel mesafe puanları görülmektedir. Çizelgeye göre Çince, İngilizceye en uzak, İtalyanca ise en yakın dil olarak görülmektedir. EMIP veri seti geliştirilirken kod anlama testleri ve programlama dili komut setleri İngilizce olarak oluşturulduğundan dilsel mesafe bu çalışma için büyük bir önem arz etmektedir.

Çizelge 4.9. Farklı dillerin İngilizceye olan dilsel uzaklığı

Kategorik Veriler (Dil)	Skaler Veriler (Dil Puanı)
Almanca	2.25
İtalyanca	2.5
Portekizce	2.5
İspanyolca	2.25
Fince	2.00
Türkçe	2.00
Yunanca	1.75
Taylandca	2.00
Çince	1.50

Programcıların kod anlama görevleri için kullanılan dikdörtgen ve araç soruları ile bunlara ait çoktan seçmeli olarak cevaplayacakları seçenekler sırasıyla Resim 4.1' de ve 4.2' de verilmiştir [149].

```

public class Rectangle {
    private int x1, y1, x2, y2;
    public Rectangle ( int x1, int y1, int x2, int y2) {
        this.x1=x1;
        this.y1=y1;
        this.x2=x2;
        this.y2=y2;
    }

    public int width() {return this.x2-this.x1;}
    public int height() {return this.y2-this.y1;}
    public double area() {return this.width()*this.height();}
    public static void main() (String[] args) {
        Rectangle rec1=new Rectangle ( 0, 0, 10, 10 );
        System.out.println(rec1.area());
        Rectangle rec2=new Rectangle ( 5, 5, 10, 10 );
        System.out.println(rec2.area());
    }

```

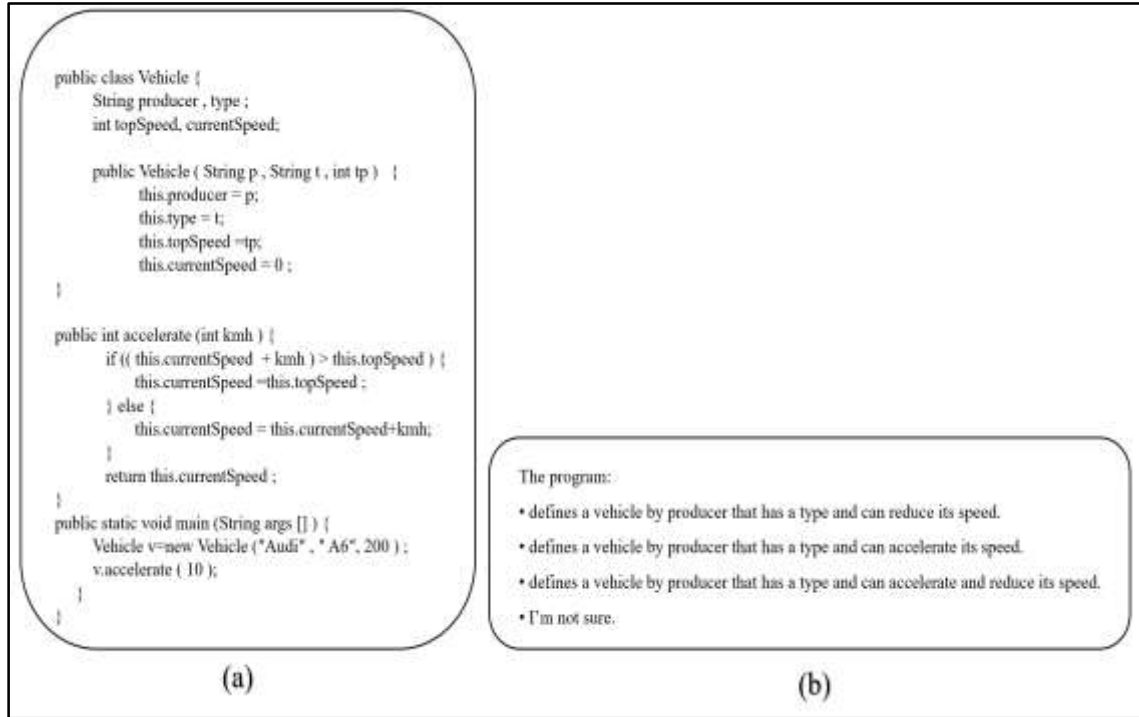
(a)

The program:

- computes the area of rectangles by multiplying their width (x1-x2) and height (y1-y2).
- computes the area of rectangles by multiplying their width (x2-x1) and height (y2-y1).
- computes the area of rectangles by multiplying their width (x1-y1) and height (x2-y2).
- I'm not sure.

(b)

Resim 4.1. Dikdörtgen kod anlama görevi (a) Java kodu (b) Dikdörtgen için cevaplar



Resim 4.2. Araç sınıfı kod anlama görevi (a) Java kodu (b) Araç için çoktan seçmeli cevaplar

Göz hareketlerini tespit etmek için kullanılan cihazın yüksek örnekleme hızına sahip olması sakkadik olarak tabir edilen çok hızlı göz hareketlerinin tespiti içinde kolaylık sağlamaktadır. Sakkadik göz hareketleri bilişsel yük tespitinde önem arzeden göz hareketlerinin başında gelmektedir. Sakkadik göz hareketi, bakışın odağının görsel alanın bir bölgesinden diğerine taşındığı hızlı, eşlenik göz hareketidir. Bu yüzden sakkadik göz hareketlerini belirlemek için gözün hızlı hareketlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu hızlı hareketlerin tespiti için bu çalışmada göz bebeğinin koordinatlarının değişimi kullanıldı. Koordinat değişimlerinden sakkadik göz hareketlerini belirlemek için z-skoru tabanlı tepe noktası tespit yöntemi tercih edildi. Denklem 9' da formülü verilen Z-skor genellikle verilerin normalizasyon işleminde kullanılmaktadır [152].

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (4.9)$$

Burada $\bar{x}$ vektörün ortalaması, σ_x ise vektörün standart sapmasıdır. Z-skor tabanlı tepe tespit algoritmasında, önceki verilerin vektör üzerindeki etkisi önemli ve yararlıdır. Bu nedenle, z-skor tabanlı tepe tespiti fizyolojik sinyal işleme, ses işleme, genetik ve akışkanlar dinamiği gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Z-skor tabanlı tepe noktası tespit sürecine ilişkin

denklemler 10, 11 ve 12 'de verilmiştir. Sinyalin belirli bir kısmının ortalama ve standart sapması Denklem 10' a göre hesaplanmıştır. İlgili yaklaşım bir tepe tespiti yaklaşımı olduğundan etkili ve anlamlı bir eşiklemeye ihtiyaç duymaktadır [153].

$$\bar{s}_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^{i+l} s_i \quad \sigma_{s_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i+l} (s_i - \bar{s}_i)^2}{l-1}} \quad (4.10)$$

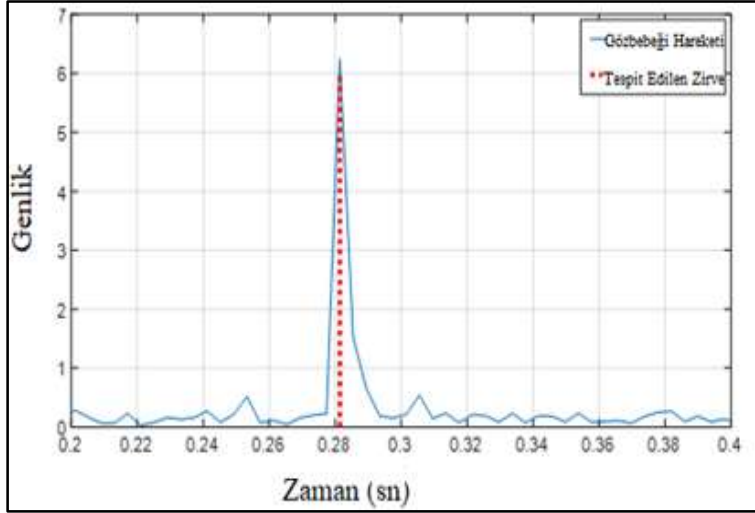
$$s_i = i_n x_i + (1 - i_n) s_{i-1} \quad z_i = \frac{s_i - \bar{s}_{i-1}}{\sigma_{s_{i-1}}} \quad (4.11)$$

$$th_s = \text{sabit} \quad y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } |z_i| \geq th_s \\ 0 & \text{if } |z_i| < th_s \end{cases} \quad (4.12)$$

Burada th_s eşik değeri, l gecikme değeri olup. i_n ise etki faktörüdür. Etki faktörü 0 ile 1 arasında değişebilmekte ve sinyalin önceki değerleri ile yeni değerleri arasındaki etkiyi tanımlamaktadır.

Düşük bir eşik değeri sinyaldeki gürültünün tepe noktası olarak tanımlanırken, yüksek bir eşik değeri gerçek tepe noktalarının tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Gecikme değeri, tepe noktası tespit analizi olarak kullanılacak gözlem ekranı boyutunu göstermektedir.

Yüksek gecikme, algoritmanın hassasiyetini azaltırken düşük gecikme, sinyaldeki gürültünün tepe değeri olarak belirlenmesine neden olmaktadır. Bu çalışma için, göz bebeği koordinatlarından sakkadik göz hareketlerinin tespiti için z-skor tabanlı tepe tespit algoritmasının parametreleri, sinyal gürültü oranını optimize etmek ve gürültü sinyallerinin tepe noktası olarak algılanmasını önlemek için deneysel olarak belirlendi ve ilgili parametreler $th_s = 5$, $l = 5$, ve $i_n = 0.5$ olarak seçildi. EMIP veri setindeki göz hareketlerinden z-skor tabanlı tepe tespit yöntemi ile elde edilen tepe noktalarına ait örnek çıktı grafiği Şekil 4.8' de verilmiştir.

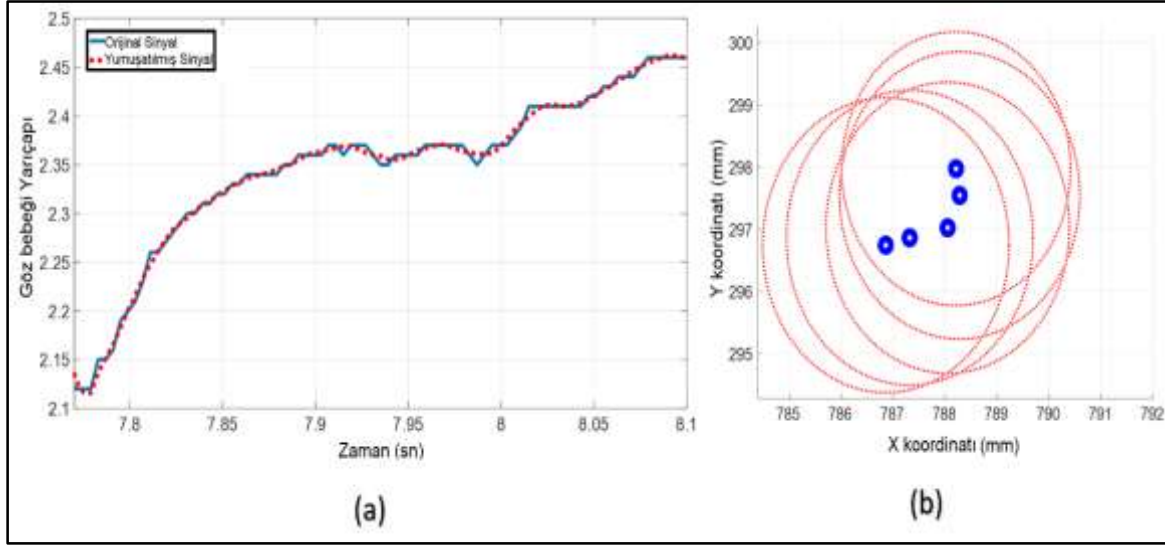


Şekil 4.8. Göz bebeğinin hareketi ve z-skor ile tespit edilen sakkadik hareket

Göz hareketleriyle ilgili ölçüm sinyallerini yumuşatmak için polinom uydurma tabanlı sonlu dürtü yanıtı (SDY) olan yumuşatma filtresi Savitzky-Golay filtreleme kullanıldı. Savitzky-Golay filtresini gerçekleştirmek için bir çerçeve boyutu belirlenmeli, uydurulacak polinomun derecesi tanımlanmalı ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak veri noktaları üzerinden düşük dereceli bir polinom uydurulmalıdır [154].

Genel olarak Savitzky-Golay filtreleri sinyal gürültü oranı (SGO) açısından standart filtrelere göre daha iyi bir performans göstermektedir. Bu nedenle literatürde elektroensefalogram (EEG), elektrokardiyografi (EKG) ve elektromiyografi (EMG) gibi fizyolojik sinyallerdeki gürültü oranını azaltmak için de sıklıkla tercih edilmektedir [155].

Göz hareket verilerinden elde edilen göz bebeği çapı ve konumunun zaman içindeki değişimi şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekilde dış kısımda görülen büyük daireler göz bebeğinin çapını temsil ederken, ortadaki daireler göz bebeğinin merkez koordinatını temsil etmektedir.



Şekil 4.9. Gözbebeği çapının ve merkez koordinatının zamanla değişimi (a) Çap değişimi (b) Koordinat değişimi

4.4. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada bilişsel yükü tespit etmek için kullanılan göz hareket verileri ile programcılarının kişisel parametreleri arasında anlamlı ve yorumlanabilir bir ilişki kurabilmek için kanonik korelasyon analizi yöntemi kullanıldı. Göz hareket verileri ön işlem olarak z-skor normalizasyonu yöntemi ile normalize edildi. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin öncelikle kendi aralarında çizelge 4.5'e göre kısmi korelasyon analizi yapıldı. Elde edilen sonuçlar sırasıyla çizelge 4.10' da ve çizelge 4.11' de verilmiştir. Bir ön analiz aşaması olarak gerçekleştirilen parçacık korelasyon analizinin amacı, değişkenler arasında anlamlı bir korelasyonun ortaya çıkarılmasını sağlamaktır [156].

Çizelge 4.10. Bağımlı değişkenler için parçacık korelasyonu analiz sonuçları

Değişkenler	1	2	3	4
1	1.000	0.003	-0.026	-0.013
2	0.003	1.000	-0.048	0.244
3	-0.026	-0.048	1.000	0.009
4	-0.013	0.244	0.009	1.000

Bağımlı değişkenlerin kısmi korelasyon sonuçlarında görüldüğü gibi, bu değişkenler arasında güçlü bir ilişki yoktur. Bağımlı değişkenler arasındaki nispeten güçlü ilişki, göz hareketi ile göz bebeği yarıçapı değişiminin standart sapma değeridir ($r_{42} = 0.244$). Bağımsız değişkenlerin de kendi arasındaki parçacık korelasyonuna ait çizelge ise 4'11 de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Bağımsız değişkenler için parçacık korelasyonu analizi

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.000	0.051	0.148	-0.065	-0.230	-0.129	0.660	0.033	0.021	-0.144
2	0.051	1.000	-0.089	0.051	-0.203	-0.114	0.379	0.417	0.076	-0.032
3	0.148	-0.089	1.000	0.399	0.001	0.045	-0.105	0.054	-0.096	-0.099
4	-0.065	0.051	0.399	1.000	-0.027	-0.018	0.072	0.022	0.057	-0.100
5	-0.230	-0.203	0.001	-0.027	1.000	-0.353	0.447	0.613	0.397	0.055
6	-0.129	-0.114	0.045	-0.018	-0.353	1.000	0.027	0.600	0.062	0.155
7	0.660	0.379	-0.105	0.072	0.447	0.027	1.000	-0.139	-0.120	0.106
8	0.033	0.417	0.054	0.022	0.613	0.600	-0.139	1.000	-0.045	0.019
9	0.021	0.076	-0.096	0.057	0.397	0.062	-0.120	-0.045	1.000	0.091
10	-0.144	-0.032	-0.099	-0.100	0.055	0.155	0.106	0.019	0.091	1.000

Programcıların kişisel parametreleri olan bağımsız değişkenler arasındaki en yüksek korelasyon değeri programcının yaşı ile programlamadaki deneyim süresi arasında ($r_{17} = 0.66$) olup bir diğer yüksek korelasyon değerinin ise deney dilindeki uzmanlık düzeyi ile programlamadaki uzmanlık düzeyinin arasında olduğu görülmüştür ($r_{85} = 0.613$).

Bu hesaplamalar sonucunda programcılar bilişsel yükü ile kişisel parametreleri arasında anlamlı bir ilişki kurmak için bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenlerin arasındaki korelasyon bütüncül olarak analiz edilerek sonuçlar Tablo 4.12' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki parçacık korelasyonu analizi

	Değişkenler	Bağımlı Değişkenler			
		1	2	3	4
Bağımsız Değişkenler	1	0.300	0.318	-0.141	0.182
	2	0.404	0.183	-0.003	0.011
	3	-0.059	0.097	-0.156	0.159
	4	-0.078	-0.006	0.083	0.056
	5	0.111	0.058	0.060	-0.062
	6	-0.083	0.097	0.219	-0.136
	7	0.330	0.235	-0.051	0.091
	8	0.137	0.074	0.054	-0.084
	9	0.025	-0.009	0.086	-0.085
	10	0.039	-0.104	0.033	-0.052

Analiz sonuçlarına göre en yüksek korelasyon değerlerine sahip bağımlı ve bağımsız değişken grupları p değerleri ile birlikte Tablo 4.13 'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Bağımlı değişkenler için parçacık korelasyonu analiz sonuçları

Bağımsız Değişkenler	Bağımlı Değişkenler	Korelasyon Katsayısı
Deney Dilinde Deneyim Süresi	Toplam Süre	0.404*
Programcılıkta Deneyim süresi	Toplam Süre	0.330*
Yaş	Gözbebeği yarıçapı değişiminin standart sapması	0.318*
Not: *p<0.001		

Çizelge 4.13' de verilen analiz sonuçlarında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir korelasyon olmasına rağmen, bu korelasyon zayıf pozitif bir korelasyon olarak ortaya çıkmaktadır. Zayıf korelasyon, bir korelasyon katsayısının büyüklüğünü yorumlamak için kullanılan temel kurala göre belirlendi.

Korelasyon katsayısını iyileştirmek ve iki değişken kümesi arasında daha etkili ve anlamlı bir ilişki kurmak için çok değişkenli bir veri analizi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Kanonik korelasyon analizi, değişkenler üzerindeki etkileri anlamlı bir şekilde analiz ettiği ve iki veri seti arasında maksimum korelasyonu sağlayacak parametreleri sağladığı için tercih edildi.

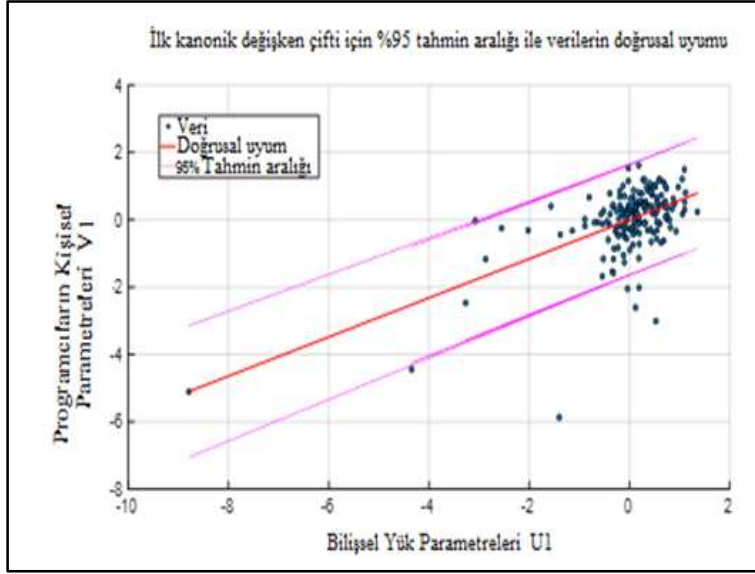
Veri setleri arasındaki korelasyon oranı ve değişkenlerin anlamlılık düzeyleri kanonik korelasyon analizi ile incelendi. Kanonik korelasyon analizi , bilişsel yük parametreleri ile programcılarının kişisel parametreleri arasındaki kanonik korelasyon katsayısının yanı sıra kanonik değişken vektörleri ve ağırlıklarını da sağlamıştır. İki veri seti arasındaki ilişki, kanonik korelasyon katsayılarının anlamlılığı üzerinden analiz edildi. İlgili veri setleri arasındaki kanonik korelasyon katsayıları, kanonik değişken vektörleri için p-değeri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kanonik değişken vektörleri arasındaki korelasyon katsayısı

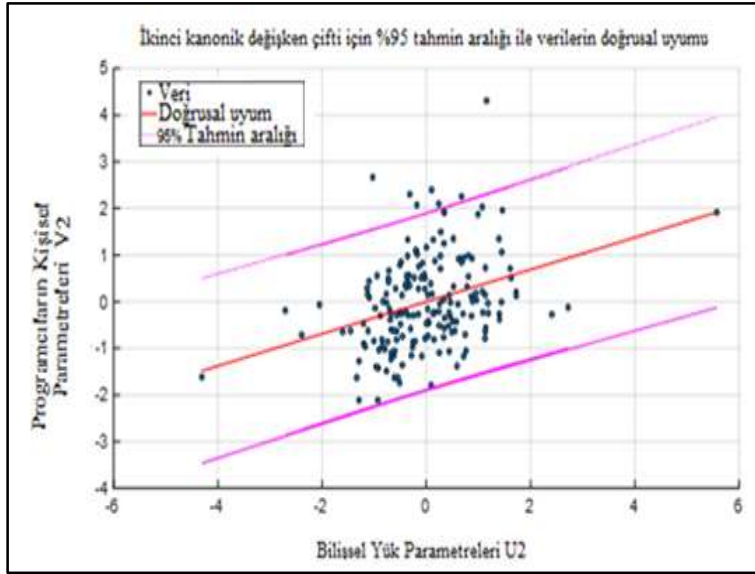
Kanonik Değişken Sayısı	Kanonik Korelasyon Katsayısı
1	0.581*
2	0.344
3	0.313
4	0.103
Note: *p<0.001	

Çizelge 4.14' te görüldüğü gibi, iki veri seti için elde edilen ilk ve en önemli kanonik değişken vektörleri istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 4.10 ve 4.11 sırasıyla bu ilişkileri temsil eden 1. ve 2. kanonik değişken vektörlerinin varyasyonunun görselleştirilmiş şeklidir. Bilişsel yük ile programcılarının kişisel parametrelerinin arasındaki ilişkinin parçacık korelasyon analizi ve kanonik korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde, kanonik korelasyon analizinin istatistiksel olarak daha anlamlı sonuçlar verdiği görüldü.

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki istatistiksel olarak daha anlamlı bulunmuş ve bütünleşik analize uygun hale gelmiştir.



Şekil 4.10. İlk çift (U1 ve V1)

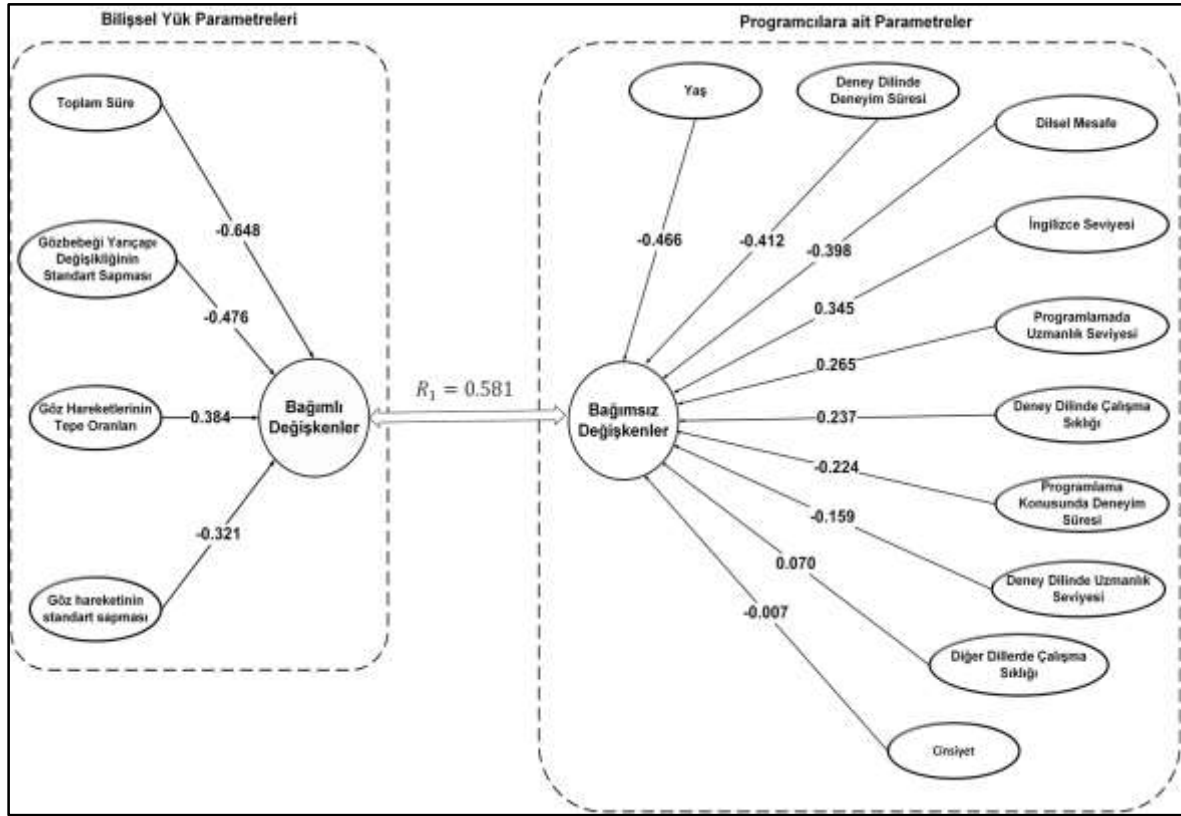


Şekil 4.11. İkinci çift (U2 ve V2)

İlgili şekiller analiz edildiğinde, 1. kanonik değişken çifti arasındaki ilişkinin daha doğrusal ve istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu tespit edildi. Ayrıca bu doğrusal karakteristik fark, verilerin uydurulan optimal doğru üzerindeki dağılımındaki sapmadan da rahatlıkla gözlemlenebilmektedir.

Bu nedenle, programcılarının bilişsel yükü ile kişisel parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere matematiksel bir model oluşturmak için ilk kanonik değişken çifti tercih edildi. İstatistiksel olarak anlamlı olan ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan

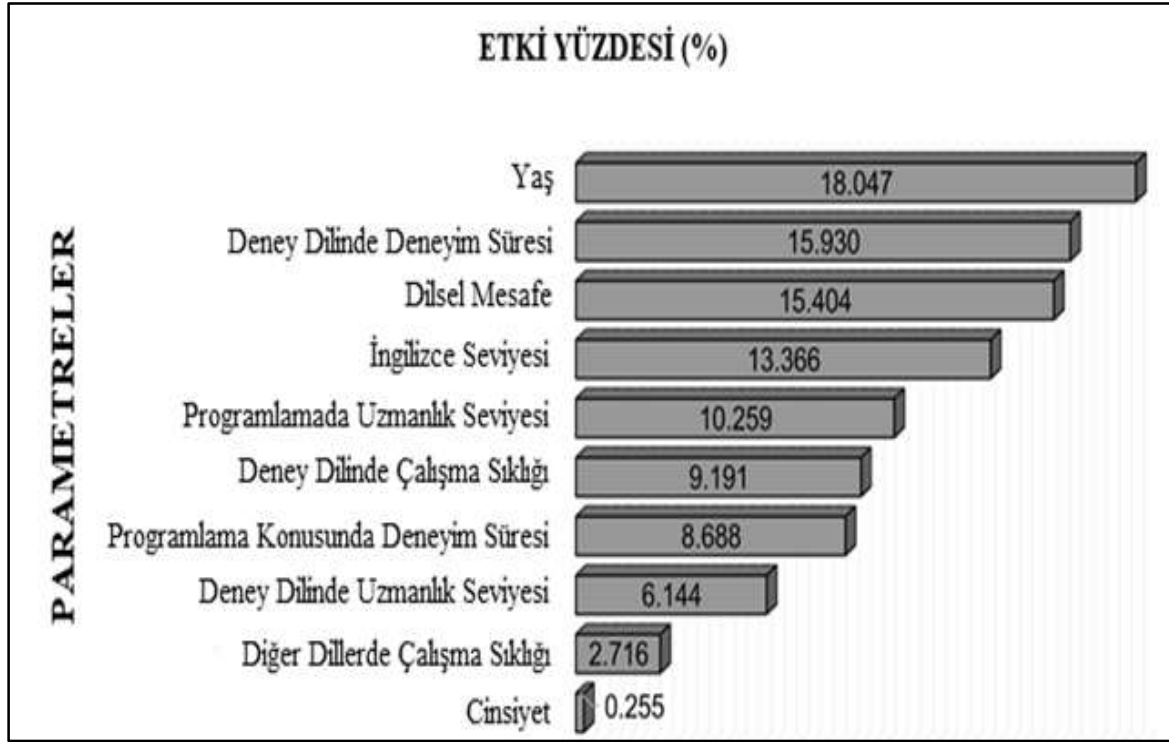
kanonik ağırlıklandırma kullanılarak, programcılarının bilişsel yükü ile kişisel parametreleri arasındaki ilişkiyi açıklayan bir yol diyagramı oluşturuldu Şekil 4.12'de yol digramı verilmiştir.



Şekil 4.12. Bilişsel yük ve kişisel parametrelerin yol diyagramı

Kanonik değişkenler üzerindeki kanonik ağırlıkların genliği, değişkenlerin veri kümelerine göre etkisi hakkında bilgi sağlamakta ve ağırlıkların görece yüksek genliği ise her bir veri kümesi arasındaki etki oranı hakkında bilgi vermektedir.

Kanonik ağırlıkları kullanarak yol diyagramını daha anlamlı hale getirmek için, normalize edilmiş kanonik ağırlıkların değişkenler üzerindeki yüzde etkileri Şekil 4.13.'de görülmektedir. Parametrelerin sırası ve tanımları Çizelge 4.6' da verildiği gibidir.



Şekil 4.13. Programcıların kişisel parametrelerinin bilişsel yük üzerindeki etkisi

Kişisel parametrelerin, programcıların bilişsel yük parametrelerini etkileme yüzdeleri incelendiğinde en yüksek etkinin %18.047 ile yaş faktörü, en düşük etkinin ise %0.255 ile cinsiyet parametresi olduğu tespit edildi. Bu çalışmanın önemli ve yeni sonuçlarından biri de programcının ana dili ile İngilizce dili arasındaki dilsel mesafenin bilişsel yük üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmasıdır (%15.404). Veri setinin kanonik korelasyon analizi başka bir açıdan incelendiğinde, tepe oranı (%20.9), göz hareketinin standart sapması (SD) (%17.544), göz bebeği yarıçapının SD'si (%26.019) ve toplam süre (%35.436) olarak bulundu. Bu sonuç bilişsel yük parametreleri arasında daha dengeli bir ağırlık olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bilgisayar kod anlama süreçlerinde kişisel parametrelerin göz hareket verileri yardımıyla bilişsel yük üzerindeki etkileri detaylı olarak incelendi. Bu yenilikçi çalışmada, literatürde ilk defa dilsel mesafenin bilgisayar programcılarının bilişsel yükü üzerindeki etkisi entegre alt parametrelerle kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Çalışmada 216 programcıdan oluşan ve bu alandaki en kapsamlı veri tabanlarından biri olan EMIP veri seti kullanıldı. İlgili veri seti 2 farklı kod anlama görevindeki göz hareketleri ve katılımcıların çeşitli kişisel parametrelerini içermektedir.

EMIP veri setinde yer alan ham göz verilerinin öklid uzay dönüşümleri gerçekleştirildi. Göz bebeği çapı ve koordinatlarının zamana bağlı değişimleri elde edildi. Veri işleme sırasında sinyal ölçüm gürültüsünü azaltmak için Savitzky-Golay yumuşatma filtresi kullanıldı. Göz hareketlerini modellemek için gerekli tepe değerleri z-skor tepe tespit algoritması ile bulundu. Bilişsel yük değişiminin bir başka göstergesi olan göz bebeği çapındaki değişim de analiz edildi. Tüm işlemler sonucu elde edilen göz hareket verileri bağımlı değişkenler olarak belirlendi. EMIP veri setinde yer alan programcıların kişisel parametreleri ise bağımsız değişkenler olarak seçildi.

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki kanonik korelasyon analizi kullanılarak incelendi. Analizden elde edilen kanonik ağırlıklar normalize edildi ve parametrelerin birbirlerine göre etki yüzdeleri hesaplandı.

EMIP veri setindeki programcıların kategorik olarak verilen kişisel parametreleri, anlamlı ve verimli nicel değişkenlere dönüştürüldü. Anadilin İngilizce diline olan uzaklığının esas alındığı dilsel mesafe kavramı da ilk kez bu çalışmada kişisel parametreler arasında kategorize edilerek incelendi.

Bağımlı ve bağımsız değişkenlere öncelikle kendi aralarında kısmi korelasyon analizleri uygulandı. Elde edilen sonuçların istatistiksel anlamlılığı test edildi. Bir sonraki adımda, istatistiksel anlamlılığı artırmak ve daha kapsamlı sonuçlar ortaya koymak için bu değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkisi KKA yaklaşımı ile analiz edildi. Analiz sonucunda sadece konuşulan anadilin değil aynı zamanda anadilin İngilizceye olan dilsel uzaklığının da bilişsel yükü önemli ölçüde etkilediği gözlemlendi.

Bilgisayar programlama ve konuşma dilleri arasındaki ilişkinin bilişsel yük açısından büyük öneme sahip olduğu tespit edildi. Bu nedenle, yabancı dil eğitiminde kullanılan sürekli maruz bırakma yöntemi gibi, programlama dillerini, konuşma dili gibi öğretmenin anlamlı ve faydalı olabileceği kanaatine varıldı. Bu yaklaşımın gelecekte bir programlama dili öğrenme sürecini olumlu yönde etkileyebileceği öngörüldü.

Programcının yaşının bilişsel yük üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu bulundu. İlgili programlama dilindeki deneyim süresinin de programcının bilişsel yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlendi. Bu çıktılar, yaşın bilişsel yükte önemli bir faktör olduğu yönündeki çalışmaları da desteklemektedir.

Farklı bir programlama dilini kullanma sıklığının bilişsel yük üzerinde daha az etkiye sahip olduğu tespit edildi. Farklı bir programlama dilinde uzmanlaşmanın ya da yoğun kullanımın, başka bir programlama dilinde karşılaşılan problemin algılanması ve yorumlanması üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmasına rağmen bu çıkarımın desteklenmesi ve genelleştirilmesi için farklı programlama dillerinin bilişsel yük üzerindeki etkisini analiz eden kapsamlı ve spesifik çalışmaların yapılmasının faydalı olacağı sonucuna ulaşıldı.

Kadın ve erkeklerin çevresel uyaranları algılama biçimleri arasında biyolojik ve sosyal farklılıklar olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Ancak, bilişsel yük üzerine mevcut teoriler, bu farklılıkların çalışma belleği bilişsel yükünde, kesin ve doğrudan farklılıklara yol açtığı fikrine karşı çıkmaktadır. Bilişsel yeteneklerin ve performansın sadece cinsiyetten etkilenmediği, aynı zamanda geçmiş deneyimler, eğitim ve diğer faktörler gibi unsurlardanda etkilendiği sonucuna varıldı.

Bilişsel yükte cinsiyet farklılıkları üzerine yapılan araştırmalarda tam olarak anlaşılamayan bir nokta, erkeklerin ve kadınların dış etkenlere verdikleri tepkilerde belirgin bir uzamsal veya zamansal örüntü bulunmaması olmuştur. Bu çalışma sonucunda, cinsiyet farklılığının bilgisayar programlama süreçlerindeki bilişsel yük üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğu görüldü.

Bilgisayar programlama ve bilişsel yük üzerine yapılan bu çalışmada, literatürdekine benzer sonuçlar elde edilmiş ve bilişsel yük ile cinsiyet farklılıkları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Cinsiyet farklılıkları ile bilişsel yük arasındaki ilişkinin örüntüsü, zaman içinde farklı uyaranlarla yapılacak kapsamlı çalışmalarla daha belirgin ve anlamlı hale gelecektir sonucuna varıldı.

Bu çalışmanın vurgulanması gereken bazı sınırlılıkları vardır. Programcıların bilişsel yük veya fizyolojik yorgunluk seviyeleri, görevleri yerine getirmeden önce fizyolojik olarak çeşitli ölçeklerle ölçülmemiştir. Veri setinin gerçekleştirilmesi sürecinde programcılar sadece iki kod örneğine bakmıştır; her ikisi de nesne yönelimlidir, bu nedenle elde edilen bulguların daha algoritmik kodlara veya farklı programlama modellerine sahip dillerdeki kodlara genellenip genellenemeyeceğinin açıklığa kavuşturulması gerekebilmektedir. Bu çok lokasyonlu bir çalışma olduğu için, tüm lokasyonlarda aynı göz takip cihazı ve dizüstü bilgisayar kullanılmasına rağmen deneysel kurulumda küçük farklılıklar meydana gelmiş olabileceği öngörüldü.

Bilişsel yükü ölçmek için göz takip sisteminin kullanılmasının önemli avantajları olmasına rağmen bazı durumlarda dezavantajları da olabilmektedir. Göz izleme sistemleri ile yürütülen çalışmalar bazen katılımcılar için rahatsız edici veya yapay gelebilmektedir. Bu nedenle, katılımcı davranışlarında çalışmaların sonuçlarını etkileyebilecek değişiklikler oluşabilmektedir. Bu çalışmada, bilgisayar kod anlama süreçlerinde kişisel parametrelerin bilişsel yük üzerindeki etkisi göz hareketleri aracılığıyla detaylı olarak incelendi.

KAYNAKLAR

1. Pfleging, B., Fekety, D. K., Schmidt, A., and Kun, A. L. (2016). *A model relating pupil diameter to mental workload and lighting conditions*. In Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems, San Jose, USA, 5776-5788.
2. Kun, A. L., Palinko, O., Medenica, Z., and Heeman, P. A. (2013). *On the feasibility of using pupil diameter to estimate cognitive load changes for in-vehicle spoken dialogues*. In INTERSPEECH, Lyon, 3766-3770.
3. Kruger, J. L., Hefer, E., and Matthew, G. (2013). *Measuring the impact of subtitles on cognitive load: Eye tracking and dynamic audiovisual texts*. In Proceedings of the 2013 Conference on Eye Tracking South Africa, Cape Town, 62-66.
4. Chen, S., and Epps, J. (2013). Automatic classification of eye activity for cognitive load measurement with emotion interference. *Computer methods and programs in biomedicine*, 110(2), 111-124.
5. Zagermann, J., Pfeil, U., and Reiterer, H. (2016). *Measuring cognitive load using eye tracking technology in visual computing*. In Proceedings of the sixth workshop on beyond time and errors on novel evaluation methods for visualization, New York, 78-85.
6. Cong, R., Tago, K., and Jin, Q. (2022). Measurement and verification of cognitive load in multimedia presentation using an eye tracker. *Multimedia Tools and Applications*, 81(19), 26821-26835.
7. Čegovnik, T., Stojmenova, K., Jakus, G., and Sodnik, J. (2018). An analysis of the suitability of a low-cost eye tracker for assessing the cognitive load of drivers. *Applied Ergonomics*, 68, 1-11.
8. Joseph, A. W., and Muruges, R. (2020). Potential eye tracking metrics and indicators to measure cognitive load in human-computer interaction research. *Journal of Scientific Research*, 64(1), 168-175.
9. Wang, Q., Yang, S., Liu, M., Cao, Z., and Ma, Q. (2014). An eye-tracking study of website complexity from cognitive load perspective. *Decision Support Systems*, 62, 1-10.
10. Kim, S. U., Lim, S. M., Kim, E. A., and Yang, I. H. (2016). An analysis of eye movement and cognitive load about the Editorial Design in Elementary Science Textbook. *Universal Journal of Educational Research*, 4(3), 570-575.
11. Lee, J. Y., Donkers, J., Jarodzka, H., Sellenraad, G., and Van Merriënboer, J. J. (2020). Different effects of pausing on cognitive load in a medical simulation game. *Computers in Human Behavior*, 110, 106385.
12. Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., and De Maeyer, P. (2020). Exploring the cognitive load of expert and novice map users using EEG and eye tracking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 429.

13. Majooni, A., Masood, M., and Akhavan, A. (2018). An eye-tracking study on the effect of infographic structures on viewer's comprehension and cognitive load. *Information Visualization*, 17(3), 257-266.
14. Võ, M. L. H., Jacobs, A. M., Kuchinke, L., Hofmann, M., Conrad, M., Schacht, A., and Hutzler, F. (2008). The coupling of emotion and cognition in the eye: Introducing the pupil old/new effect. *Psychophysiology*, 45(1), 130-140.
15. Bailey, B. P., and Iqbal, S. T. (2008). Understanding changes in mental workload during execution of goal-directed tasks and its application for interruption management. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 14(4), 1-28.
16. Ledger, H. (2013). The effect cognitive load has on eye blinking. *The Plymouth Students Scientist*, 6(1), s. 206-223.
17. Katona, J. (2022). Measuring cognition load using eye-tracking parameters based on algorithm description tools. *Sensors*, 22(3), 912.
18. Reyes, M. L., and Lee, J. D. (2008). Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(6), 391-402.
19. Lin, J. J. H., and Lin, S. S. (2014). Cognitive load for configuration comprehension in computer-supported geometry problem solving: An eye movement perspective. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 605-627.
20. Liu, X., Chen, T., Xie, G., and Liu, G. (2016). Contact-free cognitive load recognition based on eye movement. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2016, 1-8.
21. Derick, L. R., Gabriel, G. S., Máximo, L. S., Olivia, F. D., Noé, C. S., and Juan, O. R. (2020). *Study of the user's eye tracking to analyze the blinking behavior while playing a video game to identify cognitive load levels*. 2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Mexico, 2020, 1-5,
22. Chen, G., Chen, J., Zhao, X., Fu, L., and Zhang, P. (2023). Cognitive Load Influences Wristwatch 's Legibility and Purchase Preference: an Eye Tracking Study. *Displays*, 102375.
23. Chen, S., and Epps, J. (2014). Using task-induced pupil diameter and blink rate to infer cognitive load. *Human-Computer Interaction*, 29(4), 390-413.
24. Appel, T., Sevcenko, N., Wortha, F., Tsarava, K., Moeller, K., Ninaus, M., and Gerjets, P. (2019). *Predicting cognitive load in an emergency simulation based on behavioral and physiological measures*. In 2019 International Conference on Multimodal Interaction, New York, 154-163.
25. Chen, C. M., Wang, J. Y., and Lin, Y. C. (2019). A visual interactive reading system based on eye tracking technology to improve digital reading performance. *The Electronic Library*, 37(4), 680-702.

26. Alemdag, E., and Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers & Education*, 125, 413-428.
27. Rahman, H., Ahmed, M. U., Barua, S., Funk, P., and Begum, S. (2021). Vision-based driver's cognitive load classification considering eye movement using machine learning and deep learning. *Sensors*, 21(23), 8019.
28. Tong, S., and Nie, Y. (2023). Measuring designers' cognitive load for timely knowledge push via eye tracking. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(6), 1230-1243.
29. Biondi, F. N., Saberi, B., Graf, F., Cort, J., Pillai, P., and Balasingam, B. (2023). Distracted worker: Using pupil size and blink rate to detect cognitive load during manufacturing tasks. *Applied Ergonomics*, 106, 103867.
30. Babu, M. D., JeevithaShree, D. V., Prabhakar, G., Saluja, K. P. S., Pashilkar, A., and Biswas, P. (2019). Estimating pilots' cognitive load from ocular parameters through simulation and in-flight studies. *Journal of Eye Movement Research*, 12(3), 1-16.
31. Van Gerven, P. W., Paas, F. G., Van Merriënboer, J. J., and Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: Effects of worked examples on training efficiency. *Learning and Instruction*, 12(1), 87-105.
32. Voyer, D., Voyer, S. D., and Saint-Aubin, J. (2017). Sex differences in visual-spatial working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 307-334.
33. Bevilacqua, A. (2017). Commentary: Should gender differences be included in the evolutionary upgrade to cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 29, 189-194.
34. Korbach, A., Brünken, R., and Park, B. (2018). Differentiating different types of cognitive load: A comparison of different measures. *Educational Psychology Review*, 30(2), 503-529.
35. Bers, M. U. (2019). Coding as another language: A pedagogical approach for teaching computer science in early childhood. *Journal of Computers in Education*, 6(4), 499-528.
36. Nori, R., Zucchelli, M. M., Palmiero, M., and Piccardi, L. (2023). Environmental cognitive load and spatial anxiety: What matters in navigation? *Journal of Environmental Psychology*, 88, 1-10.
37. Güven, A. (2006). *Göze ait elektrofizyolojik sinyaller kullanılarak yapay sinir ağları destekli bazı göz hastalıklarının teşhisi*. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 10-13.
38. İnternet: Göze dair. URL: <http://techlens.mavipiksel.org/TR/67/Goze-Dair.htm>, Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.
39. İnternet: Kornea Nedir? URL: <https://gozdoktor.net/kornea-nedir/> Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.

40. İnternet: Yanyalı, A. (2019). Göz anatomisi URL: <https://www.atesyanyali.com/goz-anatomisi#iris> Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.
41. Memetoğlu, M. E. (2022). Gözler Beynin Aynasıdır. Pupilometri ve Psikolojideki Uygulamaları. *Türkiye Bütüncül Psikoterapi Dergisi*, 5(10), 101-108.
42. Nalçacıoğlu, P. (2022). Optik Sinir Anatomisi, Fizyolojisi ve Histolojisi. *Güncel Retina Dergisi*, 6(2), 51-55.
43. Rada, J. A. S., Shelton, S., and Norton, T. T. (2006). The sclera and myopia. *Experimental Eye Research*, 82(2), 185-200.
44. İnternet: Yılmaz, S. (Mayıs, 2021). Görme Nasıl Meydana Gelir? URL: <https://www.dr safiye yilmaz.com/tr/blog/gorme-nasil-meydana-gelir> Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.
45. Jagla, F. (2016). Saccadic eye movements as a marker of mental disorders. *Physiological Research*, 65, 365-371.
46. Karataş, M. (2009). İnternükleer ve Supranükleer Göz Hareket Bozuklukları. *Turkish Journal of Neurology/Türk Noroloji Dergisi*, 15(2), 54-63.
47. Özkan, S., ve Duman, S. (1995). Sakkadik göz hareketleri: değerlendirme parametreleri ve ölçüm metodları. *Türkiye Klinikleri Oftalmoloji Dergisi*, 4(1), 78-80.
48. Munoz, D. P. (2002). Commentary: saccadic eye movements: overview of neural circuitry. *Progress in Brain Research*, 140, 89-96.
49. İnternet: Gözün hareketleri ve işlevleri URL: <https://www.gozumuzsaglikta.com/gozun-hareketleri-ve-islevleri/> Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.
50. İnternet: nöro-ofthalmoloji URL: <https://clinicalgate.com/neuro-ophthalmology/> Son Erişim Tarihi: 04.05.2023.
51. Carter, B. T., and Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 49-62.
52. Goldberg, J. H., Stimson, M. J., Lewenstein, M., Scott, N., and Wichansky, A. M. (2002). *Eye tracking in web search tasks: design implications*. In Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications, New York, 51–58.
53. Ömür, S., ve Aydoğdu, A. G. (2017). Göz izleme araştırmaları ve iletişim alanında yeni yönelimler. *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 3(4), 1296-1307.
54. Zhang, Y. (2015). *Eye tracking and gaze interface design for pervasive displays*. Doctoral Thesis, Lancaster University, Lancaster, 1-226.

55. Khan, M. Q., and Lee, S. (2019). Gaze and eye tracking: Techniques and applications in ADAS. *Sensors*, 19(24), 5540.
56. Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods Instruments and Computers*, 34(4), 455-470.
57. Al-Rahayfeh, A., and Faezipour, M. (2013). Eye tracking and head movement detection: A state-of-art survey. *IEEE journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 1, 2100212-2100212.
58. Al-Haddad, A., Sudirman, R., Omar, C., Hui, K. Y., and Jimin, M. R. (2012). *Wheelchair motion control guide using eye gaze and blinks based on pointbug algorithm*. International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS), Kota Kinabalu, 37-42.
59. Djamasbi, S. (2014). Eye tracking and web experience. *AIS Transactions on Human-Computer Interaction*, 6(2), 37-54.
60. Durna, Y., ve Arı, F. (2016). Polinom fonksiyonları ile göz bakış yeri tespiti geliştirilmesi ve uygulaması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 15(2), 25-45.
61. Mathôt, S., Cristino, F., Gilchrist, I. D., and Theeuwes, J. (2012). A simple way to estimate similarity between pairs of eye movement sequences. *Journal of Eye Movement Research*, 5(1), 1-15.
62. Timm, F., and Barth, E. (2011). Accurate eye centre localisation by means of gradients. *Visapp*, 11, 125-130.
63. Poole, A., and Ball, L. J. (2006). Eye tracking in HCI and usability research. In *Encyclopedia of Human Computer Interaction*, IGI global, 211-219.
64. Li, X., and Wee, W. G. (2009). *An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation*. In 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Cairo, 2597-2600.
65. Hutchinson, T. E. (1990). *U.S. Patent No. 4,950,069*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
66. Parte, R. S., Mundkar, G., Karande, N., Nain, S., and Bhosale, N. (2015). A survey on eye tracking and detection. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, 4(10).
67. Glenstrup, A. J., and Engell-Nielsen, T. (1995). *Eye controlled media: Present and future, state*, Master's thesis, University of Copenhagen, DIKU, Copenhagen.
68. Bylinskii, Z., Borkin, M. A., Kim, N. W., Pfister, H., and Oliva, A. (2017). *Eye fixation metrics for large scale evaluation and comparison of information visualizations*. In Eye Tracking and Visualization: Foundations, Techniques, and Applications. *ETVIS 2015*, 235-255, Chicago.

69. Mehmet, E. Ö. S. Ö. (2020). Göz İzleme Tekniği ile Okuma Becerisinin İncelenmesi, *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 18(1), 437-455.
70. Samuels, S. J., Rasinski, T. V., and Hiebert, E. H. (2011). Eye movements and reading: What teachers need to know. *What Research Has To Say About Reading Instruction*, 4, 25-50.
71. Goldberg, J. H., and Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), 631-645.
72. Blascheck, T., Kurzhals, K., Raschke, M., Burch, M., Weiskopf, D., and Ertl, T. (2017, December). Visualization of eye tracking data: A taxonomy and survey. In *Computer Graphics Forum*, 36(8), 260-284.
73. Cantoni, V., Galdi, C., Nappi, M., Porta, M., and Riccio, D. (2015). GANT: Gaze analysis technique for human identification. *Pattern Recognition*, 48(4), 1027-1038.
74. İnternet: Webcam-Based Eye Tracking vs. an Eye Tracker URL: <https://imotions.com/blog/webcam-eye-tracking-vs-an-eye-tracker/> Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
75. İnternet: Introduction to Eyetracking: Seeing Through Your Users' Eyes URL: <https://www.uxmatters.com/mt/archives/2005/12/introduction-to-eyetracking-seeing-through-your-users-eyes.php> Son Erişim Tarihi: 08.05.2023.
76. Rakhmatulin, I. (2020). A review of the low-cost eye-tracking systems for 2010-2020. *Arxiv Preprint Arxiv:2010.05480*.
77. Senduran, F. (2019). Göz Takip Sisteminin (Eye Tracker) Spor Biliminde Kullanılması: Yeni Araştırmacılar İçin Kılavuz. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 17(4), 1-13.
78. Baş, T., ve Tüzün, H., (2014). Tüketicileri (kullanıcıları) ve ürün kullanımlarını analiz etmek için göz izleme yönteminin kullanılması. Tüketici Yazıları (IV), Ankara: Eryılmaz Offset, 217-234.
79. Şenay, B. A. (2021). Göz izleme tekniği aracılığıyla etkileşimli bilgi erişim sürecinin değerlendirilmesi: Bir durum çalışması, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilgi ve Belge Yönetimi, Ankara.
80. İnternet: Tobii corporate. URL: <https://corporate.tobii.com/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
81. İnternet: Metin Göz takibi ürünler. URL: <https://www.goztakibi.com/urunler.php/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
82. İnternet: Smi-red. URL: <https://imotions.com/products/hardware/smi-red/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.

83. Cornelissen, F. W., and Peters, E. M., J. (2002). The Eyelink Toolbox: eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 613-617.
84. İnternet: Eyelink 1000 plus. URL: <https://www.sr-research.com/eyelink-1000-plus/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
85. Tanriverdi, V., and Jacob, R. J. (2000). *Interacting with eye movements in virtual environments*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, New York, 265-272.
86. İnternet: ISCAN eye tracking instrumentation. URL: <https://iscaninc.com/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
87. Smith, B. (2012). Eye tracking as a measure of noticing: A study of explicit recasts in SCMC. *Language Learning & Technology*, 16(3), 53-81.
88. İnternet: Eyetech TM5 mini. URL: https://www.zyteq.com.au/products/eye_gaze/eyetech-tm5-mini Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
89. İnternet: Eyetech Communication Is The Mission. URL: <https://www.sr-research.com/eyelink-1000-plus/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
90. Ooms, K., Dupont, L., Lapon, L., and Popelka, S. (2015). Accuracy and precision of fixation locations recorded with the low-cost Eye Tribe tracker in different experimental setups. *Journal of Eye Movement Research*, 8(1), 1-20.
91. İnternet: The eyetribe. URL: <https://theeyetribe.com/theeyetribe.com/about/index.html> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
92. İnternet: Eyetech Smart eye, URL: <https://smarteye.se/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
93. İnternet: Mirametrix URL: <https://www.microway.com.au/catalog/mirametrix/products.php> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
94. İnternet: Mirametrix, URL: <https://www.mirametrix.com/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
95. İnternet: Eye tracking for research and beyond. URL: <https://pupil-labs.com/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
96. İnternet: Gazepoint URL: <https://www.gazept.com/> Son Erişim Tarihi: 14.06.2023.
97. Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-114.
98. Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1-16.

99. Paas, F., and Ayres, P. (2014). Cognitive load theory: A broader view on the role of memory in learning and education. *Educational Psychology Review*, 26, 191-195.
100. Van Merriënboer, J. J., and Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147–177.
101. Klepsch, M., Schmitz, F., and Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997, 1-18.
102. De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134.
103. Orru, G., and Longo, L. (2019). *The evolution of cognitive load theory and the measurement of its intrinsic, extraneous and germane loads: a review*. In Human Mental Workload: Models and Applications: Second International Symposium, H-WORKLOAD 2018, Amsterdam, 23-48.
104. Çakmak, E. K. (2007). Çoklu ortamlarda dar boğaz: Aşırı bilişsel yüklenme. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2), 1-24.
105. Mitre-Hernandez, H., Carrillo, R. C., and Lara-Alvarez, C. (2021). Pupillary Responses for Cognitive Load Measurement to Classify Difficulty Levels in an Educational Video Game: Empirical Study. *JMIR Serious Games*, 9(1), e21620
106. Souchet, A. D., Philippe, S., Lourdeaux, D., and Leroy, L. (2022). Measuring visual fatigue and cognitive load via eye tracking while learning with virtual reality head-mounted displays: A review. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 38(9), 801-824.
107. Robison, M. K., Coyne, J. T., Sibley, C., Brown, N. L., Neilson, B., and Foroughi, C. (2022). An examination of relations between baseline pupil measures and cognitive abilities. *Psychophysiology*, 59(12), e14124.
108. Krejtz, K., Duchowski, A. T., Niedzielska, A., Biele, C., and Krejtz, I. (2018). Eye tracking cognitive load using pupil diameter and microsaccades with fixed gaze. *PloS one*, 13(9), e0203629.
109. Brunken, R., Plass, J. L., and Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61.
110. Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., and Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 251-296.
111. Wierwille, W. W., and Eggemeier, F. T. (1993). Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment. *Human Factors*, 35(2), 263-281.

112. Hendy, K. C., Hamilton, K. M., and Landry, L. N. (1993). Measuring subjective workload: when is one scale better than many? *Human Factors*, 35(4), 579-601.
113. Klingner, J. (2010). *Measuring cognitive load during visual tasks by combining pupillometry and eye tracking*, Doctoral dissertation, Stanford University, Stanford.
114. Zagermann, J., Pfeil, U., and Reiterer, H. (2016). *Measuring cognitive load using eye tracking technology in visual computing*. In Proceedings of the sixth workshop on beyond time and errors on novel evaluation methods for visualization, New York, 78-85.
115. Rudmann, D. S., McConkie, G. W., and Zheng, X. S. (2003). *Eyetracking in cognitive state detection for HCI*. In Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces, Vancouver British Columbia, 159-163.
116. Chen, S., Epps, J., Ruiz, N., and Chen, F. (2011). *Eye activity as a measure of human mental effort in HCI*. In Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces, Cagliari, 315-318.
117. Barrios, V. M. G., Gütl, C., Preis, A. M., Andrews, K., Pivec, M., Mödritscher, F., and Trummer, C. (2004). *AdELE: A framework for adaptive e-learning through eye tracking*. Proceedings of IKNOW, Graz, 609-616.
118. Porta, M., Ricotti, S., and Perez, C. J. (2012). *Emotional e-learning through eye tracking*. In Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Marrakesh, 1-6.
119. Rafiqi, S., Wangwiwattana, C., Kim, J., Fernandez, E., Nair, S., and Larson, E. C. (2015). *PupilWare: towards pervasive cognitive load measurement using commodity devices*. In Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Corfu, 1-8.
120. Pomplun, M., and Sunkara, S. (2019). *Pupil dilation as an indicator of cognitive workload in human-computer interaction*. In *Human-Centered Computing*, CRC Press, 542-546.
121. Beymer, D., and Russell, D. M. (2005). *WebGazeAnalyzer: a system for capturing and analyzing web reading behavior using eye gaze*. In CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems, Portland, 1913-1916.
122. D. E., and Thomas, L. E. (2010). *Eyeblinks and Cognition*. In V. Coltheart, *Tutorials in visual cognition*, Psychology Press, 121-141.
123. Kramer, A. F. (2020). *Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress*. Multiple task performance, New York, CRC Press, 279-328.
124. Chatfield, C. (2018). *Introduction to multivariate analysis*. New York:Routledge.

125. Cobre, A. D. F., Böger, B., Vilhena, R. D. O., Fachi, M. M., Dos Santos, J. M. M. F., and Tonin, F. S. (2020). A multivariate analysis of risk factors associated with death by Covid-19 in the USA, Italy, Spain, and Germany. *Journal of Public Health*, 30(1), 1189–1195.
126. Catalbas, M. C., and Burken, S. (2022). The mathematical relationship between COVID-19 cases and socio-economic indicators of OECD countries. *Pathogens and Global Health*, 116(6), 376-388.
127. Mihalik, A., Chapman, J., Adams, R. A., Winter, N. R., Ferreira, F. S., and Shawe-Taylor, J., .Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2022). Canonical correlation analysis and partial least squares for identifying brain-behaviour associations: a tutorial and a comparative study. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 7(11), 1055-1067.
128. Wang, H. T., Smallwood, J., Mourao-Miranda, J., Xia, C. H., Satterthwaite, T. D., Bassett, D. S., and Bzdok, D. (2020). Finding the needle in a high-dimensional haystack: Canonical correlation analysis for neuroscientists. *NeuroImage*, 216, 116745.
129. Kursun, O., Alpaydin, E., and Favorov, O. V. (2011). Canonical correlation analysis using within-class coupling. *Pattern Recognition Letters*, 32(2), 134-144.
130. Hardoon, D. R., Szedmak, S., and Shawe-Taylor, J. (2004). Canonical correlation analysis: An overview with application to learning methods. *Neural Computation*, 16(12), 2639-2664.
131. Rajasundaram, D., Runavot, J. L., Guo, X., Willats, W. G., Meulewaeter, F., and Selbig, J. (2014). Understanding the relationship between cotton fiber properties and non-cellulosic cell wall polysaccharides. *PloS one*, 9(11), e112168.
132. Forsyth, D. (2019). *Canonical Correlation Analysis*. In *Applied Machine Learning* (pp. 139-151). Springer, Cham.
133. Çemrek, F. (2012). Türkiye'deki illerin gelir ve refah düzeyi değişkenleri arasındaki ilişkinin kanonik korelasyon analizi ile incelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 7(2), 197-215.
134. Keskin, S., ve Özsoy, A. N. (2004). Kanonik korelasyon analizi ve bir uygulaması. *Journal of Agricultural Sciences*, 10(01), 57-71.
135. Kalkan, S. B., ve Özden, Ü. H. (2017). Dünya üniversitelerinin itibarını etkileyen değişkenlerin kanonik korelasyon analizi ile belirlenmesi. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(2), 11-19.
136. Bolat, B. A., and Lorcu, F. (2009). Yaşlara göre ölüm oranları ile sosyo-ekonomik göstergeler arasındaki ilişkinin incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(2), 124-133.

137. Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., and Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis*. 5th Edn Prentice Hall International. Upper Saddle River, NJ.
138. Kaya, L. (2008). *Birden fazla değişken içeren setler arasındaki ilişkinin kanonik korelasyon analizi ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
139. Alpar, C. R.; (2017). *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler*. Detay Yayıncılık, 1
140. Türkegün, M. (2015). *Çoklu Bağlantı Sorununun Kanonik Korelasyon Belirteçleri Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
141. Karagöz, M., 2006. *İstatistik Yöntemler*. Ekin kitabevi yayımları, 373s., Bursa
142. Karaca, C., ve Karacan, H. (2016). Çoklu regresyon metoduyla elektrik tüketim talebini etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 182-195.
143. Günaşdı, N. E. (2014). *Çok değişkenli çoklu doğrusal regresyon analizinin incelenmesi* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
144. Chang, P. C., Fan, C. Y., and Lin, J. J. (2011). Monthly electricity demand forecasting based on a weighted evolving fuzzy neural network approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(1), 17-27.
145. Başar, E. (2017). Sayma süreçleriyle yaşam sürdürme analizi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(31), 57-72.
146. Larson, M. G. (2008). Analysis of variance. *Circulation*, 117(1), 115-121.
147. Hox, J., and Hoijtink, H. (2005). Analysis of Variance: Why It Is More Important than Ever. *The Annals of Statistics*, 33(1), 39-42.
148. Bednarik, R., Busjahn, T., Gibaldi, A., Ahadi, A., Bielikova, M., Crosby, M., and Linde, I. (2020). EMIP: The eye movements in programming dataset. *Science of Computer Programming*, 198, 102520.
149. Berssanette, J. H., and Francisco, A. C. (2021). Cognitive Load Theory in the Context of Teaching and Learning Computer Programming: A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Education*. 65(3), 440-449.
150. Chiswick, B. R., and Miller, P. W. (2005). Linguistic distance: A quantitative measure of the distance between English and other languages. *Journal of Multilingual and Multicultural Development*, 26(1), 1-11.

151. Jain, S., Shukla, S., and Wadhvani, R. (2018). Dynamic selection of normalization techniques using data complexity measures. *Expert Systems with Applications*, 106, 252-262.
152. Catalbas, M. C., Cegovnik, T., Sodnik, J., and Gulten, A. (2017). *Driver fatigue detection based on saccadic eye movements*. In 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, 913-917.
153. Krishnan, S. R., and Seelamantula, C. S. (2012). On the selection of optimum Savitzky-Golay filters. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(2), 380-391.
154. Gajbhiye, P., Mingchinda, N., Chen, W., Mukhopadhyay, S. C., Wilaiprasitporn, T., and Tripathy, R. K. (2020). Wavelet domain optimized Savitzky–Golay filter for the removal of motion artifacts from EEG recordings. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-11.
155. Peng, J., Wang, P., Zhou, N., and Zhu, J. (2009). Partial correlation estimation by joint sparse regression models. *Journal of the American Statistical Association*, 104(486), 735-746.
156. Krehbiel, T. C. (2004). Correlation coefficient rule of thumb. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 2(1), 97-100.



Gazili olmak ayrıcalıktır