



**ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ
METODOLOJİSİ İLE KARBON AYAK İZİ HESAPLAMASININ
DEĞERLENDİRİLMESİ; GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE
MİMARLIK FAKÜLTESİ ÖRNEĞİ**

Esin ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2025

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.

Esin ÖZDEMİR
10/06/2025

ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE KARBON
AYAK İZİ HESAPLAMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ; GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Esin ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2025

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nin 2021 ve 2022 yıllarına ait karbon ayak izi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, kampüs bazlı sera gazı emisyonlarının kapsam 1, 2 ve 3 ayrımında analiz edilmesi ve çevresel etkilerinin ortaya konmasıdır. Veri toplama sürecinde elektrik ve doğalgaz tüketimi, soğutucu gaz kullanımı, jeneratör verileri ile ulaşım ile ilişkili anket sonuçları dikkate alınmış, analizler SimaPro 9.5 PhD yazılımında CML-IA baseline V3.09 / EU25 metodu ve Ecoinvent veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek emisyonun elektrik tüketimi kaynaklı olduğu, bunu doğalgaz ve ulaşım kaynaklı emisyonların izlediği belirlenmiştir. 2022 yılında doğalgaz kullanımındaki azalma ile Kapsam 1 emisyonları %6,4 düşerken; pandemi sonrası artan faaliyetler nedeniyle Kapsam 2 ve 3 emisyonlarında sırasıyla %32 ve %93 oranında artış gözlemlenmiştir. Çalışma, özellikle dolaylı enerji tüketiminin çevresel etkilerini ve davranışsal verilerin karbon hesaplamasına entegrasyonunun önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin teşviki, yenilenebilir enerjiye geçiş, çevreci soğutma teknolojileri ve yıllık emisyon takibinin kurumsallaştırılması önerilmektedir.

Bilim Kodu : 90313
Anahtar Kelimeler : Karbon ayak izi, yaşam döngüsü değerlendirme, sürdürülebilir
kampüs, çevresel etki analizi, iklim değişikliği
Sayfa Adedi : 102
Danışman : Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL

EVALUATION OF CARBON FOOTPRINT CALCULATION WITH LIFE CYCLE
ASSESSMENT ANALYSIS IN UNIVERSITY CAMPUSES; THE CASE OF GAZİ
UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

(M. Sc. Thesis)

Esin ÖZDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

ABSTRACT

In this thesis, the carbon footprint of Gazi University Faculty of Engineering and Architecture for the years 2021 and 2022 was evaluated using the Life Cycle Assessment methodology. The aim of the study is to analyze campus-based greenhouse gas emissions according to Scope 1, 2, and 3 classifications and to reveal their environmental impacts. During the data collection process, electricity and natural gas consumption, refrigerant usage, generator data, and transportation survey results were considered. The analyses were conducted using the SimaPro 9.5 PhD software, applying the CML-IA baseline V3.09 / EU25 method and the Ecoinvent database. According to the results, electricity consumption was identified as the primary source of emissions, followed by emissions from natural gas usage and transportation. In 2022, Scope 1 emissions decreased by 6.4% due to the reduction in natural gas consumption, while post-pandemic increases in campus activity led to a 32% rise in Scope 2 and a 93% rise in Scope 3 emissions. The study highlights the significant environmental impact of indirect energy consumption and the importance of integrating behavioral data into carbon accounting. Based on the findings, key recommendations include promoting sustainable transportation systems, transitioning to renewable energy sources, adopting environmentally friendly cooling technologies, and institutionalizing annual emissions monitoring.

Science Code : 90313

Key Words : Carbon footprint, life cycle assessment, sustainable campus,
environmental impact assessment, climate change

Page Number : 102

Supervisor : Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgisi, deneyimi ve bilgece rehberliğiyle bana yol gösteren, yalnızca bir akademik danışman değil aynı zamanda ilham verici bir rehber olan kıymetli hocam Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL'a en derin şükranlarımı sunuyorum. Sabırla dinleyen, her zaman ulaşılabilir olan, desteğini ve güvenini daima hissettiren hocama, bu süreçte bana kattığı her değer için minnettarım. Tez çalışmama bilgi ve deneyimiyle katkı sunan, ilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR'a, teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana daima inanan, her adımında yanımda olan ve hayat yolculuğumda yılmadan bana destek veren kıymetli annem Güllü ÖZDEMİR'e ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen sevgili babam Erdoğan ÖZDEMİR'e minnettarım. Hayatımda baba şefkatiyle yolumu aydınlatan, her daim kalbimde olan rahmetli Şadi YURDAKUL ve bana anne olan sevgili Huriye YURDAKUL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca bana sadece bir abla değil; aynı zamanda bir rehber, dost ve sığınak olan sevgili ablam Zehra YURDAKUL'a özel olarak teşekkür etmek isterim. Ayrıca sevgili abilerim Hüseyin YURDAKUL, Mehmet YURDAKUL ve Hakverdi YURDAKUL'a, yaşamımın her döneminde bana duydukları güven ve sağladıkları destek için teşekkür ederim ve yaşları küçük olsa da kalpleri büyük olan sevgileri ve varlıklarıyla bana kardeş gibi olan değerli yeğenlerim Kemal YURDAKUL ve Sezer YURDAKUL'a, verdikleri moral ve sevecen yaklaşımları için içtenlikle teşekkür ederim. Tez sürecimde her koşulda yanımda olan, sabırla dinleyen, cesaretlendiren ve varlığıyla bana güç veren yüreği kendisinden büyük arkadaşşıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamda Gazi Üniversitesi verilerini kullanmam için ilgili birimlere ve "Gazi Üniversitesi Karbon Ayak İzini Yaşam Döngüsü Analizi Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi" başlıklı projenin FOA-2022-8276 numara kapsamında, bu çalışmayı destekleyen Gazi Üniversitesi BAP Koordinasyonuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı	3
2.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Amaçları	4
2.3. Üniversite Kampüslerinde Sürdürülebilirlik	5
2.4. Yeşil Kampüsler	7
2.5. Sıfır Atık ve Atık Yönetimi.....	8
2.6. Atık Yönetimi ve Sürdürülebilir Kampüsler	9
2.7. Su Yönetimi	10
2.8. Enerji Verimliliği	11
2.9. Üniversite Kampüslerinin Sürdürülebilir ve Yeşil Kampüslere Dönüştürme Çalışmalarında Literatür Çalışmaları.....	11
2.10. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği	14
2.11. İklim Değişikliği ile İlgili Yapılan Uluslararası Çalışmalar.....	15
2.11.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)	15
2.11.2. Kyoto Protokolü.....	16
2.11.3. Paris Anlaşması	17
2.12. Sera Gazları ve Özellikleri	18

	Sayfa
2.12.1. Karbondioksit (CO ₂)	19
2.12.2. Metan (CH ₄).....	19
2.12.3. Nitröz oksit (N ₂ O).....	20
2.12.4. Halokarbonlar, kloroflorokarbonlar (CFC), perflorokarbonlar (PFC), hidroflorokarbonlar (HFC) ve kükürt hekzaflorür (SF ₆)	21
2.12.5. Su buharı (H ₂ O)	22
2.12.6. Ozon (O ₃).....	23
2.12.7. Karbonmonoksit (CO)	24
2.13. ISO 14064-1:2018 Kurumsal Karbon Ayak İzinin Hesaplanması	24
2.14. GHG (Greenhouse Gas) Protokolü.....	25
2.15. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD).....	26
2.15.1. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde amaç ve kapsam belirleme.....	28
2.15.2. Yaşam döngüsü envanteri (YDE).....	28
2.15.3. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında kullanılan araçlar.....	29
2.15.4. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin kullanım alanları.....	30
2.16. Karbon Ayak İzi.....	32
2.16.1. Kurumsal karbon ayak izi.....	33
2.17. En Çok Kullanılan Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	34
2.17.1. GHG protokolüne dayalı hesaplama yaklaşımı	35
2.17.2. ISO 14064 serisine dayalı hesaplama yaklaşımı	37
2.17.3. Yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı hesaplama yaklaşımı.....	41
2.17.4. Karbon ayak izi değerlendirmesinde YDD'nin rolü.....	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1. Çalışma Alanı ve Sistem Sınırı	49
3.2. Çalışma Metodu ve Verilerin Elde Edilmesi	52
3.2.1. SimaPro 9.5.0.....	54

	Sayfa
3.2.2. Verilerin toplanması ve anket uygulaması.....	55
3.4. Kullanılan Standartlar ve Rehber Dokümanlar	56
3.5. Belirsizlik ve Sınırlılıklar.....	57
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Bulguların Sunulması	61
4.1.1. YDD emisyon çıktıları	66
4.1.2. YDD etki değerlendirmesi çıktıları.....	76
4.2. Bulguların Değerlendirilmesi	81
4.2.1. 2021 ve 2022 yıllarının emisyonlarının karşılaştırılması.....	81
4.2.2. 2021 ve 2022 yıllarının etki değerlendirmesinin karşılaştırılması.....	83
4.2.3. Sonuçların yorumu.....	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. GHG Protocol’e göre hesaplama yapısının genel özeti.....	36
Çizelge 2.2. YDD çalışmalarında etki kategorisi ve envanter örnekleri.....	46
Çizelge 4.1. GÜMMF 2021–2022 yıllarına ait veri seti	61



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. YDD aşamaları	27
Şekil 2.2. GHG Protokolü sera gazı emisyon kapsamı (kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3) ve kaynaklarına göre sınıflandırılması.....	35
Şekil 2.3. ISO 14064 serisinde sera gazı emisyonlarının kaynaklarına göre sınıflandırılması	38
Şekil 2.4. Ürün yaşam döngüsü süreci.....	41
Şekil 2.5. YDD sistem sınırları	42
Şekil 3.1. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakülteleri sistem sınırı (harita üzerinde gösterim)	49
Şekil 4.1. Katılımcıların üniversitede çalıştıkları veya öğrenim gördükleri birimlerin dağılımı.....	62
Şekil 4.2. Katılımcıların üniversitedeki rollerine göre dağılımı	63
Şekil 4.3. Katılımcıların üniversiteye ulaşım türlerine göre yüzdesel dağılımı.....	63
Şekil 4.4. Şahsi araç kullanıcılarının araç yakıt türleri	64
Şekil 4.5. Katılımcıların üniversiteye ulaşım için kat ettikleri günlük yaklaşık mesafe.	65
Şekil 4.6. 2021 yılına ait kapsam-1 emisyonlarının sonuçları.....	67
Şekil 4.7. 2022 yılına ait kapsam-1 emisyonlarının sonuçları	68
Şekil 4.8. 2021 yılına ait kapsam-2 emisyonlarının sonuçları	70
Şekil 4.9. 2022 yılına ait kapsam-2 emisyonlarının sonuçları	71
Şekil 4.10. 2021 yılına ait kapsam-3 emisyonlarının sonuçları	73
Şekil 4.11. 2022 yılına ait kapsam-3 emisyonlarının sonuçları	75
Şekil 4.12. 2021 yılına ait kapsam-1 etki değerlendirmesi sonuçları	76
Şekil 4.13. 2022 yılına ait kapsam-1 etki değerlendirmesi sonuçları	76
Şekil 4.14. 2021 yılına ait kapsam-2 etki değerlendirmesi sonuçları	77
Şekil 4.15. 2022 yılına ait kapsam-2 etki değerlendirmesi sonuçları	78
Şekil 4.16. 2021 yılına ait kapsam-3 etki değerlendirmesi sonuçları	79

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. 2022 yılına ait kapsam-3 etki değerlendirmesi sonuçları	79
Şekil 4.18. 2021 yılına ait emisyonların sonuçları.....	82
Şekil 4.19. 2022 yılına ait emisyonların sonuçları.....	82
Şekil 4.20. 2021 yılı sera gazı emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı	83
Şekil 4.21. 2022 yılı sera gazı emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı	85



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
m^3	Metreküp
g	Gram
km	Kilometre
l	Litre
kWH	kilovat-saat
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
N ₂ O	Nitröz Oksit
kgCO ₂ e	Kilogram Karbondioksit Eşdeğeri
tCO ₂ e	Ton Karbondioksit Eşdeğeri
CFC	Kloroflorokarbonlar
PFC	Perflorokarbonlar
HFC	Hidroflorokarbonlar
SF ₆	Kükürt Hekzaflorür
CO	Karbonmonoksit
CO ₂ e	Karbondioksit Eşdeğeri
DB	Diklorobenzen
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
NO _x	Azot Oksitler
C ₂ H ₄	Etilen
R-134a	1,1,1,2-Tetrafluoroethane

Kısaltmalar	Açıklamalar
AASHE	Association for the Advancement of Sustainability Higher Education

Kısaltmalar**Açıklamalar**

BEST	Building Environmental Sustainability Tool
BIM	Bina Bilgi Modelleme
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CDM	Temiz Kalkınma Mekanizması
COP	Taraflar Konferansı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EPD	Çevresel Ürün Beyanı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EU	European Union
GHG	Greenhouse Gas
GÜMMF	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISCN	Uluslararası Sürdürülebilir Kampüs Ağı
KIP	Küresel Isınma Potansiyeli
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LCI	Yaşam Döngüsü Envanteri
LCIA	Yaşam Döngüsü Etki Analizi
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SG	Sera Gazı
SKA	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SKDM	Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
STARS	Sustainability Tracking, Assessment & Rating System
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WRI	World Resources Institute
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma, doğal ve çevresel kaynakları koruyarak hem mevcut ihtiyaçları karşılamakta hem de gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan, sürdürülebilir kılarak ve çevrenin taleplerini karşılayarak kalkınmaya yönelik bir yaklaşımdır. Çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlardan oluşan sürdürülebilirlik kavramı, diğer kavramların yanı sıra sadece doğal çevrenin korunmasını değil, aynı zamanda kaynakların verimli kullanılmasını, sosyal adaletin sağlanmasını ve ekonomik kalkınmanın desteklenmesini gerektiren çok boyutlu hedefler amaçlamaktadır. (Brundtland Komisyonu, 1987). Küresel alanda var olan çevre kirliliği, iklim değişikliği, biyoçeşitliliğin azalması ve doğal kaynakların tüketimi gibi sorunlar, sürdürülebilirliğin hedef ve ilkelerini, tüm kurumlar ve sektörler tarafından benimsenmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda üniversiteler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin yaygınlaştırılmasında ve benimsenmesinde stratejik bir rol oynamaktadırlar. Üniversiteler bu hedefleri, kendi faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini azaltarak ve bu konudaki sorumluluğu üstlenerek eğitim, araştırma ve topluma hizmet rolleriyle de destekleyebilirler. Bu amaçla gerçekleştirilen yeşil kampüs çabaları sadece kurumsal karbon ayak izini azaltmayı hedeflemekle kalmamakta, aynı zamanda öğrenciler ve akademisyenler arasında çevreci davranışları da teşvik etmektedir.

Sürdürülebilirlik, özellikle üniversite kampüsleri gibi yüksek aktör ve yüksek enerji kullanım alanlarında çevresel bozulmayı azaltmada stratejik öneme sahiptir. GÜMMF (Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi), bu bağlamda sürdürülebilir kampüs için bir kampüs dönüşüm süreci gibi model bir tesis olabilir.

Üniversite düzeyinde sürdürülebilir yöntemlerin tanıtılması, özellikle öğrenciler ve öğretim üyeleri olmak üzere üniversite ile ilgili tüm kişiler arasında çevre bilincini artırmaya yardımcı olur. Ayrıca, topluma rehberlik eden yerler olarak üniversiteler, sürdürülebilirlik için öncü bir rol oynar. Gazi Üniversitesi özelinde yürütülen sürdürülebilir kampüs girişimleri diğer yükseköğretim kurumları için de örnek olabilir (Acuner ve diğerleri, 2023).

Bu araştırmanın amacı, GÜMMF için sürdürülebilir bir kampüs modeli tasarlamak ve bunu bir vaka çalışması olarak ele almaktır. Bu amaçla, YDD ve karbon ayak izi bakış açısıyla genel bir gayri resmi çevresel değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın odağı, binaların, süreçlerin ve kampüs operasyonlarının çevresel etkilerini bilimsel veriler ve bu etkileri azaltmak için gerçekçi seçenekler bağlamında eleştirel bir şekilde incelemek olacaktır.

Tez kapsamında sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilir kalkınmanın küresel hedefleri öncelikle teorik olarak ele alınacaktır. Daha sonra üniversitelerde sürdürülebilirlik, yeşil kampüs detayları, kampüslerde atık, su ve enerji detaylı bir şekilde incelenecektir. Sera gazları, bu gazların özellikleri, iklim değişikliği ile ilgili uluslararası anlaşmalar, karbon ayak izi hesaplaması, YDD (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) gibi teknik konular da detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Tüm bu konular GÜMMF'nin mevcut durumu doğrultusunda tartışılacak ve sürdürülebilir bir kampüs olma yolunda sonuç ve öneriler verilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik sistemler arasında kapsamlı fakat kalıcı dengeye dayalı bir sistem kısacası "meta"-konseptidir. Bu kavram, ilk olarak 1987'de yayımlanan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nda (WCED) tanıtılmıştır ve ilginç bir şekilde şöyle ifade edilmiştir: “Bugünün (neslin) ihtiyaçlarını, geleceğin (WCED, 1987) ihtiyaçlarından ödün vermeden karşılamak.” Söz konusu tanım, sürdürülebilirlik için uluslararası kabul görmüş standart bir tanım olup, politika yapıcılar tarafından olduğu kadar akademik amaçlar için de kullanılmaktadır.

Sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik kalkınma boyutlarının eşzamanlı olarak ele alınması gerekmektedir. Burada sürdürülebilirlik, doğal varlıkların korunması ile sınırlı değildir, aynı zamanda sosyal refahın artırılmasını ve ekonomilerin uzun vadeli uyum sağlama yeteneğini de içermektedir (Kates ve diğerleri, 2005). Bu anlamda sürdürülebilirlik sadece ekolojik bir mesele değil, aynı zamanda bir kalkınma paradigmasıdır (Van der Ryn ve Cowan, 1996).

Günümüzde sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, su kıtlığı, biyolojik çeşitlilik kaybı ve enerji krizi ile ilgili küresel sorunların çözümünde temel bir yapı taşı olarak görülmektedir. Bu çerçevede, sürdürülebilirlik odaklı felsefi düşünce, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım, atık yönetimi, tarım, sanayi ve eğitim dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde politika ve strateji geliştirilmesine yönelik bir rehber sunmaktadır. Sürdürülebilirlik, üniversite dinamiğine, kampüs politikası ve müfredatının bir parçası olarak hem öğretim süreci için hem de idari personelin hayatının bir parçası olarak dâhil edilebilir (UNESCO, 2017), çünkü bu, çevre üzerindeki etkilerini azaltmalarını ve öğrenciler arasında sorumluluk duygusunun yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Kampüs yaşamında sürdürülebilirlik ilkesini benimsemek, çevre üzerindeki etkiyi azaltmakla kalmayıp daha kapsamlı çerçevede eğitim, araştırma ve topluma hizmette sürdürülebilir uygulamaların dâhil edilmesini de içermektedir. Böyle bir tasarım GÜMMF’nde idari ve akademik karakterde birkaç sürdürülebilir uygulamayı kapsayacak

şekilde gerçekleştirilmelidir. Öğrenciler bu yöntemle, kampüs yaşamında her an sürdürülebilirlik deneyimleyebilirler.

2.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Amaçları

Sürdürülebilir kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme ve sosyal adaletin bir arada gelişebileceği bir kalkınma modelidir. Bu model, çevresel tahribatı ve doğal kaynakların tüketimini azaltmayı hedeflerken aynı zamanda insanların yaşam standardını iyileştirmeyi hedeflemektedir.

Sürdürülebilir kalkınma, çevresel konuların yanı sıra yoksulluk, eğitim, sağlık (OECD, 2008), eşitsizlik ve kadınların güçlendirilmesi (Hopwood ve diğerleri, 2005) gibi sosyal konuları da içeren karmaşık bir kavramdır.

Bu anlayış, uluslararası alanda 2015 yılında kabul edilen Birleşmiş Milletler'in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi'ndeki 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nde (SKH'ler) hayat bulmaktadır. Bu hedefler, yoksulluğun sona ermesi, açlığın sona ermesi, kaliteli eğitim, temiz su ve sanitasyon, uygun fiyatlı enerji, sürdürülebilir şehirler ve iklim eylemi gibi çeşitli alanları kapsamaktadır (BM, 2015). SKH'ler, tüm ülkelerin bu hedeflere, ulusal önceliklerine göre ulaşmalarını sağlayacak bir çerçeve sunmaktadır.

Üniversiteler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında anahtar işlev ve rollere sahiptirler. Bilgi yaratma ve devamlılığını sağlama süreçlerini gerçekleştiren bu kurumlar, SKH'leri eğitim, araştırma ve bunların uygulamalı faaliyetlerine dahil ederek önemli katkılarda bulunabilirler. Örneğin, üniversiteler sürdürülebilir enerji kullanımı, atık yönetimi, toplumsal cinsiyet eşitliği ve iklim değişikliğiyle mücadele konularında farkındalık oluşturabilir (Filho ve diğerleri, 2019).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin GÜMMFce içselleştirmesi, kampüste uygulanacak sürdürülebilirlik politikaları için son derece önemlidir. Bu hedeflerin, özellikle enerji verimliliği, su yönetimi, atık minimizasyonu ve karbon ayak izi azaltımı konularında uygulanması, fakültenin çevresel performansını geliştirecektir. Böylece sürdürülebilirliğe yönelik geliştirilen perspektifler ulusal ve dünya çapında fayda sağlayacaktır.

2.3. Üniversite Kampüslerinde Sürdürülebilirlik

Üniversiteler yalnızca bilginin çıkış kaynağı olan kurumlar değil aynı zamanda sosyal eleştiri kaynakları, sosyal ve çevresel değerleri öğretme kurumlarıdır. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ilkelerinin üniversite kampüslerine entegre edilmesi, sadece ekolojik ayak izlerini minimuma indirmek için değil, aynı zamanda öğrencilerin yaşam tarzlarını şekillendirmek için de önemlidir (Wright ve Wilton, 2012).

Sürdürülebilir kampüs kavramı, yükseköğretim kurumlarının doğal kaynakları verimli kullanan, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak kendi kendini sürdüren hale gelmesi mantığıyla ilgili bir eğitim yaklaşımıdır. Üniversite yerleşkelerinde bu yaklaşım doğrultusunda enerji, su, atık ve ulaşım gibi sürdürülebilir uygulamalar geliştirilir. Bu uygulamalar kendi operasyonlarına çevre dostu bir şekilde hizmet eder ve toplumda sürdürülebilir yaşam tarzlarının benimsenmesinde öncü rol oynar (Velazquez, Munguia ve Sanchez, 2006).

Eko-kampüs ve yeşil kampüs olarak ifade edilen bu kavram, yenilenebilir enerji teşviki, verimli atık yönetimi, su tasarrufu sağlayan tesisler, sürdürülebilir ulaşım tesisleri ve yeşil bina uygulamalarını farklı açılardan benimsemeyi gerektirir (Lozano et al., 2013). Bu noktada üniversiteler kurumları akademik rolleri gereği bilgi üreterek aynı zamanda karbon ve ekolojik ayak izlerini doğrudan azaltarak örnek olmalıdır.

Sürdürülebilir Kampüs Uygulamaları uluslararası düzeyde birçok program aracılığıyla desteklenmiştir. 2007 yılında kurulan Uluslararası Sürdürülebilir Kampüs Ağı (ISCN), kampüs bilgi alışverişini teşvik etmek amacıyla 2014 yılında ISCN-GULF Sürdürülebilir Kampüs Beyannamesi'ne öncülük etti (Beringer, 2007). Ayrıca, üniversitelerin sürdürülebilirliğini ölçmek amacıyla AASHE (Yükseköğretimde Sürdürülebilirliği Geliştirme Derneği) tarafından STARS (Sürdürülebilirlik Takibi, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi) geliştirilmiştir. Bu sistem, 2018 yılı itibarıyla 11 ülkede yer alan 477 üniversitede kullanılmakta olup, birçok üniversite için referans olarak hizmet vermiştir (Filho, Manolas ve Pace, 2015).

2010 yılında Universitas Indonesia'nın girişimiyle başlayan UI GreenMetric, üniversitelerin sürdürülebilirlik performansını ölçen ilk küresel sıralamadır. Bu sıralama,,

atık yönetimi, enerji ve iklim değişikliği, su kullanımı, ulaşım ve eğitim gibi alanlardaki üniversiteleri değerlendirmekte ve ardından her bahar "en yeşil" kampüsü ilan etmektedir. Bu tür küresel indeksler, üniversiteler arasında sürdürülebilir olma çabalarında rekabeti ve en iyi uygulamaların paylaşımını artırarak ilerlemeyi teşvik etmektedir.

Sürdürülebilir kampüs kavramı, Türkiye'de son zamanlarda üniversitelerin çabalarıyla ortaya çıkmıştır. Ancak şimdiye kadar bu alanda ulusal düzeyde bir politika veya düzenleme bulunmamaktadır (Çelik ve Öztürk, 2022). Enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ofisi ve yeşil kılavuz hazırlama gibi alanlarda üniversiteler tarafından bireysel projeler de yürütölmektedir. 2021 yılında listelenen 336 projeden 71'i Türkiye'den gelmektedir. Sayısal olarak ifade edilen bu katılım üniversitelerin içerik olarak sürdürülebilir olduğunu göstermemektedir.

Çelik ve Öztürk'ün çalışmasına göre (2022), Türk üniversitelerinin %90'ı GreenMetric yeşil vizyon skorlarında 100 üzerinden 15'ten daha az puan almış ve yalnızca İstanbul Teknik Üniversitesi ortalama skordan daha yüksek bir puana ulaşmıştır. Bu veriler, Türkiye'de sürdürülebilir kampüsle ilgili iyi tanımlanmış bir yönetim modelinin gerekliliğine işaret etmektedir.

Yükseköğretim Kurulu'nun İklim Dostu Kampüs Projesi kapsamında son birkaç yılda, gerçekleştirilen çalışmalar bazı kurumlara uluslararası başarı sağlamıştır. Türkiye'den 118 üniversitenin yer aldığı 2024 UI GreenMetric sıralamasında, İstanbul Teknik Üniversitesi 38. sırada, Yıldız Teknik Üniversitesi ise 59. sırada yer almıştır. Diğer yandan Gazi Üniversitesi ise 401. sırada yer alarak ulusal düzeyde ortalama bir performans sergilemiştir.

Yeşil girişimler, enerji tasarrufu önlemleri, geri dönüşüm ve atık bertarafı, su tasarrufu girişimleri, ulaşım çözümleri, çevre dostu bina tasarımları ve yeşil alanlar da dahil olmak üzere üniversite ve kolej kampüslerinde bulunabilir. Bu önlemler doğrudan kampüs karbon ayak izinin azalmasına yardımcı olur ve kampüs kaynaklarının minimumda tutulmasına katkı sağlar. Sürdürülebilir kampüsler ayrıca üniversitelerin algısını ve itibarını artırır ve bunların dünya sıralamalarına dahil edilmesini teşvik eder (Velazquez ve diğerleri, 2006).

Yönetimin kararlılığı, sürecin bir parçası olarak sürdürülebilir bir vizyon oluşturmaının önemini vurgular. "Benim için daha kolay hale geliyor, uzun süreli bir vizyon üzerinde çalışmaya başlayabilirim" olarak düşünmek, üst yönetimin sürdürülebilirlik vizyonunun ve uzun vadeli stratejilerin oluşturulmasını mümkün kılar. Ayrıca, öğrencilerin ve öğretim üyelerinin aktif katılımı, eylemlerin sürdürülebilirliği için önemli bir noktadır. Sürdürülebilirlik komiteleri, öğrenci kulüpleri ve paydaş katılımı çok-aktörlü yönetim modellerini meydana getirir (Dagiliütė ve diğeri, 2018).

GÜMMF'nde çevresel sürdürülebilirliğin artırılması, eğitimi ve öğretimi birincil odak noktası haline getirecek ve fiziksel kampüs ortamında daha kaliteli, çevreye duyarlı ve ekonomik bir yer elde eder. Fakültenin kendi sürdürülebilirlik projeleri, aynı zamanda uygulamalı araştırmalar için bir temel sunacak ve öğrencilerin teorik bilgi ve uygulama fırsatı sağlayacaktır.

2.4. Yeşil Kampüsler

Yeşil kampüsler, sürdürülebilir üniversitelerin çevre, toplum ve ekonomi olmak üzere üç ana alanda tanımlanan bütüncül bir vizyonudur. Bu fikrin potansiyel uygulamaları; enerji tasarrufu, atık yönetimi, sürdürülebilir ulaşım çözümleri ve doğal biyolojik çeşitliliğin korunmasını içeren birçok alanı kapsamaktadır. Yeşil kampüs, çevre dostu bir altyapı planlaması ve öğrencilere çevreci bir yaşam tarzı eğitimi vermek için bir araçtır.

Bir üniversitenin yeşil kampüs olabilmesi için sadece teknik altyapı satın alması yeterli değildir; aynı zamanda üniversitenin çevresel duyarlılığı kurumsal ve kültürel bir kimlik olarak benimsemesi gerekmektedir. Bu alanda, sürdürülebilirlik komisyonlarının kurulması, öğrenci ve personelin eğitim yoluyla katılımının sağlanması ve sürdürülebilirlik raporlarının yayınlanması gibi yönetim girişimleri önem taşımaktadır (Mutdoğan ve Öktem, 2020). Bunlar, üniversite hayatının tüm alanlarında çevresel farkındalık artırma girişimlerinin bir parçasıdır.

Yeşil kampüs standartları, genellikle uluslararası yeşil standart sistemleri tarafından önerilen çerçevelerdir. Enerji tüketimi, ulaşım, su yönetimi, geri dönüşüm ve atık kullanımı; yeşil yapılaşma ve akademik aktivitelerle ilgili değişkenleri dikkate alan UI

GreenMetric Dünya Üniversite Sıralamaları, kurumlar üzerinde geri bildirim döngüsü ve rekabetçi baskı yaratmaktadır (UI GreenMetric, 2023).

GÜMMF personel ve öğrencileri, yeşil kampüs anlayışını benimseyen bir yansıma olarak kurumsal düzenlemelerin ve katılımcı yaklaşımların fiziksel altyapı kadar önemli olduğunu bilincindedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir bina tasarımları, enerji verimliliğini artırıcı önlemler ve öğrenci kulüpleriyle birlikte uygulanacak diğer çevresel projeler, fakültenin örnek bir yeşil kampüse dönüştürülmesi için belirleyici olacaktır.

2.5. Sıfır Atık ve Atık Yönetimi

Sıfır atık, eski atık kavramını ve kaynakların israfını reddetmekte; bunun yerine, atıkların kategorize edilmesi ve atık malzemelerin kaynak haline getirilmesini teşvik eden eksiksiz bir çevresel yönetim stratejisine dönüşmekteyi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, döngüsel ekonomi ve artan kaynak verimliliği ile uyumludur. Sıfır atık sistemiyle, çevre üzerindeki olumsuz etkiler azaltılırken ekonomik faydalar elde edilir.

Türkiye 2017 yılında başlatılan "Sıfır Atık Projesi", kamu kuruluşlarından üniversitelere kadar geniş bir yelpazede benimsenmiştir. Bu düzeyde üniversitelerde hedeflenen amaç, kampüste sıfır atık yaratmak, öğrencilerin ve akademik personelin çöplerini yerinde ayırarak bir geri dönüşüm sistemine entegre edilmesidir. Bu uygulamalar, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın düzenlemelerine dayanmaktadır (T.C. ÇŞİDB, 2022).

Üniversitelerde etkin bir katı atık yönetimi kurmanın ilk adımı, üniversitelerde katı atıkların kaynağı ve akışı hakkında veri tabanı hazırlanmasıdır. Bu kontrol listesine göre, azaltım fırsatları belirlenmeli, kampüs genelinde geri dönüşüm istasyonları planlanıp konumlandırılmalı ve eğitim planlanmalıdır. Ayrıca, üniversite kafeteryaları, laboratuvarlar ve ofisler gibi tesislerde tek kullanımlık ürünlerin en aza indirilmesi için düzenlemeler yapılmalıdır (Pires ve diğerleri, 2011).

GÜMMF'nde sıfır atık ilkelerinin uygulanması, fakültenin çevre politikaları için sürekli gündem maddelerinden biri olmalıdır. Çözümler arasında fakülte içinde atık ayırma kutularının sayısının artırılması, öğrenci projeleri aracılığıyla sıfır atık farkındalığının

artırılması ve dijital dönüşüm ile daha az kâğıt kullanımı yer alabilir. Bu tür girişimler, kampüsün karbon ayak izinin düşmesine de yardımcı olacaktır.

2.6. Atık Yönetimi ve Sürdürülebilir Kampüsler

Atık yönetimi, sürdürülebilir bir kampüsün gelişiminde merkezi bir rol oynar. Nüfus yoğunluğu nedeniyle yüksek seviyelerde tüketim yapan kolejler ve üniversiteler, büyük miktarlarda katı, sıvı ve elektronik atık üretmeleriyle bilinirler. Sonuç olarak, etkili bir atık yönetim sistemi, kampüslerin çevre üzerindeki etkilerini en aza indirmek için temel bir gerekliliktir. Kaynak ayrıştırma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm bu politikanın temel ilkeleridir.

Daha sürdürülebilir bir kampüs vizyonunu gerçekleştirmek için, atık yönetimi kadar atıkların ortadan bertarafına da vurgu yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, "önleme, azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm" ilkeleriyle atık hiyerarşisine uyulmalıdır. Sürdürülebilirlik ofisleri, çevre mühendisliği bölümleri ve öğrenci kulüpleri, bu süreci üniversite kampüslerinde kolaylaştırmak için takım çalışması yapabilirler. Bu kapsamda atıkların periyodik gözlemi, raporlanması da şeffaflık ve denetim için önemlidir.

Üniversitelerin atık yönetimindeki başarısı, doğrudan kampüs kullanıcılarının sürdürülebilirlik hakkındaki farkındalığına bağlıdır. Bilgilendirme programları, atölye çalışmaları ile öğrenci ve personelin gönüllü olarak gerçekleştirebileceği geri dönüşüm kampanyaları, farkındalık seviyelerini artırmaya yardımcı olacaktır. Atıkların izlenerek takip edilebilmesi için simülasyona yönelik dijital uygulamaların geliştirilmesi, farkındalığı artıran resimlerin kampüste yaygınlaştırılması ve kampüs içi kaynağında ayrıştırmaya yönelik altyapı hizmetlerinin sağlanması gibi unsurlar önemli gereksinimlerdir (Alshuwaikhat ve Abubakar, 2008).

GÜMMF'nde uygulanacak atık yönetimi uygulamaları, sürdürülebilir bir kampüs oluşturmaının en temel gerekliliklerinden biridir. Öğrenciler ve fakülte arasında sürdürülebilirlik komiteleri kurarak hem atık miktarını azaltmak hem de daha fazla atığı geri dönüştürmek mümkündür. Bu sayede, kaynak kullanımı iyileştirilir ve çevre dostu, tasarruf odaklı bir kampüs modeli oluşturulabilir.

2.7. Su Yönetimi

Sürdürülebilir kampüs modelinin vazgeçilmez unsurlarından birisi de su yönetimidir. Suyun bilinçli kullanımı, doğal çevreyi koruma ve ekonomik sürdürülebilirlik gibi sebeplerden dolayı önemlidir.

Bir üniversite ve/veya yüksekokul kampüslerinde en çok su tüketimi yapılan alanlar: tuvaletler, kafeteryalar, laboratuvarlar, sulama sistemleri olmakla birlikte temizlik hizmetlerinin gerçekleştirildiği tüm alanlar da bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu alanlarda uygulanan su tasarruf önlemleri, kampüste toplam kullanılan su miktarında önemli bir azalmaya yol açabilecektir. (EPA, 2012).

Etkin bir su yönetimi stratejisi, su tasarruflu armatürlerin kullanımı, sızdırmazlık kontrollerinin düzenli yapılması, yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulması ve gri suyun yeniden kullanımı gibi uygulamaları içermelidir. Ayrıca kampüs genelinde su yönetimini izlenebilirliğini artırmak amacıyla su sayaçlarının yerleştirilerek tüketim analizlerinin yapılması ve peyzaj düzenlemelerinde az su isteyen bitki türlerinin tercih edilmesi de su yönetimi stratejisi açısından önemli bir yaklaşımdır (Friedler ve Hadari, 2006).

Su yönetimi stratejisine ilişkin etkinlikler, kampüs kullanıcılarının farkındalık düzeyi ile yakından ilgilidir. Öğrenci ve personeller, afiş ve dijital bilgilendirme ekranları gibi araçlarla düzenlenen su tasarrufu kampanyalarıyla farkındalık düzeyleri artırılabilir. Ayrıca, öğrenci gruplarıyla işbirliği içinde gerçekleştirilen farkındalık kampanyaları, su tüketimine ilişkin davranışları değiştirebilir ve su kaynakları yönetiminin sürekliliğini garanti altına alabilir (UNESCO, 2019).

GÜMMF'nde gerçekleştirilecek su yönetimi uygulamaları, eğitim öğretimin gerçekleştirildiği derslikler ve çevresinde suyun verimli kullanımda katalizör görevi görmekle birlikte fakültenin su denetimi, potansiyel su tasarrufu sağlanacak alanları belirlemeye yardımcı olacaktır. Sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında, kurumun su ayak izini azaltmak, kampüs genelinde çevresel sürdürülebilirliği ele alarak karbon ayak izini düşürmede yardımcı bir rol üstlenecektir.

2.8. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, sürdürülebilir kampüslerin temel ilkelerinden biri olarak, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması yani, kaynağın daha az girdiyle enerjiden daha fazla fayda sağlanması ile ilgilidir. Bu yöntem, hem çevresel etkinin minimize edilmesine hem de tasarruf yapılmasına olanak tanır. Özellikle üniversite kampüslerinde, binalarda ısıtma-soğutma cihazları, aydınlatma sistemleri ve bilgisayar gibi cihazların yoğun kullanımı kaynaklı enerji sarfiyatının fazla kullanımına bağlı olarak karbon ayak izinin artmasına neden olmaktadır.

Kampüs faaliyetlerinde, LED aydınlatma sistemi, hareket sensörlü lambaların kullanımı ve yalıtım, enerji verimli cihazların kullanımı gibi uygulamalar enerji verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Bu uygulamalara ek olarak kampüste güneş paneli gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması, çevresel sürdürülebilirliğe yardımcı olur ve dış enerji üretimine bağımlılığı azaltır (Altan ve diğerleri, 2013).

Enerji yönetimi aynı zamanda öğrenciler, akademisyenler ve idari personeller de dahil olmak üzere ilgili tüm taraflara bilinçli enerji tüketimi alışkanlığı kazandırma eğitimi de içermektedir. Bu anlamda, enerji tüketimi ile ilgili geçişler, kampanyalar veya dijital paneller farkındalık yaratır. Enerji verimliliği sadece teknoloji sorunu değil, aynı zamanda yönetim ve gönüllülük esasına dayalı bir sosyal sorumluluk görevidir.

Mevcut binanın enerji verimliliği değerlendirilmelidir ve YDD ile enerji ihtiyaçlarının etkisinin sonuçları gösterilmelidir. Bu analizler doğrultusunda, kampüste enerji verimliliği önlemlerinin uygulanabilirliği ve uygulanması incelenmelidir. Bu durumun bina ve altyapı düzeyinde nasıl gerçekleştirilebileceğini göstermek için, GÜMMF kapsamında enerji verimliliğine yönelik stratejiler değerlendirilmelidir.

2.9. Üniversite Kampüslerinin Sürdürülebilir ve Yeşil Kampüslere Dönüştürme Çalışmalarında Literatür Çalışmaları

Sürdürülebilirlik olgusu artık üniversitelerin teorik ve pratik olarak mekânlarında anlamlı çalışmalar için bir malzeme haline gelmiştir. Literatürde çeşitli sürdürülebilir kampüs tasarımı, bu tasarımlara yönelik uygulamalar ve başarı faktörleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunabilir. Bu çalışmaların çoğunluğu enerji tasarrufu, su, atık yönetimi, yeşil bina

tasarımı, karbon azaltımı ve yeşil kampüs yönetimi gibi alanlara değinmektedir (Filho ve diğerleri, 2018).

Bina bilgi modelleme (BIM) aracılığıyla enerji performans analizi eğitimlerinin binaların sürdürülebilirliğini artırdığını göstermiştir (Altan ve diğerleri, 2013). Bu tür dijital sanal teknolojiler, özellikle mühendislik ve mimarlık fakülteleri için sürdürülebilir kampüs planlaması açısından oldukça faydalı olabilir. GÜMMF içinde kullanılan aynı tür modelleme araçlarının uygulanması, mevcut sürdürülebilirlik stratejilerinden çok daha doğru ve gerçekçi olacaktır.

Başka bir literatür çalışması, üniversitelerin UI GreenMetric sıralamalarına göre sürdürülebilirlik profilini ele almaktadır. Bu analizler, dünya genelindeki ve Türkiye'deki üniversiteler arasında sürdürülebilir hale gelmenin, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kurumsal vizyon, mali kaynaklar ve paydaş katılımı gibi faktörlerle yönlendirildiğine inanılan farklılıkları göstermektedir.

Maliyetler, idari destek, teknik bilgi ve öğrencilerin katılım eksikliği, üniversitelerin sürdürülebilirlik yolculuğunda karşılaştıkları başlıca zorluklardır. Bu konuda yapılan araştırmalar, sürdürülebilir kampüs çabalarının yalnızca altyapı projelerine yatırım yapma gereksinimiyle hareket etme eyleminde değil, aynı zamanda kurumsal liderlik ve paydaşların katılımıyla başarılı olmak için karşı karşıya olduğu bir süreçtir (Sharp, 2002).

GÜ'nün bugüne kadar yapılan sürdürülebilirlik çalışmaları gelecekte yapılacak çalışmalarla birleştirilerek değerlendirildiğinde, mevcut durumların sürdürülebilirlik ve ilgili gelişim açısından ortaya konulan hedefler açısından bir çerçeve oluşturduğu; ayrıca, üniversitenin sürdürülebilirlik zorlukları ile karşı karşıya kaldığı durumu anlattığı sonucuna varabiliriz. Örneğin, Çakır (2019), kampüs alanının enerji, su ve atık yaşam döngüsü verimliliğini değerlendirmiş ve bazı önerilerde bulunmuştur. Bu öneriler, binaların enerji etiketlemesi, yağmur suyunun yeniden kullanılmasına yönelik sistemleri ve organik kompostlama gibi stratejileri de içermektedir.

Sürdürülebilir kampüs değişikliği ayrıca öğrenci katılımıyla da kolaylaştırılır. Üniversite öğrencilerinin çevresel tutumları, kampüsteki sürdürülebilir uygulamalar üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Öğrenci merkezli projelerin önemi, farkındalığı artırmaya

yönelik çalışmalara teşvik etmek için literatürde vurgulanmaktadır (Dagiliūtė ve diğerleri, 2018). GÜ'de, bu uygulamaları içeren ders planları ve öğrenci toplulukları etkinlikleri ile farkındalık çalışmaları yapılabilir.

Araştırma literatüründe kampüslerde sürdürülebilir ulaşım çeşitlerinin önemi de vurgulanmaktadır. Bisiklet, elektrikli kampüs otobüsleri için tesislerin geliştirilmesi ve yürünebilir kampüs alanlarının oluşturulması gibi çözümler, karbon emisyonlarını azaltmada önemlidir (Zhou ve Jin, 2018). Bu bağlamda, Gazi Üniversitesi Kampüsü'nün mimari yapısı bu uygulamalara ev sahipliği yapmaya uygundur.

Yeşil bina derecelendirme sistemleri de üniversite binalarının sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır. Türkiye'den B.E.S.T gibi ulusal sertifikasyon sistemleri ve LEED, BREEAM uluslararası derecelendirme sistemi gibi programlarla, kampüs yapılarının performansı gözlemlenebilir ve artırılabilir (Göçer ve diğerleri, 2021). Bu bağlamda, GÜMMF, binaları bu sistemlere uygun hale getirerek öncülük edebilir.

Literatür YDD yaklaşımının kampüs projelerinde giderek daha fazla uygulandığını göstermektedir. YDD enerji, su ve malzeme tüketimiyle ilgili çevresel etkilerin değerlendirilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Sürdürülebilirlik stratejilerinin performansını değerlendirmek ve geliştirmek için bu süreçten elde edilen veriler, bilimsel bir temel olarak hizmet vermektedir (Finkbeiner ve diğerleri, 2014).

Kısacası, GÜMMF için sürdürülebilirlik dönüşümüne yönelik literatürde birçok iyi uygulama örneği ve strateji bulunmaktadır. Kampüs dönüşümünde ise sadece teknik çözümlerin değil, aynı zamanda kültürel değişim, yönetim, pedagojik entegrasyon ve paydaş katılımının da ele alınması gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik performans göstergeleri, üniversitelerin sürdürülebilirlik geçişine odaklanan literatür çalışmalarında belirginlik kazanan bir başka konudur. Kampüsler için oluşturulan, sürdürülebilirlik girişimlerini izleme, değerlendirme ve karşılaştırma amacıyla üretilen akademik yayınlar, karar alıcılara rehberlik sunmaktadır. Bunlar arasında enerji kullanımı, karbon emisyonları, atık geri dönüşüm seviyeleri, su kullanımı, ulaşım tercihleri ve çevre eğitimi bulunmaktadır (Shriberg, 2003).

Türkiye'ye odaklanan çalışmaların sayısı son yıllarda artış göstermektedir. Özellikle kamu üniversitelerinde sürdürülebilirlik birimlerinin kurulması, sürdürülebilirlik raporlarının yayılması ve yeşil kampüs projelerinin uygulanması doğrultusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak literatürde sunulan bu uygulamaların henüz kurumsallaşmadığı ve bu tür uygulamaların uygulanmasında birçok engelin olduğu görülmektedir (Sunal ve Genç, 2020). Bu durum, stratejik hedefler formüle edilirken çevresel politikaların da dahil edilmesinin önemine açık bir örnek teşkil etmektedir.

İstanbul Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi gibi kurumların çalışmaları literatürde tanımlanan başarılı dönüşüm örneklerini içermektedir. Bu üniversiteler, yeşil binaların yaygınlaştığı ve öğrenci kitlelerinin katıldığı sürdürülebilir ofislere ev sahipliği yapmaktadır. Bu uygulama örnekleri, GÜ için yerel koşullarla uyumlu stratejik modeller oluşturabilir.

Sürdürülebilirlik literatüründe böyle bir disiplinlerarası yaklaşım vurgulanmaktadır. Mühendislik, mimarlık, çevre bilimi ve sosyal bilimler gibi çeşitli disiplinlerin katılımı, sürdürülebilir kampüs projelerinin başarısına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır (Lozano ve diğerleri, 2013). GÜMMF'de bu yaklaşımı tanıtmak, çevresel sürdürülebilirlik konularını akademik ve idari süreçlere entegre olacak şekilde özümsemesini sağlayacaktır.

2.10. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

İklim değişikliğinin önemli bir parametresi olan küresel ısınma, Dünya'nın iklim sisteminin ortalama sıcaklığındaki uzun vadeli artış olmakla birlikte doğrudan sıcaklık ölçümleri ile ısınmanın çeşitli etkilerinin ölçümleri ile kanıtlanmıştır. Küresel ısınma aynı zamanda iklim sisteminde birçok değişikliğe neden olabilir ve ekosistemleri, su kaynaklarını, tarımı, insan sağlığını ve yaşam ortamını ciddi şekilde tehdit edebilir (IPCC, 2021).

Sanayi Devrimi'nden bu yana insan faaliyetleri sonucu, atmosfere karbon salınımındaki geniş kapsamlı ve görece kısa zaman ölçeklerinde gözlemlenen artışlar (yıllar ve on yıllar boyunca), küresel ısınmanın önemli bir nedenidir.

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, sıcaklık artışlarına, yağış rejimlerinin değişmesine, buzulların erimesine, deniz seviyelerinin yükselmesine ve olağandışı hava olaylarının sıklığının artmasına neden olmaktadır. Bu değişimler, doğal ve antropojenik sistemleri ciddi biçimde etkilemekte, gıda güvenliği, su kaynaklarının varlığı, enerji arzı ve halk sağlığı gibi birçok alanda kırılganlık yaratmaktadır.

Araştırma ve uygulama alanları ile üniversiteler, iklim değişikliğiyle mücadele konusunda laboratuvar ölçekli şehir modelini oluştururlar. Üniversiteler, eğitim, bilgi üretimi ve toplumsal katılım ile ilgili kurumlar olarak iklim değişikliğinin etkilerinin kavranmasını kolaylaştırarak bu konuda çözümler geliştirir. Kurumsal düzeyde üniversitelerde gerçekleştirilen yerinde uygulamalar, enerji tasarrufu girişimlerini, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasını ve iklim eylemi planlamasını içermektedir (Filho ve diğerleri, 2022).

GÜMMF'de küresel ısınmaya karşı BCA'ya (Bina Karbon Değerlendirmesi) dayalı bir strateji uygulanabilir. Bu bağlamda bina ısıtmasından malzeme seçimlerine kadar Bornholm'un iklim etkisi hesaplanmalı ve bu etkilerle ilgili azaltım önerileri sistematik olarak ele alınmalıdır. Üniversite kampüslerinde yenilenebilir enerjiyi artırmak, yeşil bina standartlarını ve karbon dengeleme mekanizmalarının kullanımını teşvik etmek üzere alabileceğimiz somut adımlar bulunmaktadır.

2.11. İklim Değişikliği ile İlgili Yapılan Uluslararası Çalışmalar

2.11.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, dünya çapında iklim sorunlarını ele almak amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 1992 yılında kabul edilen bu sözleşme, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedefleyen küresel ölçekte ilk çevre anlaşmalarındandır. Sözleşme, 1994 yılında yürürlüğe girmiştir ve ülkeleri, gönüllü bir süreç içinde sera gazı emisyonlarını izlemeye, rapor etmeye ve azaltmaya yönlendirmektedir (BMİDÇS, 2023).

BMİDÇS çerçevesince, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki yükümlülüklerin paylaşılması, "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" kavramına dayanmaktadır.

Yükümlülükler gereğince, gelişmiş olan ülkelerin özellikle sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda önderlik etme sorumluluğu bulunmaktadır. Bunun yanı sıra gelişmekte olan ülkelerin teknoloji transferi, mali ve kapasite geliştirme yardımları konularında destek alacakları öngörülmektedir (Bodansky, 2010).

Süreç aynı zamanda, iklim değişikliğinin genel olarak ele alındığı BMİDÇS'nin yıllık Taraflar Konferansları (COP'ler) tarafından da tanınmaktadır. COP zirveleri, BMİDÇS'nin Kyoto Protokolü ve Paris Antlaşması gibi alt belgelerinin taslaklarını ve operasyonel yönlerini sonuçlandırmak yönünde de bir fırsat olarak kullanılmıştır. Bu tür toplantılar, yeni bilimsel içgörülerini politika oluşturma sürecine dahil etmenin politik olarak meşru bir yolu olarak da işlev görür (Falkner, 2016).

Gazi Üniversitesi gibi üniversitelerin, BMİDÇS tarafından ülkelerin sorumluluklarını hesaplama yöntemlerine uygun olarak kampüslerinde karbon azaltma stratejileri uygulamaları mümkündür. Üniversitenin sürdürülebilirlik stratejisini bu kabul görmüş uluslararası standart üzerine oturtturarak sera gazı azaltma taahhütlerini izleme, ölçme ve azaltmaya yönelik mekanizmalar açıkça geliştirilmeli ve iletişim kurulmalıdır.

2.11.2. Kyoto Protokolü

1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde kabul edilen Kyoto Protokolü, 2005 yılında yürürlüğe giren BMİDÇS'nin Taraflar Konferansı'nın 3. oturumunda formüle edilen uluslararası bir antlaşmadır. Protokol, BMİDÇS'nin uygulama araçlarından biri olarak 16 Şubat 2005 itibariyle zorunlu hale gelen ve sanayileşmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını belirli bir miktar azaltma yükümlülüğüne uygulanan ilk örnektir. Bu protokol, sanayileşmiş ülkelerin 2008-2012 döneminde emisyonlarını 1990 yılındaki seviyelerin altında ortalama %5 oranında azaltmaları gerektiğine vurgu yapan bir girişim başlattı (UNFCCC, 2023).

Kyoto Protokolü, kullanılan esneklik mekanizmalarının büyük kısmını içerir. Bunlardan bazıları Emisyon Ticareti, Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ve Ortak Uygulama (JI)'dir. Esneklik mekanizmaları, tarafların, diğer ülkelerdeki emisyonları düşüren projeleri uygulamalarına yardımcı olan araçlardır ve bununla birlikte karbon piyasalarının ve iklim değişikliği konusunda gönüllü kurumsal eylemin temelidir.

Ancak, Kyoto Protokolü, gelişmekte olan dünyayı yükümlü tutmadığı için eleştirildi ve bazı ülkelerin (örneğin, ABD ve Kanada hariç) bu protokolü imzalamaması veya onaylamaması etkisini zayıflattı. Bunlara rağmen, söylemsel anlamda Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması gibi alternatiflerin kapısını açan daha kapsayıcı bir uluslararası iklim rejimine yönelik bir adımı temsil etti (Betsill ve Bulkeley, 2004).

Gazi Üniversitesi de dahil olmak üzere diğer üniversiteler, kampüslerinde protokolün azaltma yönergelerini takip ederek iklim değişikliğiyle mücadelelerinde önemli bir rol oynayabilirler. Sera gazı envanterleri, enerji verimliliği faaliyetlerinin teşvik edilmesi veya yenilenebilir enerjiye geçiş gibi fakülteler düzeyinde alınan önlemler, Kyoto Protokolü ile uyumlu "mikro stratejiler" bile içerebilir.

2.11.3. Paris Anlaşması

Paris Anlaşması, 2016 yılında yürürlüğe giren ve 2015'te COP21'de kabul edilen bir iklim anlaşmasıdır. Bu anlaşma, 1997'de Kyoto'da kabul edilen Kyoto Protokolü'ne bir ek niteliğindedir. Ülkeler, sera gazı stokları oluşturabilir ve büyümeyi sınırlamak için uzlaşmış bir bütçe ve teknoloji payı yoluyla belirli emisyon seviyeleri veya temiz enerji için müzakere edebilir. Amaç, bu yüzyılda sıcaklık artışını 2 santigrat derece (°C) seviyesinin çok altında tutmak ve sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerine hatta daha fazla sınırlama çabalarını teşvik etmektir.

Diplomasi de herkese göre bir yaklaşım benimseyen anlaşmanın yeni bir özelliği var: Katılan her ülke, küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması için "ulusal olarak belirlenmiş katkılar" nedeniyle ne kadar fedakârlık yapmaya istekli olduğunu kendisi belirlemelidir. Bu çabaların her beş yılda bir daha güçlü taahhütlerle artırılması öngörülmektedir. Ayrıca, Paris Anlaşması, gelişmekte olan ülkelere iklim finansmanı, teknoloji transferi ve kapasite inşası desteği mekanizmaları içermektedir (Rogelj ve diğerleri, 2016).

Küresel iklim eyleminde katalizör olarak görev alan ve önemli kilometre taşlarından biri olan Paris Anlaşması çok paydaşlı bir yönetim yapısı etrafında tasarlanmıştır. Bu sebeple sadece bir çevre sorunu olmayan iklim değişikliği, kalkınma, insan hakları, cinsiyet ve sağlıkla ilgili çok yönlü bir sorundur. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda Paris

Anlaşması, SDG'lerle yakından ilişkilidir (BMKDP, 2021).

2.12. Sera Gazları ve Özellikleri

Sera gazları, atmosferde bulunan ve gün ışığının geçmesine izin veren, ancak Dünya'nın yüzeyinden yansıyan kızılötesi radyasyonu hapsederek Dünya'yı belirli bir sıcaklıkta tutan gazlardır. İnsan faaliyetleri, atmosferdeki bu gazların yoğunluğunu artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlarla ilişkilendirilmiştir (IPCC, 2021).

Sera gazı emisyonları, Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) olarak adlandırılan bir çevresel metrik operatörü temel alınarak CO₂ eşdeğerleri cinsinden ifade edilir. Sera gazları sadece iklim sistemini doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda diğer sistemler üzerinde (örneğin, enerji, su, ulaşım) ciddi bir baskı oluşturur.

Bu çalışma kapsamında GÜMMF'nin sera gazı emisyonlarına yönelik karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının salımı kampüsle ilgili faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Küresel olarak, şehirlerden elde edilen analizler gösteriyor ki bu gazların oluşmasındaki en büyük salım kaynakları doğalgaz kullanımı, elektrik tüketimi, ulaşım ve atıktır. Dolayısıyla, sera gazlarının özellikleri hakkında farkındalık, kampüs karbon ayak izi hesaplama ve azaltımının stratejik planlanması ve kontrolüne yardımcı olur (ISO, 2018).

Gazlar, farklı seviyelerde atmosferi etkilediğinden, sera gazlarının etkisini bir karbon ayak izi olarak kıyaslayabilmek için CO₂e'ye dönüştürülür. Örneğin, İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli'nin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporu' na göre CH₄ ve N₂O'nun 100 yıllık KIP değerleri sırasıyla 27 ve 273'tür. Bu KIP değerleri, farklı sera gazlarının iklim üzerindeki etkilerini CO₂e cinsinden karşılaştırmak için kullanabiliriz. Kampüste ise enerji tüketiminden dolayı CO₂ doğrudan salınmakta, CH₄ ve N₂O ise sırasıyla atık ve ulaşımında salınmaktadır.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), sera gazı kaynaklarını sistematik olarak tanımlama yaklaşımını benimser. Bu terim, hammaddelerin üretimi ile bertarafı (atık) arasında yer alan tüm süreçleri ifade eder ve sadece nokta kaynağı emisyonları ile sınırlı değildir (ISO, 2006). Bu nedenle, sürdürülebilir kampüsler için sağlam ve bilimsel olarak

titiz sera gazı yönetim faaliyetleri entegre edilebilir. Gazi Üniversitesi durumunda, YDD metodolojisi, sera gazı envanterinde doğrudan (sahada) tüketimleri ve dolaylı (tedarik zinciri ve öğrenci ile personel davranışları) verileri dikkate alır.

2.12.1. Karbondioksit (CO₂)

CO₂, atmosferdeki doğal karbon döngüsünün bir parçası olan renksiz ve kokusuz doğal bir gazdır. Sanayi devriminin etkisiyle insan faaliyetlerinin artması sonucunda atmosferdeki CO₂ emisyonlarının büyük ölçüde arttığını görüyoruz. Bu durum atmosferdeki sera gazı etkisini daha güçlü hale getiriyor ve dolayısıyla küresel ısınmaya neden oluyor.

İnsan faaliyetleri (fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, endüstriyel süreçler ve atık yönetimi gibi) atmosfere salınan CO₂ üretir (IPCC, 2021). 100 yıllık KIP "1" olarak alınır ve diğer sera gazlarının tepkileri bu gaza göre değerlendirilir.

YDD tabanlı modelleme, CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için mevcut birçok yöntemden biridir. CO₂ emisyonları için, yakıt tüketimi, elektrik kullanımı ve çeşitli süreçler ISO 14064-1:2018 ve Sera Gazı (GHG) Protokolü'nde önerilen yöntemlere uygun olarak spesifik emisyon faktörleri ile çarpılır. Bu faktörler, kampüsün yıllık tüketim verileriyle çarpıldığında yıllık CO₂ emisyonlarının hesaplanmasını oldukça pratik ve sistematik bir hale getirmektedir.

2.12.2. Metan (CH₄)

CH₄, koku ve renk içermeyen, yüksek derecede yanıcı bir gazdır. Atmosferde CO₂'ye göre çok daha az bulunmasına rağmen, 100 yıllık KIP açısından CH₄ daha güçlüdür (IPCC, 2021). Bu nedenle, az miktarlarda salınsa da iklim değişikliğinin son derece güçlü bir katalizörüdür.

Tarım, hayvancılık, atık depolama alanları ve yoğun biyolojik bozulmanın yaşandığı "sıcak noktalarda" CH₄ yayılır. CH₄ fosil yakıtların çıkarılması, dağıtımı ve kullanımı sırasında "sızıntılar" olarak da havaya salınabilir.

GÜMMF'nde doğrudan CH₄ üretimi çok az olsa bile, kampüste organik atıkların taşınması ve bertaraf edilmesi sırasında CH₄ salınımları beklenmelidir. Böyle bir senaryo, özellikle

Kapsam-3 emisyonları bağlamında dikkate alınmaktadır. Geri dönüşümle organik atıkların anaerobik ayrışması ile metan salınımları artar ve bu, kampüsün toplam dolaylı karbon ayak izine neden olur. Bu kapsamda üniversite, belediye çöplüklerine bırakılan kampüs atıklarının işlenmesi sırasında üretilen metan gazının sahibi sayılacaktır.

CH₄ emisyonu, genel olarak karbon ayak izi çerçevelerinde "atık yönetimi" ve "biyogenik süreçler" kapsamına dahil edilmektedir. Örneğin, organik içerik başına 0.09 kg CH₄ emisyonu varsayımı altında, CH₄ nedeniyle ortaya çıkan CO₂e kampüsün yıllık toplam atık üretimi dikkate alınarak hesaplanır.

Uluslararası ISO 14064-1:2018 standardına göre, bir kuruluşun envanterine metan gibi diğer sera gazları da dahil edilmelidir. Bu yaklaşımla, doğrudan enerji kullanımından ziyade çevresel açıdan ilişkili sistemler boyunca bütüncül olarak sera gazı etkisi hesaplanabilir.

Ekolojik kampüs binası çalışmasında, çevresel iyileştirmelerin etkileri (örneğin, atık azaltma ve ayrıştırma uygulaması) CH₄ emisyonlarını azaltmada ölçülebilir.

2.12.3. Nitröz oksit (N₂O)

Gülme gazı olarakta bilinen N₂O, iklim değişikliği açısından çok etkili sonuçları olan bir sera gazıdır. N₂O, aşağıda maddelendiği gibi çeşitli süreçlerden kaynaklanmaktadır:

- Gübreleme için atık çamurlarla toprağın ıslatılması,
- Fosil yakıtların endüstriyel yanması,
- Kırsal alanlarda organik atık yönetimi,
- Balıkçılık endüstrisi,
- Geniş ölçekli tarım endüstrisi ve
- Azotlu kimyasal üretimi gibi.

Tarım, biyolojik atık su arıtımı, fosil yakıtların yanması ve endüstriyel kaynaklar, bu gazın başlıca yayıcılarıdır (IPCC, 2021). N₂O'nun ısıyı tutma kapasitesi, 100 yıllık bir zaman diliminde KIP CO₂'den daha fazladır.

GÜMMF'de, doğrudan kaynaklı N₂O emisyonları düşük, ancak dolaylı N₂O emisyonları

mevcuttur. N_2O , fosil yakıtla çalışan araçların ve doğalgazla çalışan kazan sistemlerinin yanması yoluyla üretilir.

2006 IPCC faktörlerine göre tahminler yapılabilir: fosil yakıt kullanan araçlarda 1 litre dizelin yanması durumunda, ortalama 0,0001 kg N_2O tahmin edilmektedir. Genel olarak, kampüsün bazı organik biyolojik atıkları borulama yoluyla yerel atık su arıtma tesislerine atılmakta, biyosolid çamura dönüştürülmekte ve atılan biyolojik atıklardan gelen organik bileşenler, tesisat ve alan içi biyolojik atık arıtma süreçlerinde N_2O üretimine izin verebilir (IPCC, 2006).

N_2O için SimaPro gibi yazılımlarda kullanılabilecek envanter verileri bulunmaktadır. Örneğin, Ecoinvent veri tabanında araç türleri, yakıt türleri ve motor teknolojileriyle ilgili N_2O emisyon faktörleri bulunur. Bu istatistikler, kampüs ulaşımından kaynaklanan N_2O emisyonlarını tCO_2e cinsinden hesaplamak ve bunları kampüs karbon envanterine dahil etmek için kullanılacaktır.

CO_2 dışındaki sera gazlarının raporlanması, sürdürülebilirlik yönetiminin önemli bir yönü olarak kabul edilir (ISO 14064-1:2018). Bu senaryoda, güçlü, düşük emisyonlu (N_2O) sera gazlarının izlenmesi, özellikle çevresel performansın izlenmesi ve raporlanması açısından faydalı olabilir. Ayrıca, GHG Protokolü de ulaşımda düşük emisyonlu araçlara geçiş yapmanın, enerji sektöründe daha iyi yanma yönetimi uygulamanın ve atık su arıtımını güncellemenin N_2O emisyonlarını azaltabileceğini bildiriyor.

2.12.4. Halokarbonlar, kloroflorokarbonlar (CFC), perflorokarbonlar (PFC), hidroflorokarbonlar (HFC) ve kükürt hekzaflorür (SF_6)

İnsan yapımı sera gazlarından olan halokarbonlar, klor, flor ve karbon molekülleri içeren sera gazlarıdır. CFC (kloroflorokarbon), HFC (hidroflorokarbon), PFC (perflorokarbonlar) ve SF_6 (kükürt hekzaflorür) gazlarıdır. Genellikle soğutma sistemlerinde, yangın söndürücülerde, elektronik üretiminde, yüksek voltaj bileşenlerinde ve endüstriyel ortamlarda kullanılmaktadırlar. Doğada bulunmayan ve atmosferde uzun süre kalıp ozon tabakasını tüketen ve yüksek KIP'e sahip olan sera gazlarıdır. (IPCC 2021).

Halokarbonların KIP'ı çok yüksektir. Örneğin, SF_6 'nın KIP'ı 100 yılda yaklaşık 23 500'dür. Bu yaklaşım, atmosferdeki bir metrik ton SF_6 'nin 23 500 metrik ton CO_2 'ye eşdeğer

olduğunu ifade eder. CFC ve HFC gibi gazlar da yüksek KIP değerlerine sahiptir ve bu nedenle karbon ayak izleri belirlenirken ayrı ayrı ele alınmalıdır (IPCC, 2006). Bu gazlar, düşük miktarda emisyonların bile karbon ayak izi üzerinde nasıl önemli bir rol oynadığını gösterir.

GÜMMF'de, laboratuvarlardan (havalandırma sistemleri, buzdolabı üniteleri, elektronik ekipman) doğrudan geri kazanılan ve kullanılan bu tür gazların sızıntı tehdidi çok yüksek değildir. Özellikle, kampüsteki merkezi klima sistemlerinden dolayı soğutucu gaz sızıntısına bağlı dolaylı emisyonlar bunlardan biridir. Bu emisyonlar genellikle Kapsam-1 (kontrollü sistemlerdeki sızıntılar) ya da Kapsam-3 (tedarik zinciri) olarak kabul edilir (ISO, 2018).

YDD'de halokarbon verileri genellikle "kaçak emisyonlar" ve/veya "soğutma sistemlerinin gaz dolum süresi ve miktarlarından" elde edilir. Simapro, bu gazları belirli parametreler (soğutucu gaz türü, kullanım süresi gibi) aracılığıyla tCO_{2e} eşdeğerine dönüştürebilir. ISO 14064-1:2018 standardı altındaki envanterler bu gazları içerir ve GHG Protokolü, ısıtma, havalandırma veya iklimlendirme (HVAC) sistemlerine sahip tesisler için bu gazların yönetimini zorunlu kılar. KIP'nin kampüs genelindeki emisyonları, sistem programlama çabalarını artırarak ve sistemleri yeşil soğutuculara dönüştürerek bir dereceye kadar azaltılabilir.

2.12.5. Su buharı (H₂O)

Su buharı (doğal bir sera gazı olarak kabul edilen) aslında atmosferdeki doğal sera etkisinin yaklaşık %98'inden sorumlu olan başlıca doğal sera gazıdır. Atmosferdeki su buharının rolü ise oldukça sıcaklıkla hassas ve geçici bir tepkidir (IPCC, 2021) ve bu nedenle genellikle insanların neden olduğu sera gazı emisyonlarına ilişkin çalışmalarda göz ardı edilir. Başka bir deyişle, su buharı, karbondioksit gibi bir iklim "körükleycisi" değil, mevcut ısınmayı şiddetlendiren bir "geri besleme" olarak bilinir. Bu nedenle, genellikle karbon ayak izi hesaplamalarında su buharı açık şekilde dahil edilmemektedir. YDD yaklaşımı, su buharı emisyonlarını yalnızca dolaylı bir şekilde ele alır. Örneğin, yakıt yanmasında üretilen su buharı miktarı, enerji sistemlerinin ısı verimliliği ile ilişkilendirilmektedir.

H₂O, sürdürülebilir kampüs çalışmaları kapsamında, enerji verimliliği ve ısı kontrol sistemlerinin bir parçasıdır ve iklim etkisi göstergesi olarak değerlendirilmez (ISO, 2006). Özellikle kondansatörler gibi geri kazanım teknolojileri, dolaylı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur ve enerji sisteminde su buharı su olarak geri kazanıldığı için kaynak gereksinimini daha da azaltır.

Su buharı ve kondensasyon, sürdürülebilir kampüs yönergelerinde, yönetiminin bir parçası olarak daha fazla dikkate alınmaktadır. Yağmur suyu hasadı sistemleri, gri su kullanımı ve kayıpların (buharlaştırma) azaltılması uygulamaları, su kütlelerinin korunmasıyla doğrudan ilişkilendirildikleri için dolaylı olarak sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan unsurlardır. Bu durum, su buharında bulunan sera gazı miktarlarının daha az ve kolay ölçülebilir olmasına rağmen, sürdürülebilirlik yönetim kararları alınırken göz önünde bulundurulması gerektiği gerçeğini değiştirmez.

2.12.6. Ozon (O₃)

Ozon (O₃), aynı zamanda trioxygen olarak da bilinen üç atomlu bir moleküldür; keskin bir kokusu olan mavimsi bir gazdır ve atmosferde hem iyi hem de kötü yönleri vardır. "İyi ozon" stratosferde bulunur ve Yeryüzündeki yaşamı Güneş'in ultraviyole (UV) ışınlarından korur. Ancak "kötü ozon" troposferde oluşur, hava kirleticileriyle kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanır ve insan sağlığına ve ekosistemlere zararlıdır.

Troposferik ozon doğrudan bir sera gazı olarak salınmaz; daha ziyade, azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve uçucu organik bileşikler (VOC) gibi öncüllerin güneş ışığı ile fotokimyasal reaksiyonundan oluşan ikincil bir hava kirleticisidir (IPCC, 2021). Ozonun KIP'ı, diğer gazlardan farklı olarak çok değişken olup, IPCC tarafından 20 yıllık ölçekle CO₂'ye kıyasla değil, zamana göre KIP olarak belirtilmektedir. Ozon, kısa ömürlü iklim kirleticisi (SLCP) olarak kabul edilir ve kısa ömürlü ancak etkileri azalmayan iklim etkilerinin önemini taşır. Troposferik ozonun, sanayi bölgelerinde (örneğin, sanayi salım kaynaklarının yakınında) ve yoğun ve mega kentlerde, özellikle yaz mevsiminde, çarpıcı bir şekilde arttığı bildirilmiştir.

GÜMMF ulaşım politikaları ozonla doğrudan ilişkili değildir, ancak kampüs enerji sistemleri veya bina kimyasalları aracılığıyla potansiyel ozon oluşumu ile dolaylı olarak

ilişkilidir. Troposferik ozon, YDD yaklaşımında karbon ayak izi çalışmalarında insan sağlığı etkileri ve fotokimyasal ozon oluşumu dolaylı emisyonlar olarak değerlendirilmektedir.

2.12.7. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit (CO), renksiz ve kokusuz bir gazdır, doğası gereği zehirlidir ve karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucu oluşur. Gerçek bir sera gazı değildir, ancak atmosferde ozon gibi daha güçlü sera gazlarının oluşmasına yardımcı olur (IPCC, 2006). Ayrıca, CO, insan yaşamı için büyük bir tehdit oluşturur ve kapalı bir ortamda biriktiğinde ölümcül zehirlenmelere neden olabilir.

Kapalı bir ortamda birikimi sonucu ölümcül zehirlenmelere sebep olan CO emisyonlarının çoğunluğundan ulaşım sektörü sorumludur. Otomobillerin içten yanmalı motorları ve jeneratörler ile kazan sistemleri CO üretir. GÜMMF karbon ayak izi hesaplamalarında, CO doğrudan sera gazı emisyonları açısından hesaplanmamıştır. Bunun yanı sıra CO'nun etkilerinin olduğu diğer kategorilerde bu kimyasalın fotokimyasal ozon oluşum etkisi ve insan sağlığı üzerindeki dolaylı etkileri değerlendirilmeye dahil edilmiştir.

CO emisyonları, araç trafiğini azaltmaktan, alternatif yakıtlı araçları teşvik etmeye ve çevre dostu bir kampüs planının parçası olarak binalarda uygun havalandırma sistemlerinin uygulanmasına kadar uzanan girişimlerle ele alınabilir. ISO 14064-1:2018 standardı, sadece CO için özel olarak geliştirilmemiş olsa da (ISO, 2018), iklim sisteminde etkisi bulunan tüm kirleticilerin izlenmesini içerir. Daha geniş ölçekli bir üniversite kampüsünde CO emisyonunun, çevresel sağlık ve karbon yönetimi için sistematik olarak izlenmesi de gerekmektedir.

2.13. ISO 14064-1:2018 Kurumsal Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

ISO 14064-1:2018, bir kuruluşun karbon ayak izini değerlendirme konusunda dünya çapında tanınan bir standarttır. Bu standart, kuruluş seviyesinde sera gazının hesaplanması ve raporlaması için ilkeler ve özellikleri kapsamaktadır (ISO, 2018).

ISO 14064:2018'in ilkeleri, sera gazı envanterinin kavramını ve sınırını belirlemiş, bununla beraber sera gazı hesaplama ve raporlama yöntemini tanımlamıştır (ISO, 2018). Bu

standart, şeffaflık, doğruluk, tutarlılık, bütünlük veya karşılaştırılabilirlik gibi prensipleri kullanarak emisyonların hesaplama ve raporlanmasına hizmet eder.

GÜMMF kampüsünde gerçekleştirilen karbon ayak izi çalışması, ana referans standart olarak ISO 14064-1'e dayandırılmıştır. PW Çevresel Hesap Verebilirlik ve Planlama kapsamında, standart çerçevesinde kampüs faaliyetlerine bağlı dört kategoride sera gazı emisyonları tespit edilmiştir: Kapsam-1 (doğrudan), Kapsam-2 (dolaylı enerji ile ilgili), Kapsam-3 (diğer dolaylı) ve her üç kategori için ayrıntılı veri toplama ve emisyon faktörü haritalama ve hesaplama yapılmıştır.

ISO 14064-1, bu adımları organize etmek için yapılandırılmış bir süreç sunarak kampüs düzeyinde tüm kaynakların net bir denetimini sağlamıştır. Standart aynı zamanda belirsizlikleri de ele alarak emisyon hesaplamaları için uygulanan verilerin kalite seviyelerinin belirlenmesini önerir. Özellikle, kampüs düzeyinde bütünsel bakış açısı düşünüldüğünde standardın bu maddesi kritik önem taşır. GÜMMF için doğal gaz tüketimi, elektrik faturaları, anketler ve atık kayıtları gibi veri kaynaklarının güvenilirlik ölçekleri, verilerin kalitesinin incelenmesiyle belirlendi.

2.14. GHG (Greenhouse Gas) Protokolü

GHG Protokolü, şirketlerin karbon ayak izini belirlemek için uluslararası kabul görmüş bir standarttır. Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi (WBCSD) tarafından geliştirilen bu protokol, büyük ölçüde ISO 14064 serisi ile tutarlıdır ve çeşitli ülkelerdeki şirketler, kamu kurumları ve üniversiteler arasında yaygınlaşan bir standart yaklaşım haline gelmektedir (WRI ve WBCSD, 2004). Sınırın nasıl belirleneceğine dair adım adım bir kılavuz sunar ve faaliyet verilerinin toplanması, emisyon faktörlerinin seçilmesi, emisyonların hesaplanması ve raporlanması konusunda rehberlik sağlar.

GHG Protokolüne göre, emisyonlar üç kategoriye ayrılır: Kapsam 1 (doğrudan emisyonlar), Kapsam 2 (satın alınan elektrik, buhar, ısıtma ve soğutma kaynaklı dolaylı emisyonlar) ve Kapsam 3 (diğer dolaylı emisyonlar). Böyle bir kategorizasyon, tesislerin çevresel profillerini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmelerine ve emisyonlarını stratejik olarak yönetmelerine olanak tanır. Bu kategorizasyon kapsamında, GÜMMF

karbon ayak izi hesaplama sürecinde, fakültenin tüm faaliyet verileri toplanmış ve ilgili emisyon faktörleri ile çarpılarak CO₂e biriminde hesaplamaları yapılmıştır.

GHG Protokolü, emisyonların yalnızca CO₂ için değil, aynı zamanda CH₄, N₂O, HCs, FCs, SF₆ ve NF₃ dahil tüm Kyoto gazları için hesaplanmasını tavsiye eder. Bu bağlamda GHG Protokolü, sürdürülebilir üniversiteler için kapsamlı bir emisyon yönetim sistemi sunmaktadır. Sunulan bu yaklaşımın, enerji kullanımı, ulaşım faaliyetleri, atık yönetimi, su tüketimi ve yerleşke operasyonlarında mal ve hizmet alımlarıyla üretilen veya salımı olan farklı gazların hesaplanmasında kapsayıcı olduğu görülmüştür (GHG Protokolü, 2013).

GÜMMF için, üniversitenin kurumsal sürdürülebilirlik stratejilerinin temeli olarak GHG Protokolü'ne dayalı değerlendirme maddeleri kullanıldı. Kampüs emisyon envanteri oluştururken, verilerin şeffaf, karşılaştırılabilir ve hesap verebilir olmasını sağlamak için GHG Protokolü tarafından önerilen raporlama metodolojisi izlendi. Ayrıca, YDD yazılımına dayalı bir yöntemi (örneğin, SimaPro) GHG Protokolü ile birleştirerek, kapsamlar arası ilişkileri değerlendiren bir YDD perspektifine dayalı değerlendirme gerçekleştirildi.

2.15. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

YDD metodolojisi, bir ürün, sistem, uygulama veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca çevresel yönlerin ve potansiyel etkilerin nicel değerlendirmesi için kullanılan sistematik bir süreçtir. Bu metodoloji, ham maddenin çıkarılmasından bertarafa kadar tüm yaşam döngüsünü içerir ve bu tür bir yaklaşım, sistemden kaynaklanan çevresel yönleri mümkün olduğunca tamamlayıcı bir şekilde incelemeyi amaçlar (ISO, 2006).

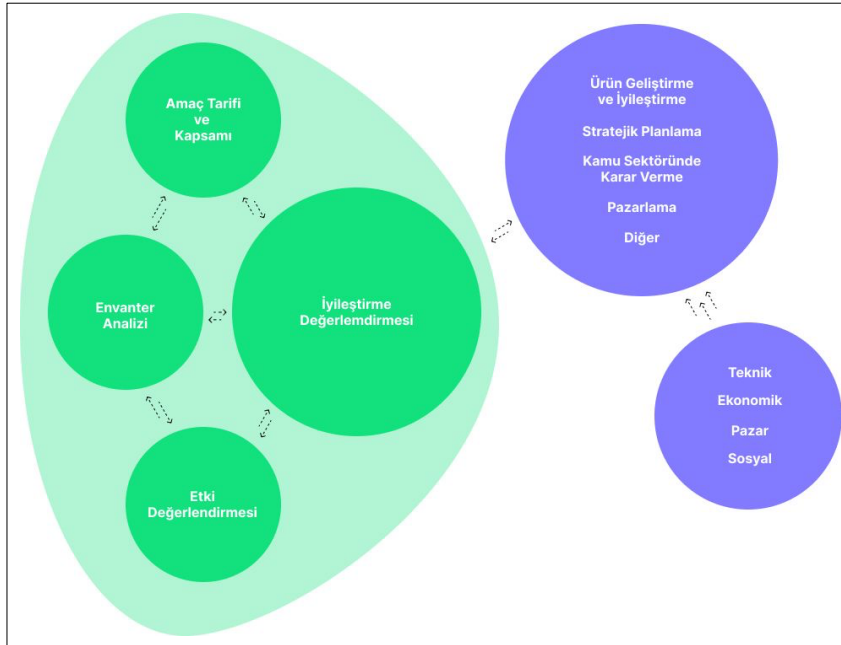
YDD, çok boyutlu bir analizdir ve sadece karbon ayak izi değil, birden fazla kriteri dikkate alır (yalnızca su ayak izi, enerji vb. değil, çünkü bunlar diğer etki kategorilerinin bir parçası olarak dikkate alınır). Bu anlamda sürdürülebilirlik analizlerinde de tercih edilir.

Çalışma kapsamında, GÜMMF'de kurumsal karbon ayak izine sahip olmak ve kaynağa dayalı sera gazı emisyonlarını daha detaylı bir şekilde belirlemek amacıyla bir kampüse uygulanan YDD metodolojisini gerçekleştirmiştir. Tüm ana kampüs sistemleri (enerji, ulaşım, su kullanımı, atık üretimi ve satın alma), yaşam döngüsü düşüncesi ile

modellenmiştir. Böylece, emisyonların yalnızca doğrudan faaliyetlerden değil, aynı zamanda dolaylı süreçlerden de kaynaklandığı tespit edilmiştir (Franchetti ve Apul, 2013).

Metodoloji, ISO 14040 ve 14044 standartlarının bir parçası olarak amaç ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanteri (YDE), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED) ve iyileştirme değerlendirmeleri şeklinde dört ana aşamadan oluşmaktadır. Bu yapı, pasif kampüs ortamı tasarımında çevresel konulara öncelik sağlar. GÜMMF örneğinde, bu dört adım SimaPro programında uygulanarak her bir sürecin karbon ayak izi üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

YDD'nin en büyük faydalarından biri, karar vericilere sadece mevcut çevresel yüklerin neler olduğunu değil, aynı zamanda alternatif sistemlerden ne kadar farklı olduğunu gösterme imkânı sunmasıdır. Bu imkân dahilinde GÜMMF'de karar alma süreci (örneğin, güneş panelleri ile enerji sağlama ve trafik kontrolü seçenekleri arasında) yaşam döngüsü düzeyinde değerlendirildi ve olasılık ve çevresel kazanç temeline göre alternatifler karşılaştırıldı. Böylece sürdürülebilir kampüsün sadece bir ideal değil, ölçülebilir ve izlenebilir rakamlar sunan somut bir alan olduğu anlaşıldı.



Şekil 2.1. YDD aşamaları

2.15.1. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde amaç ve kapsam belirleme

YDD'nin hangi ürün, sistem veya hizmetin dikkate alınması gerektiğini ve süreç içerisinde çevresel etkilerin hangisinin analiz edileceğini ve bulguların nasıl kullanılması gerektiğini kapsayan başlıca seçimlerin yapıldığı aşaması amaç ve kapsam belirlemedir. (ISO, 2006). Bu aşamada belirlenen tanımlarla YDD'nin uygunluğu ve doğruluğu kritik şekilde ilişkilendirilmektedir. Ayrıca amacın ve kapsamın tanımı hedeflenen kullanıcı grubunu, karar vericileri ve uygulama alanını da belirtmektedir.

Bu tezde GÜMMF'in sürdürülebilirlik indeksi, YDD tarafından hesaplanan karbon ayak izi verileri aracılığıyla analiz edilmektedir. Bu değerlendirmelerde fakülte faaliyetlerinden kaynaklanan ve enerji tüketimi ile iş seyahati ve konaklama gibi alanlarda yerleşmiş sera gazı emisyonlarına ve bunların çevresel etkilerine odaklanılmaktadır.

Kapsamın sınırlarının belirlenmesine ilişkin detaylar kapsamın tanımına dahil edilmektedir. Bu örnekte GÜMMF'nin bir takvim yılı boyunca gerçekleştirdiği tüm faaliyetler fonksiyonel birim olarak kullanılmıştır. Sistem sınırı belirlenirken, kampüs içindeki doğrudan gerçekleşen süreçleri ve dolaylı emisyonları dikkate alınarak "sınırlı kapıdan kapıya" yaklaşımı ile YDD uygulanmıştır (ISO, 2006).

Hangi çevresel göstergelerin değerlendirileceği de YDD'nin bu aşamasında belirtilmektedir. Çalışma kapsamında, ana gösterge olarak GHG emisyonları odaklanılmış ve CH₄, N₂O, HFC gibi diğer gazlar da KIP değerleri kullanılarak CO₂e dönüştürülmüş ve bu çalışmaya dahil edilmiştir.

2.15.2. Yaşam döngüsü envanteri (YDE)

YDE, YDD'nin ikinci aşamasıdır ve bu aşamada analiz edilen sistemin her bir girdisi (enerji, malzeme, su, vb.) ve çıktısı (emisyon, atık, yan ürünler, vb.) nicel olarak hesaplanır (ISO, 2006). Bu adımda, ürün sisteminin tüm girdi ve çıktıları belirlenir ve her bir ürün veya hizmet için toplanarak veri tabanlarında envanter oluşturulur. Envanter, amaca ve kapsamına dayalı olarak ayrıştırılır. Envanter bilgisi, YDD'nin bilimsel güvenilirliğini etkileyen en kritik parametrelerden biridir.

Bu çalışmada, GÜMMF'de bir takvim yılı boyunca gerçekleştirilen tüm faaliyetler dikkate

alınmış ve çevresel girdi ve çıktılar, yaşam döngüsü envanteri kapsamında sistematik olarak derlenmiştir. Envanter bilgileri, enerji kullanımı (doğal gaz ve elektrik), iş seyahatleri ve konaklama, fakülteye ulaşım verileri (personel ve öğrenci kilometreleri), kullanıcı anketleri ve yerinde gözlemler olmak üzere beş ana kategoride organize edilerek toplanmıştır. Toplanan verilerin kalitesi, YDE’de önemli bir konudur. ISO 14044 standardı, envanter verilerinin zaman, mekan ve teknoloji açısından temsil edilmesini önermektedir.

YDE verilerinin modellenmesi sürecinde, kampüsteki her duruma özgü etkinlik bir süreç olarak modellenmiş ve bu süreçlerin girdiler ve çıktılar açısından bağlantıları tanımlanarak bir süreç ağı oluşturulmuştur. Örneğin, bir zincir geliştirilmiş ve zincir akış şeması şu şekilde tasarlanmıştır: doğal gaz tüketimi → bina ısıtma sistemi → CO_{2e}. Öğrenci ulaşım şeması, ulaşım mesafesi, taşıma aracı türü ve seyahat sıklığı ile modellenmiş, taşıma sırasında karbon salınımlarını hesaplamak amacıyla yapılandırılmıştır. Bu yapılar, YDD yazılımı içinde matematiksel ve grafiksel olarak simüle edilmiştir (Franchetti ve Apul, 2013).

2.15.3. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında kullanılan araçlar

YDD, girdi ve çıktı verilerinin kapsamlı bir şekilde sistematik modellemesi ve değerlendirilmesine ihtiyaç duyan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda süreçleri tanımlamaya, veri entegrasyonunu sağlamaya ve farklı sınıflandırma seviyelerinde çevresel etkilerin nicel bir simülasyonunun oluşturulmasına yardımcı olan özel yazılım araçları kullanılmaktadır (ISO, 2006). YDD yaklaşımında kullanılan modelleme araçları bilimsel titizliği sürdürmekte ve hesaplamalarda kolaylık sağlamaktadır.

Günümüzde, YDD hesaplamaları için yaygın olarak kullanılan yazılım araçları SimaPro, GaBi, openLCA, Umberto ve One Click LCA'dır (Franchetti ve Apul, 2013). PRé Sustainability tarafından üretilen bir yazılım olan SimaPro, akademik araştırmalar ve kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında yaygın olarak uygulanan bir YDD yazılımıdır. SimaPro ile kullanıcılar ISO 14040/44 standartlarına uygun analizler yapabilir, Ecoinvent ve Agri-footprint gibi veritabanlarını içeren tam çalışma setlerine erişebilir ve süreçler arasındaki ilişkileri grafiksel olarak modelleyebilirler.

Bu modelleme yazılımlarından biri olan GaBi yazılımı, otomotiv, elektronik ve ambalaj gibi endüstriyel sektörler için kapsamlı veri setleri ile bütüncül değerlendirmeleri destekler.

OpenLCA, ağırlıklı olarak üniversitelerde eğitim ve araştırma amacıyla kullanılmak üzere GreenDelta tarafından geliştirilen açık kaynaklı ve ücretsiz bir yazılım platformudur. Ayrıca, Python ile modellemeye dair bütünleşik bir yaklaşım sunar. Bu kategoride, interaktif bir şekilde YDD sonuçlarını belgelerle (Word, Excel, vb.) verebilmesinin yanı sıra raporlamada yardımcı olacak "Rapor Üretici" gibi eklentiler de yazılımın içerisinde bulunmaktadır.

SimaPro 9.5.0 versiyonu, GÜMMF’de gerçekleştirilen karbon ayak izi hesaplama ve YDD çalışmalarında kullanılmıştır. SimaPro ile fakültede enerji kullanımı, ulaşım, su kullanımı ve atık üretimi gibi gerçekleştirilen faaliyetler ayrı ayrı modellenmiş ve birden çok çevresel etki kategorileri (örneğin, iklim değişikliği, asitlenme, ötrofikasyon) üzerinden değerlendirilmiştir. Ecoinvent veritabanından elde edilen çarpanlar, yalnızca doğalgaz gibi enerji tüketim türlerinin kullanım aşamasını değil, aynı zamanda çıkarma aşaması, taşıma aşaması ve dağıtım aşamalarını içeren diğer süreçlerde meydana gelen dolaylı etkileri de değerlendirmeye dahil etmektedir (Franchetti ve Apul, 2013).

Bu şekilde, YDD yazılımı, kampüsler gibi çok aktörlü sistemlerdeki çevresel etkilerin bilimsel ve izlenebilir bir değerlendirmesini sağlayarak, çevresel yükü daha fazla oluşturan süreçleri belirlemek ve böylece daha anlamlı sürdürülebilirlik stratejileri planlamak için olanak tanır.

2.15.4. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin kullanım alanları

YDD, bir sistemin çevresel performansını bilimsel bir şekilde değerlendirmek için geliştirilmiş bir yöntemdir ve bugün YDD sadece ürün düzeyinde uygulanmakla kalmayıp, aynı zamanda kurumsal kararlar, stratejik planlama ve sürdürülebilirlik raporlaması gibi alanlara da önemli ölçüde genişletilmiştir. Bu metodoloji (ISO, 2006), sürdürülebilir kalkınma standartlarına uygun çevre dostu politikalar geliştirmeye yönelik herhangi bir süreç için gerekli bir gereksinimdir.

YDD'nin en popüler uygulamalarından bazıları; ürün tasarımı ve çevresel etki minimizasyonur. Firmalar, tedarik zinciri boyunca ürün üretimi ve bertarafı arasında ürünlerinin çevresel etkilerini belirleyebilir ve eko-malzeme, yeşil üretim tekniği ve eko-dağıtım süreci seçebilirler. Üniversite kampüsleri için de önemli olan bu uygulamalara bir örnek verecek olursak, GÜMMF, kırtasiye malzemeleri, temizlik ürünleri veya teknik ekipmanın çevre üzerindeki etkileri, satın alma politikalarında YDD odaklı tercihlerle azaltılabilir.

YDD bu uygulamalarla, tedarik zinciri, enerji altyapısı ve ulaşım operasyonlarında hem doğrudan hem de dolaylı emisyonları içeren çok boyutlu bir emisyon değerlendirmesi sunar (Franchetti ve Apul, 2013).

GÜMMF için özel olarak hazırlanan bu çalışmada, kampüste gerçekleştirilen her bir faaliyetle oluşturulan karbon ayak izinin yaşam döngüsü boyunca nasıl dağıldığı ve emisyonların hangi süreçlerde yoğunlaştığı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları, kampüsteki sürdürülebilirlik çabalarına yardımcı olabilir.

YDD, ayrıca kent planlaması, bina tasarımı ve kampüs altyapısı gibi alanlarda da başarıyla kullanılmaktadır.

YDD tabanlı çevresel performans göstergeleri, özellikle yeşil bina sertifikasyon sistemleri (LEED, BREEAM, DGNB, vb.) söz konusu olduğunda belirleyici hale gelir. GÜMMF gibi büyük bir kurumda, yeni binalar için yapılan inşaat yatırımlarında, malzeme kullanımı, enerji sistemleri ve su tercihleri sonucu ortaya çıkan çevresel etkiler, yaşam döngüsü tabanlı analizlerle yönlendirilebilir.

YDD sonuçları eko etiketleme, sürdürülebilirlik raporlaması ve ürün karbon ayak izi hesaplamalarında da kullanılmaktadır. Tüm bunlara ek olarak üniversiteler tarafından geliştirilen raporların içindeki şeffaflık ve sorumluluk ilkeleri için önem arz eden YDD sonuçları bu raporlamalarda üniversite faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilere yönelik bilimsel bir açıklama sağlamaktadır.

2.16. Karbon Ayak İzi

CO₂ emisyonlarına ilişkin bir çevresel gösterge olan karbon ayak izi, bir faaliyetin ya da ürünün yaşam evreleri boyunca biriken doğrudan veya dolaylı olarak sebep olduğu emisyonların toplamıdır. Genellikle tCO₂e biriminde ifade edilen sera gazlarının bu nicel ölçümü ya da "karbon ayak izi", enerji kullanımı, ulaşım, tarımsal uygulamalar, endüstriyel üretim ve atık yönetimi gibi birden çok alanda gerçekleşen faaliyetlerin iklim üzerindeki etkisini nicel olarak yansıtır (Wiedmann ve Minx, 2008: 7).

Karbon ayak izi genel olarak iki ana bileşenden oluşur. İlk bileşen, doğrudan emisyonlardan oluşan ve bireyin ya da kurumun kendi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan birincil karbon ayak izi genellikle fosil yakıt kullanımı gibi doğrudan enerji tüketimlerinden kaynaklanır. Ürün ya da hizmetlerin üretim sürecinde kullanılan ham maddeler, taşımacılık ve dış kaynaklı hizmetler gibi dolaylı faaliyetlerden kaynaklanan ikinci bileşen ise oluşturan ikincil karbon ayak izidir. İkincil karbon ayak izi, tüketici ya da üretici tarafından doğrudan kontrol edilemeyen ancak tedarik zincirinden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarını içerir (Pandey, Agrawal ve Pandey, 2011).

Çevresel etki analizlerinde kullanılan temel göstergelerden biridir ve sürdürülebilirlik planlarının geliştirilmesinde kritik bir araç olan bu emisyonlar doğrudan veya dolaylı olsun ve özellikle CO₂, CH₄, N₂O ve Kyoto Protokolü tarafından tanıtılan sera etkisi listesindeki diğer gazların salımı ile oluşmaktadır (IPCC, 2021). Bu gazların atmosfere daha fazla salımı oluştukça, ortalama sıcaklık artar ve çevresel denge bozulduğundan felaketler daha yaygın hale gelir. Çevresel dengenin bozulmasıyla aşırı hava olayları örneğin; daha fazla kuraklık, sel, orman yangını meydana gelir (IPCC, 2023). Ayrıca buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve tatlı su kaybı gibi süreçler biyolojik çeşitliliği tehlikeye atar ve bu durum ekosistemlere geri dönüşü mümkün olmayan zararlar verir (IPCC, 2021).

Karbon emisyonunun azaltılması çevresel ve sosyoekonomik olarak kabul görmektedir. Düşük karbon teknolojilerinin kullanımı ve enerji verimliliğine geçiş, zamanla maliyet tasarrufu sağlamakta, karbon vergileri ve sınır karbon düzenlemeleri gibi yönetmeliklere karşı rekabeti kapsamakta ve karbon ayak izinin azaltılması eğiliminin devam ettirilmesi hava kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olarak genel kamuya net bir sağlık faydası sağlamakta ve solunum rahatsızlıkları gibi sağlık risklerini azaltmaktadır (Watts ve

diğerleri, 2018).

Uluslararası düzeyde karbon ayak izine yönelik sıkılaşılan politika ve yasalarla birlikte AB özelinde, 2050'ye kadar iklim nötr bir varlık olma hedefi hukuki destek almış olup, ürünlerdeki gömülü karbonun dikkate alınması zorunlu hale gelmiştir. Örneğin Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması düzenlenmiştir. Türkiye bu eğilimleri yakalamak amacıyla, Paris Anlaşması'nı 2021'de onaylamış ve 2053 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşma taahhüdünde bulunmuştur (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Verilen bu taahhütler, organizasyonların karbon ayak izlerini ölçmeleri, şeffaf bir şekilde raporlamaları ve azaltma planları geliştirmeleri gerektiğini ortaya koymaktadır. ISO 14064-1:2018 standardında tanımlanan temel ilkeler ve GHG Protokolü, karbon ayak izini tutarlı ve şeffaf bir şekilde hesaplamak için rehberlik sağlar.

GÜMMF'de yapılan bu çalışmada karbon ayak izi belirlenmiş ve bu amaçla doğal gaz tüketimi, elektrik kullanımı, ulaşım, su kullanımı, atık oluşturma ve tedarik süreçleri gibi birçok parametre hesaplanmıştır. Bu çalışma sonuçları, kampüsün çevresel etkilerinin ölçülmesine ve sürdürülebilirlik stratejilerinin sıralanmasına olanak sağladı.

Karbon ayak izi hesaplamaları, sürdürülebilir kampüs planlamasında bir karar verme mekanizması işlevini görür. Bu tür hesaplamalar, üniversiteler için yalnızca kurumsal çevre sorumluluğu süreçlerine rehberlik etmekle kalmaz aynı zamanda öğrencilerin ve personelin çevre ile sürdürülebilirlik konularında farkındalık geliştirmesine katkı sağlar; bununla birlikte dış paydaşlara karşı şeffaflık sunarak kurumun iklim hedeflerine ulaşmasına da destek olur. Sonuç olarak, karbon ayak izinin izlenmesi ve raporlanması tek seferlik bir işlem değildir. Aksine, düzenli olarak takip edilmesi ve yönetilmesi gereken dinamik bir süreçtir (Franchetti ve Apul, 2013).

2.16.1. Kurumsal karbon ayak izi

Kurumsal karbon ayak izi, belirli bir zaman diliminde bir kuruluşun tüm faaliyetlerinden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarının tCO₂e cinsinden hesaplanmasıyla elde edilen çevresel bir parametredir. Bu fikir, büyük kuruluşların (örneğin işletmeler, kamu kuruluşları ve üniversiteler) iklim değişikliğine olan katkılarının çevresel etkilerini analiz etmek ve azaltmak için geliştirilmiş yöntemlerin odağıdır.

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları, ISO 14064-1:2018 standardı ve GHG Protokolü (ISO, 2018) esas alınarak yapılır.

Entegre kurumsal karbon ayak izleri, çevresel ve finansal olarak stratejik avantajlar sunarak risk yönetimi, marka değeri ve paydaş ilişkileri perspektifinden de fayda sağlar (GHG Protokolü, 2013).

GÜMMF’de yürütülen bu tez çalışmasında, kurumsal karbon ayak izi YDD yöntemiyle hesaplanarak değerlendirilmiştir. Fakültenin doğalgaz ve elektrik tüketimi, ulaşım, su kullanımı ve atık verileri fakülte emisyonlarının hesaplanması için kullanılmıştır. Bu süreçte birincil veriler olarak faturalar, sayaçlar, anketler kullanılmış ve ikincil veriler olan emisyon faktörleri, veri tabanları ile birleştirilmiştir.

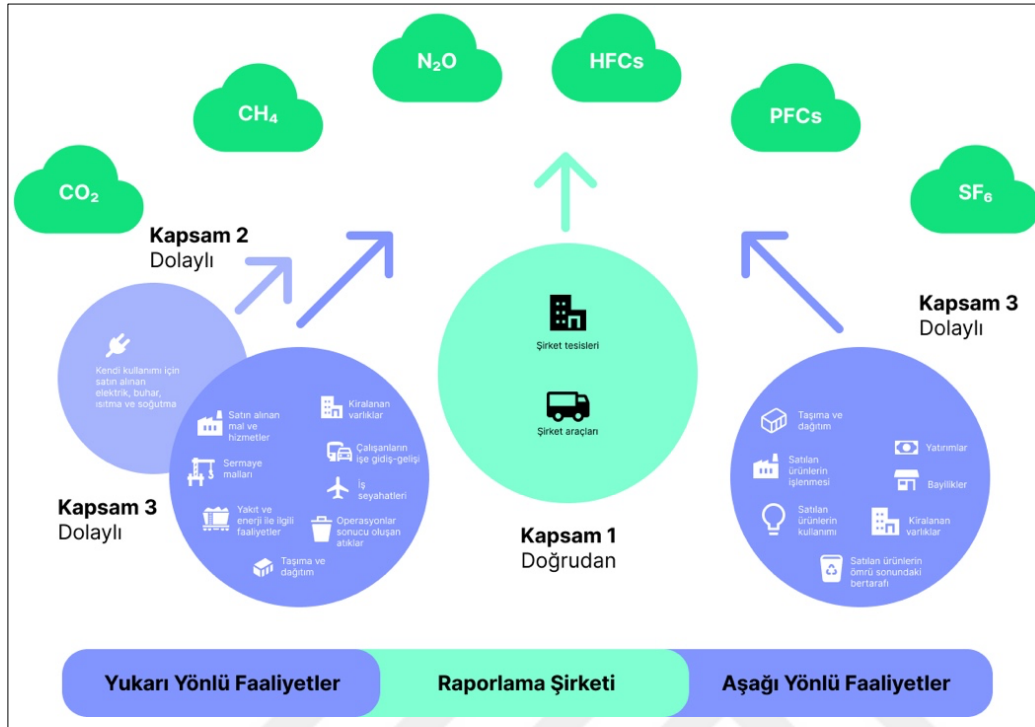
Kurumsal karbon ayak izi hesaplamasının kampüslerde genişletilmesi, sürdürülebilir kampüs planlamasına yeni bir bakış açısı getirir. Karbon emisyonlarının yıllık düzeyde hesaplanması, enerji verimliliği uygulamalarına öncelik verilmesi, çevre dostu tedarik politikalarının benimsenmesi ve düşük karbonlu ulaşım çözümlerinin teşvik edilmesi Gazi Üniversitesi gibi büyük ölçekli kamu kurumlarında stratejik kararların şekillendirilmesine önemli ölçüde katkı sağlar. Ayrıca bu tür sistematik hesaplamalar, üniversitenin hem ulusal platformda hem de kurum içi sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde daha yüksek sıralamalarda yer almasına olanak tanır.

Özetle, kurumsal karbon ayak izi hesaplaması, üniversiteler için yalnızca çevresel olarak sorumlu olduğumuz davranış olmamakla birlikte bir yönetim, imaj ve sosyal sorumluluk aracıdır.

2.17. En Çok Kullanılan Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları için uluslararası düzeyde tanınan iki öncü hesaplama yöntemleri GHG Protokolü ve ISO 14064 standartları serisidir. Bu yöntemler birbirini dışlayan yöntemler olmanın aksine birbirini tamamlayıcı sistemlerdir.

2.17.1. GHG protokolüne dayalı hesaplama yaklaşımı



Şekil 2.2. GHG Protokolü sera gazı emisyon kapsamları (kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3) ve kaynaklarına göre sınıflandırılması

GHG Protokolü, WRI ve WBCSD ile iş birliği içinde geliştirilmiş olup, uluslararası düzeyde sera gazlarının hesaplanması ve raporlanması için en yaygın kullanılan standartlardan biridir (WRI ve WBCSD, 2004). Şeffaflık, doğruluk, tutarlılık ve tamlık ilkelerini kullanarak, bu protokol organizasyonlara emisyonlarını üç farklı kapsama ayırarak ve rapor ederek sistematik bir yaklaşım sunar.

Protokol, organizasyonel (kontrol tabanlı vs.) ve operasyonel sınırların net bir şekilde belirtilmesini gerektirir; böylece hesaplamaların kapsamı şeffaf ve karşılaştırılabilir olabilir.

Kapsam-1: Doğrudan Emisyonlar, organizasyonun sahip olduğu veya doğrudan kontrol ettiği ekipmanlardan kaynaklanan GHG emisyonlarını içerir. GÜMMF'de, doğrudan emisyonlar Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere doğalgaz ısıtma sistemleri, personel servis araçları ve laboratuvarlardaki kimyasal reaksiyonlar gibi durumları kapsam içine alır.

Kapsam-2: Enerji Tüketimi Kaynaklı Dolaylı Emisyonlar, organizasyon tarafından sahip

olunmayan ancak organizasyon tarafından satın alınan kaynaklardan üretilen ikincil emisyonları içerir; örneğin elektrik, buhar, ısı veya soğutma. GÜMMF'de kullanılan elektrik de bu kategoriye girer.

Kapsam-3: Bir kuruluşun sahip olmadığı veya kontrol etmediği, ancak operasyonları aracılığıyla dolaylı olarak yaydığı tüm sera gazı emisyonlarını kapsar. Tedarik zincirindeki hem yukarı yönlü hem de aşağı yönlü tüm faaliyetlerini içerir. Sonuç olarak, Kapsam 3 emisyonları, Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere bir kuruluşun üretim-tüketim zincirine daha kapsamlı bir bakış açısı sunar ve toplam karbon ayak izinin önemli bir bölümünü oluşturur.

Çizelge 2.1. GHG Protocol'e göre hesaplama yapısının genel özeti

Kapsam	Emisyon Kaynağı	Genel Hesaplama Yaklaşımı
Kapsam -1	Doğrudan Yanma Tesis İçi Süreçler Şirket Araçları	Faaliyet Verisi x Alt Isıl Değer x Emisyon Faktörü x Oksidasyon Faktörü
Kapsam - 2	Satın Alınan Elektrik Isı Buhar	Elektrik Tüketimi x Şebeke Emisyon Faktörü
Kapsam - 3	Tedarik Zinciri Ulaşım Atık Dış Hizmetler	Faaliyet Verisi x Emisyon Faktörü

GHG Protokolü, GHG envanterlerini GHG Protokolü altında ölçen kuruluşların karbon ayak izlerini uluslararası standartlara göre hesapladıklarını ve sera gazı emisyonlarını tutarlı bir şekilde yönettiklerini doğrular. IPCC metodolojileri ve ISO 14064-1 standartları ile birlikte kullanıldığında, emisyon verilerinin güvenilirliğini üçüncü tarafların huzurunda kanıtlamak ve bu tür verilerin yeşil finansman ve karbon ticareti gibi amaçlar için resmi tanınırlığını elde etmek mümkün olur.

2.17.2. ISO 14064 serisine dayalı hesaplama yaklaşımı

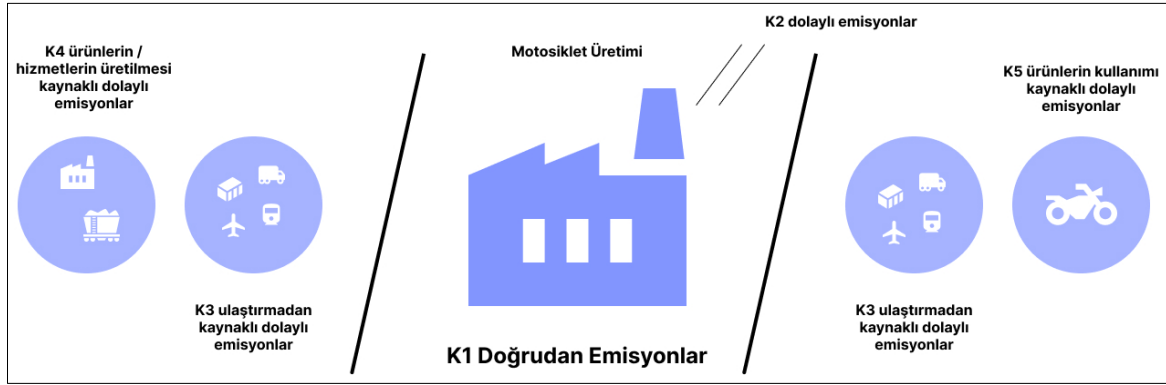
2006 yılında ISO 14064 serisi olarak ISO tarafından yayınlanan ve 2007 yılında Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından Türk Standardı olarak benimsenen bu standartlar serisi, sera gazı emisyonlarının ve hesaplamalarının, raporlanması ve doğrulanması için uluslararası bir kılavuzdur. ISO 14064, iklim değişikliğine yönelik sera gazının muhasebesi ve doğrulama protokolü olarak geliştirilmiştir, ancak daha doğru bir şekilde, iklim değişikliği ile ilgili tüm maddeleri kapsayacak biçimde, antropojenik sera gazları protokolü olarak adlandırılması gerekir.

ISO 14064 serisi üç ana standarttan oluşmaktadır:

ISO 14064-1:2018: Kuruluş seviyesinde sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının hesaplanması, izlenmesi ve raporlanmasına yönelik ilkeleri ve gereklilikleri belirtir. Standart, hem doğrudan hem de dolaylı emisyon kaynaklarını kategorize etmeyi, veri toplama için rehberlik sağlamayı ve sera gazı envanterlerinin bağımsız üçüncü bir tarafça doğrulanmaya uygun olmasını sağlamayı amaçlar (ISO, 2018).

ISO 14064-2:2019: Sera gazı azaltım projeleri olarak Kyoto Protokolü'nde tanımlanan projeler dahil olmak üzere, proje bazlı faaliyetlere odaklanır ve bu hedeflerin gerçekleştirilmesine katkıda bulunmayı hedefler. Bu standart, proje seviyesinde sera gazı beyanlarının değerlendirilmesine ve onaylanmasına ilişkin kriterleri ve prosedürleri ortaya koyar (ISO, 2019).

ISO 14064-3:2019: Sera gazı emisyonlarını ve uzaklaştırmalarını ya da projelerini doğrulama ve onaylama amacıyla üçüncü taraf kuruluşlarına yönelik bir standarttır. Standart, ilkeler, gereklilikler ve rehberlik içerir. Bu bölüm, sera gazı beyanlarının tamlık, doğruluk, tutarlılık, şeffaflık ve uygunluk prensiplerini güvence altına alacak şekilde raporlanmasını sağlar. Özellikle, gönüllü karbon piyasalarına katılım veya karbon kredileri ile ticaret gibi işlemlerde doğrulamanın uygulanabilir bir mekanizma olarak gerçekleştirilmesini sağlar.



Şekil 2.3. ISO 14064 serisinde sera gazı emisyonlarının kaynaklarına göre sınıflandırılması

ISO 14064-1:2018 standardı, Şekil 2.3’de görüleceği üzere altı ana kategoriye ve aşağıda sıralandığı gibi yirmi alt kategori olacak şekilde sistematik olarak sınıflandırılmaktadır.

Kategori 1 Doğrudan Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları: Doğrudan SG emisyonları ve uzaklaştırmaları, kuruluş sınırları içindeki ve kuruluşun sahip olduğu veya kontrol ettiği SG kaynaklarından veya yutaklarından meydana gelir. Bu kaynaklar sabit (örn. ısıtıcılar, elektrik jeneratörleri, endüstriyel süreç) veya hareketli (örn. araçlar) olabilir.

1.1 Sabit Yakmadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları (ör. kazanlar, fırınlar)

1.2 Hareketli Yakmadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları (ör. araçlar, forklift)

1.3 Endüstriyel Süreçlerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları (ör. kimya sanayi)

1.4 Sistemlerdeki Doğrudan Kaçak Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları (kaçak Emisyonlar, örneğin soğutucu gaz sızıntıları)

1.5 Arazi Kullanımı ve Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları

Kategori 2 İthal Edilen Enerjiden Kaynaklanan Dolaylı Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları: Bu kategori, elektrik, ısınma, soğutma, basınçlı hava gibi yalnızca nihai enerji veya hizmetlerin üretimi ile ilişkili yakıtların yakılması sonucunda gerçekleşen sera

gazı emisyonlarını içermektedir.

2.1 Kuruluş Tarafından İthal Edilen Elektriğin Üretimi ve Tüketimiyle İlgili Dolaylı Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları

2.2 Enerjinin (buhar, ısınma, soğutma ve basınçlı hava) Üretimi ile İlgili İthal Edilen Dolaylı Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları

Kategori 3 Ulaştırmadan Kaynaklanan Dolaylı Sera Gazı Emisyonları ve Uzaklaştırmaları: SG emisyonları, kuruluş sınırlarının dışında bulunan kaynaklardan meydana gelir. Bu kaynaklar hareketlidir ve çoğunlukla ulaşım ekipmanlarında yakılan yakıttan kaynaklanır. İlgili olmaları durumunda aşağıda verilen emisyonlar da bu kategoriye dahil edilebilir.

3.1 Kuruluşa Gelen Malların Taşımacılığı veya Dağıtımından Kaynaklanan Emisyonlar

3.2 Kuruluştan Giden Malların Taşımacılığı veya Dağıtımından Kaynaklanan Emisyonlar

3.3 Çalışanların İşe Gidiş Gelişinden Kaynaklanan Emisyonlar

3.4 Müşteri ve Ziyaretçilerin Raporlama Yapan Şirketin Tesisine Seyahatleriyle İlgili Emisyonlar

3.5 İş Seyahatlerinden ve Konaklamadan Kaynaklanan Emisyonlar

Kategori 4 Kuruluş Tarafından Kullanılan Ürün veya Hizmetlerden Kaynaklanan Dolaylı Emisyonlar: Bunlar kuruluş tarafından ithal edilen ürünler ve hizmetler gibi kalemlerdir.

4.1 Ürünün İmalatı ile İlişkili Olan Satın Alınan Hammadde/Mamul/Yarı Mamul vb. Kaynaklı Emisyonlar

4.2 Sermaye Mallarından Kaynaklanan Emisyonlar

4.3 Atıkların Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar

4.4 Kiralanan Ekipmanların (Kuruluş Tarafından) Kullanımı Kaynaklı Emisyonlar

4.5 Danışmanlık, Temizlik, Bakım, Kurye, Bankacılık vb. Hizmet Alımları Kaynaklı Emisyonlar

Kategori 5 Üretilen Ürünlerin Kullanımı ve Bertarafı Kaynaklı Dolaylı Emisyonlar: Bunlar, kuruluşun ürünlerinin üretim ve bertarafıyla ilişkili etkileridir.

5.1 Ürün Kullanımından Kaynaklanan Emisyonlar

5.2 Kiraya Verilen Varlıklardan Kaynaklanan Emisyonlar

5.3 Ürünün Kullanım Ömrü Sonu Aşamasından Kaynaklanan Emisyonlar

5.4 Yatırım Kaynaklı Emisyonlar

Kategori 6 Diğer Kaynaklardan Kaynaklanan Dolaylı Emisyonlar: Bu kategori, kuruluşun faaliyetlerinden kaynaklanan ve yukarıdaki kategorilere dahil olmayan tüm diğer dolaylı emisyonları içerir.

Temel Hesaplama Formülü

ISO 14064-1:2018 standardına göre sera gazı emisyonlarını hesaplamada aşağıdaki temel formül kullanılır:

$$\text{Emisyon (tCO}_2\text{e)} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{KIP}$$

Burada:

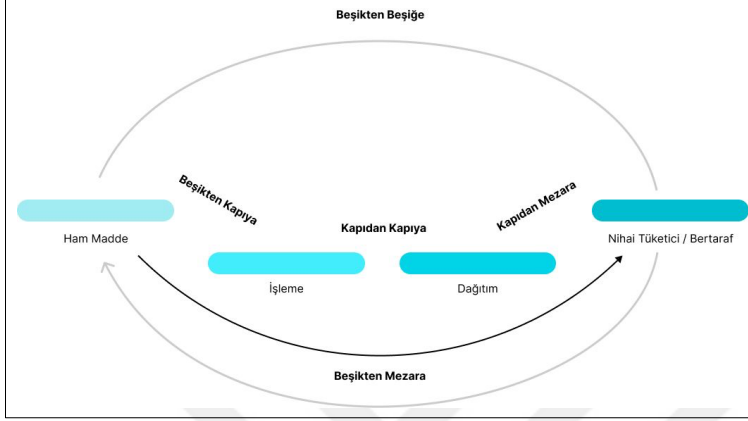
FV: Ölçülen veya beyan edilen faaliyet verisini,

EF: Seçilen faaliyet için geçerli emisyon faktörünü,

KIP: İlgili sera gazının küresel ısınma potansiyelini ifade eder.

ISO 14064-1:2018'e göre sera gazı emisyon hesaplamaları, kuruluşların sürdürülebilirlik raporlarını bağımsız denetim için açabilmeleri, yeşil finansmana ve karbon piyasalarına erişebilmeleri ve çevresel ürün beyanlarının (EPD) temel verilerini hazırlayabilmeleri için temel oluşturur. Bu nedenle çevre dostluğu ve rekabet avantajı açısından büyük katkı sağlar.

değerlendirmeye odaklanır. Beşikten beşiğe sistem sınırı ise döngüsel ekonomi bakış açısıyla, ürünlerin atık halinden yeniden hammadde olarak sisteme dahil olduğu kapalı döngü süreçleri analiz eder. Hangi sistem sınırının seçileceği, çalışmanın amacı, veri erişilebilirliği ve karar vericilerin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmelidir.



Şekil 2.5. YDD sistem sınırları

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü) ile başlayan bir yöntem olan YDD, ürün, süreç veya hizmetin tüm yaşam döngüsünü ve döngüde etkileşimde bulunan tüm aşamalar arasındaki ilişkileri dikkate alır.

ISO 14040 standardı, YDD'nin prensiplerini ve çerçevesini tanımlar; ISO 14044 standardı ise, YDD'nin gereksinimlerini ve kılavuzlarını açıklar.

YDD Kapsamında değerlendirmeye alınan başlıca çevresel etkiler;

İklim Değişikliği

- Toksik Emisyonlar
- Ozon Tabakasında İncelme
- Ötrofikasyon
- Asidifikasyon
- Fotokimyasal Oksidasyon
- Kaynak Tüketimi

Beşikten mezara yaklaşımıyla yapılan YDD'leri, işletmelerin üretim süreçlerinde

kullandıkları doğal kaynakların ve enerjinin çevresel etkilerini bütüncül bir şekilde analiz etmelerine olanak tanır. Bu değerlendirmeler; havaya, suya ve toprağa salımı olan katı, sıvı ve gaz halindeki emisyonların azaltılmasına yönelik yürütülen ürün sürdürülebilirliği ve temiz üretim uygulamalarının temeli oluşturur.

Yaşam döngüsü analizleri, kaynak ve enerji verimliliğinin geleceği için belirleyici bir bilimsel yöntem olup Avrupa'da birçok yasanın oluşumuna yol açmıştır.

Yaşam döngüsü analizi aracılığıyla tedarik zinciri için temiz bir üretim çerçevesi kurmak ve tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini ölçmek mümkündür. YDD'de dikkate alması gereken en önemli kavramlar aşağıda ve etki kategorisine ilişkin envanter örnekleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Fonksiyonel Birim: Bir sistemde birkaç işlev bulunabilir ve bu işlevlerin seçimi, çalışmanın hedefleri ve soru yelpazesi ile belirlenir. Fonksiyonel birim, ürün sistemindeki seçilen işlevlerin miktarını gösterir. Fonksiyonel birimin rolü, girdiler üzerinde olduğu kadar çıktılar üzerinde de etki göstermektedir. Yaşam döngüsü analizi sonuçlarının karşılaştırılması için bu referans gereklidir. Farklı sistemler karşılaştırıldığında fonksiyonel birimin önemi daha belirgin hale gelir.

Sistem Sınırları: Sistem sınırları, değerlendirme altındaki sistemi oluşturan süreçlerdir. Başlangıçta tanımlanan hedef ve kapsam doğrultusunda incelenecek süreçler ve sistem sınırları çalışmanın amacı doğrultusunda seçilir.

Veri Toplama: Sistem sınırları içerisinde yer alan her bir süreç için toplanacak veriler arasında; enerji kullanımı, hammadde ve diğer kaynak girdileri ile birlikte, süreç sonunda ortaya çıkan ürün, yan ürün ve atık miktarları yer almalıdır. Ayrıca hava emisyonları ile toprağa ve suya yapılan deşarjlar da kapsamlı biçimde kaydedilmelidir. Bu veriler, çevresel etkilerin doğru ve bütüncül şekilde değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Veri Kalitesi: Veri kalitesi, çalışmanın gerektirdiği verinin doğasına dayanarak belirlenir. Veri kalitesi, sonuçların geçerliliği ve çalışmanın hassasiyeti için kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, veri toplama aşamasında gereken duyarlılığı göstermek, bulguların daha gerçekçi olmasına yardımcı olacaktır.

Süreç Akışı: Süreç akışı, iş adımlarının belirli bir sırayla düzenlendiği ve yönlendirilmiş grafik yapısında gösterildiği bir diyagramdır. Özellikle ürün tasarımı ve üretim planlaması gibi alanlarda, süreç akışı diyagramları ana atölye planlama aracı olarak kullanılmakta; iş adımlarının görsel olarak takip edilmesini ve optimize edilmesini sağlamaktadır.

Karakterizasyon: Karakterizasyon, envanter verilerinin çevresel etki potansiyeline dönüştürülmesidir. Bu sayede farklı emisyonlar ortak bir ölçekte ifade edilerek karşılaştırılabilir hâle getirilir. Örneğin, karbondioksit ve metanın küresel ısınmaya etkisi aynı birim üzerinden değerlendirilir.

Normalizasyon: Normalizasyon, her çevresel etkinin, o etki kategorisindeki bilinen toplam değerlerle karşılaştırılarak göreceli büyüklüğünün anlaşılmasını sağlayan bir adımdır. Bu sayede hangi etkinin daha baskın olduğu görülebilir. Örneğin, karbondioksit ve metanın küresel ısınmaya etkileri bu yolla karşılaştırılabilir.

Kaynakların Tüketimi: Petrol, demir cevheri gibi doğal ham maddelerin kullanımını ifade eden bir YDD etki kategorisidir. Bu tüketim; küresel, bölgesel ve yerel ölçekte değerlendirilebilir. YDD çalışmalarında kaynak kullanımı genellikle kg antimon (Sb) eşdeğeri cinsinden raporlanır.

Asidifikasyon: Havadaki asidik gazların toprak, su kaynakları, canlılar, ekosistemler ve yapılar üzerindeki zararlı etkilerini ifade eder. Genellikle “asit yağmuru” olarak bilinen bu durum, bu gazların atmosferde su buharıyla birleşmesiyle oluşur ve çevredeki biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilir. YDD çalışmalarında asitlenme etkisi kg SO₂ eşdeğeri ile ifade edilir.

Ötrofikasyon: Hava, toprak ve suya fazla miktarda besin maddesi salındığında ortaya çıkar ve çevrede besin yoğunluğunun artmasına neden olur. NO₃ ve PO₄ gibi bileşikler ekosistemlerin dengesi için gereklidir, ancak bu maddelerin aşırı miktarda birikmesi sulak alanlarda alg patlamalarına yol açarak suyun oksijen seviyesini düşürür ve canlı yaşamına zarar verir. YDD çalışmalarında bu etki kg PO₄³⁻ eşdeğeri üzerinden değerlendirilir.

Küresel Isınma: Yeryüzündeki hava sıcaklıklarının zamanla artması anlamına gelir ve iklim değişikliğinin en bilinen göstergesidir. Bunun başlıca nedeni, insanların kömür,

petrol ve doğalgaz gibi yakıtları kullanmasıyla atmosfere salınan sera gazlarıdır. YDD'de bu etki, kgCO₂e cinsinden hesaplanır.

Ozon Tabakasının İncelmesi: Bu durum, CFC'ler, HCFC'ler, brom ve benzeri maddelerin yayılmasıyla ortaya çıkar. Ozon tabakasındaki azalma, zararlı ultraviyole ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına neden olarak insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde ciddi sağlık etkilerine yol açabilir. YDD'de bu etki kg CFC-11 eşdeğeri üzerinden ifade edilir.

İnsan Toksisitesi: Bir ürünün ya da salınan maddelerin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini ifade eder. Bu etki genellikle ağır metaller ya da kimyasal maddeler gibi toksik bileşenlerden kaynaklanır. YDD çalışmalarında bu tür etkiler, kg 1,4-diklorobenzen (1,4-DB) eşdeğeri kullanılarak hesaplanır.

Tatlısu Ekotoksisitesi: Havadan, sudan ya da topraktan gelen zararlı maddelerin tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade eder. Bu etki, toksik kimyasalların canlılar üzerindeki olumsuz sonuçlarını ortaya koyar. YDD çalışmalarında bu etki genellikle kg 1,4-diklorobenzen (1,4-DB) eşdeğeri üzerinden değerlendirilir. Bu çalışmada da aynı birim kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Deniz Ekotoksisitesi: Kimyasal maddelerin deniz canlıları ve ekosistemi üzerindeki zararlı etkilerini ifade eder. Bu etki, YDD çalışmalarında kg 1,4-diklorobenzen (1,4-DB) eşdeğeri kullanılarak hesaplanır. Değerlendirmelerde genellikle USES-LCA yöntemi esas alınır.

Karasal Ekotoksisite: Toprakta biriken zararlı maddelerin bitki ve hayvan yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerini ifade eder. Bu tür etkiler genellikle çevredeki toksik kimyasallardan kaynaklanır. YDD çalışmalarında karasal ekotoksisite, kg 1,4-diklorobenzen (1,4-DB) eşdeğeri ile ölçülür ve değerlendirmelerde USES-LCA yöntemi kullanılır.

Fotokimyasal Oksidasyon: Havada güneş ışığıyla etkileşime giren bazı gazların, insan sağlığına, tarım ürünlerine ve ekosistemlere zarar verebilecek reaktif bileşikler oluşturmasıyla ortaya çıkar. Bu durum genellikle uçucu organik bileşikler (VOC) ve NO_x birleşmesiyle gerçekleşir. YDD çalışmalarında bu etki kg etilen (C₂H₄) eşdeğeri üzerinden hesaplanır.

Çizelge 2.2. YDD çalışmalarında etki kategorisi ve envanter örnekleri

Etki Kategorisi	YDD Envanter Örnekleri (ör. Sınıflandırma)
Küresel Isınma	CO ₂ , NO ₂ , CFCs, HFCs, CH ₃ Br
Ozon Tabakasının İncelmesi	CFCs, HFCs, Halonlar, CH ₃ Br
Asidifikasyon	SO _x , NO _x , HCl, HF, HN ₄
Ötrofikasyon	PO ₄ , NO _x , NO ₂ , Nitratlar, NH ₄
Fotokimyasal Su	Metan haricindeki hidorkarbonlar
Karasal Toksisite	Kemirgenlere öldürücü derecede toksik etki yapan yüksek konsantrasyonlu kimyasal maddeler
Su Toksisitesi	Balıklara öldürücü derecede toksik etki yapan yüksek konsantrasyonlu kimyasal maddeler
İnsan Sağlığı	Havaya, suya ve toprağa olan salınımlar
Kaynak Tüketimi	Kullanılan mineral miktarı, Kullanılan fosil yakıt miktarı
Arazi Kullanımı	Atık bertarafı için çöp depolama sahasının kapladığı arazi
Su Tüketimi	Kullanılan veya sarf edilen su miktarı

2.17.4. Karbon ayak izi değerlendirmesinde YDD'nin rolü

YDD çoğu zaman ürünün sadece üretim sürecine odaklanır ve üretim sonrasındaki aşamalarda oluşan emisyonları göz önünde bulundurmaz. Genellikle, sadece üretim sahasındaki doğrudan salımlar dikkate alınırken, hammaddenin çıkarılmasından taşımaya, hatta ürünün kullanımına kadar uzanan pek çok önemli kaynak hesaba katılmaz. Bu nedenle karbon ayak izinin daha kapsamlı ve gerçekçi biçimde ortaya konulabilmesi için yaşam döngüsü temelli bir yaklaşım izlenmesi oldukça önemlidir. (ISO, 2006; Rebitzer ve diğerleri, 2004).

Karbon ayak izi ile YDD, çevresel etkileri anlamada birbirini tamamlayan iki önemli yaklaşımdır. Genellikle bir ürünün karbon ayak izi, YDD kapsamında yapılan analizlerde bir etki kategorisi olarak hesaplanır ve sonuçlar skorla ifade edilir. Bu sayede, ürünün yaşam döngüsünün tamamı göz önünde bulundurularak daha sağlıklı ve kapsamlı bir değerlendirme yapılabilir. Dolayısıyla karbon ayak izi hesaplamalarında YDD yöntemine

yer verilmesi, bilimsel temeli güçlü ve bütüncül analizlerin önünü açmaktadır.

YDD, karbon yönetimi açısından sadece miktar belirleme konusunda değil; aynı zamanda kurumların emisyonlarını tespit etmelerine ve önceliklendirmelerine yardımcı olur. Sıcak noktaların hangi süreçlerde olduğunu anlamak, kaynakları daha verimli kullanmayı sağlayacak stratejiler belirlemek açısından faydalı olabilir (Hauschild ve diğerleri, 2018). Örneğin, bir üniversite kampüsünün karbon ayak izi, YDD kullanılarak hesaplandığında, tüketilen elektriğin kayda değer miktarda emisyon taşıdığı gösterilebilir ve öncelik enerji verimliliği ölçütlerine verilebilir.

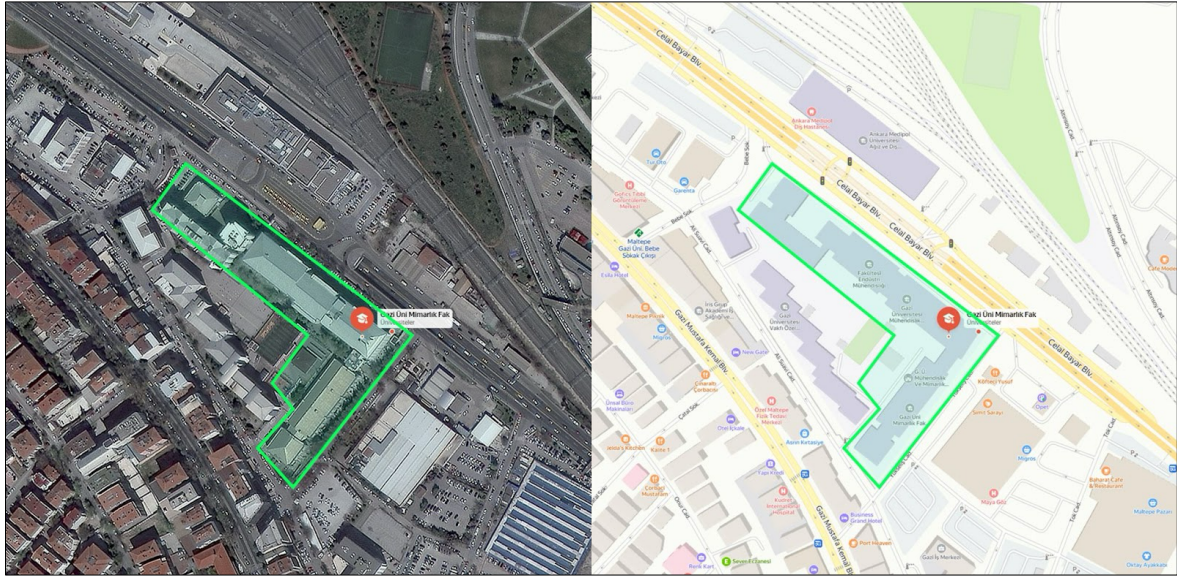
YDD yönteminin en güçlü yönlerinden biri, verilerin şeffaf bir şekilde izlenebilmesi ve veri kalitesinin denetlenmesinin görece kolay olmasıdır. Bu metodolojide kullanılan tüm bilgi kaynakları ve olası belirsizlikler kayıt altına alınır ve bilimsel yaklaşımlarla değerlendirilir (WRI ve WBCSD, 2011). Bu sayede hazırlanan karbon ayak izi raporları daha güvenilir hale gelirken, ilgili paydaşlara karşı hesap verebilirlik de artar. YDD'nin sağladığı bir diğer önemli katkı, yalnızca karbon ayak izine odaklanmakla kalmayıp, su kullanımı ve toksisite gibi diğer çevresel etkilerin de birlikte analiz edilebilmesine olanak tanımasıdır. Böylece sürdürülebilirlik stratejileri daha bütüncül bir çerçevede ele alınabilir ve tek yönlü analizlerin ötesine geçilmiş olur (Curran, 2017).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada sera gazı emisyon hesaplamaları ve çevresel etki analizlerinde yazılım olarak SimaPro'nun 9.5 PhD Education sürümü kullanılmıştır. Analiz ve hesaplamalarda yazılımın sunmuş olduğu Ecoinvent veritabanı referans olarak alınmıştır. Sera gazı emisyonlarının hesaplamalarında ve çevresel etki analizlerinde CML-IA baseline V3.09 / EU25 metodu kullanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı ve Sistem Sınırı



Şekil 3.1. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakülteleri sistem sınırı (harita üzerinde gösterim)

Bu çalışmanın temel amacı GÜMMF'nin karbon ayak izini hesaplayarak çevresel etkilerinin yaşam döngüsü analizi açısından değer, etki çıktıları ve iyileştirme önerilerini sunmayı hedeflemektedir. Organizasyonel sınırlarının değerlendirilmesi, üniversitenin, fakülte/yerleşkedeki öğrenci ve personel sayısı, enerji ihtiyacı ve akademik/laboratuvar kullanım alanları göz önüne alındığında, kampüste sürdürülebilirliği desteklemek önemlidir.

Organizasyonel engeller ve Şekil 3.1.'de belirtildiği gibi GÜMMF ile ilişkilidir. Organizasyonel sınırları, GHG Protokolü tarafından belirlenen Kapsam 1 doğrudan emisyonlar, Kapsam 2 enerjiyle ilgili emisyonlar ve Kapsam 3 diğer dolaylı emisyonları kapsayacak şekilde tanımlanmıştır.

En önemli aktiviteler, enerji ve ulaşım, hem GHG Protokolü hem de ISO 14064-1:2018 standardı sera gazı emisyonlarının kurum seviyesinde hesaplanması ve raporlanması için rehberlik eden spesifikasyonlar ile uyumlu olarak sınır tanımlamaları içerir.

Çalışmada, GÜMMF'deki faaliyetlerden kaynaklanan GHG emisyonları, üniversite faaliyetlerinin karbon ayak izi üzerindeki etkilerini dikkate alınarak, YDD metodolojisine dayanarak hazırlanan anketlerle, 2021 ve 2022 yıllarında nicel olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, GÜMMF'deki fakülte faaliyetlerine atfedilen karbon ayak izini YDD metodolojisi temelinde nicelendirmek, çevresel etkileri belirlemek ve bu etkileri yaşam döngüsü perspektifinden analiz ederek iyileştirme önerileri sunmaktır.

Fakülte, öğrenciler ve personel yoğunluğu nedeniyle, akademik ve/veya laboratuvar kullanım alanlarında enerji kullanımı açısından yeşil kampüs kullanımında rol model olması önemli sonuçlardan biri olacaktır.

Organizasyonel sınırlar Şekil 3.1.'de gösterilen, GÜMMF'nin değerlendirilen fiziksel alanlarının sınırlarını gösterir.

Operasyonel sınırlar, Kapsam 1, Kapsam 2, Kapsam 3 emisyonların GHG Protokolü ile uyumlu olduğu yerler olarak seçilmiştir.

Sistem sınırları için IPCC 2006 tarafından önerilen emisyon kaynakları dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, ana faaliyetler enerji kullanımı, ulaşım faaliyetleri ve su tüketimini kapsamaktadır. Ek olarak, sera gazı emisyonları ve uzaklaştırmaları hem GHG Protokolü hem de ISO 14064-1:2018 standardına uygun olarak ele alınmıştır.

Aynı anda dahil edilen ancak üretim öncesi faaliyetlerin (örneğin, hammadde çıkarımı) ve tüketim sonrası faaliyetlerin (örneğin, atık bertarafı), ayrıca saha dışı kaynak tedarik faaliyetlerinin dahil olmadığı bir çalışmadır.

Aşağıdaki fakültenin sistem sınırları içinde yer alan emisyon kaynakları verilmiştir:

Elektrik tüketimi: Fakültenin yıllık elektrik tüketimi ayrı ayrı analiz edilmiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklanan Kapsam 2 emisyonları, Türkiye elektrik üretim karışımından

türetilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanır.

Doğalgaz tüketimi: Isıtma sistemi, kazan modeli ve sayısı dahil olmak üzere doğalgaz tüketimi yıllık bazda belgeye işlenmiştir. Bu girdiler, Kapsam 1 emisyonlar için birincil girdilerdir.

Soğutucular ve soğutma ekipmanları: Fakülte içindeki klima ve buzdolaplarının miktarı belirlenmiş ve IPCC varsayımlarına göre yıllık soğutucu sızıntılarından kaynaklanan kaçak emisyonlar hesaplanmıştır. Kullanılan ekipmanlarda HFC içeren gazların bileşimi hakkında mevcut bilgi eksikliği nedeniyle tahmin edilen salımlar varsayılan gaz türlerine dayanarak hesaplanmıştır.

Yangın söndürme cihazları: Üniversitenin yangın söndürme ekipmanları için A-B-C tipi çok amaçlı yangın söndürücüler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle halojensiz kuru kimyasal tozlardan yapılmıştır, bu yüzden herhangi bir sera gazı salımı olmayacaktır.

Ulaşım faaliyetleri: Fakülte akademik ve idari personeli ve öğrencilerin yıllar boyunca fakülteye seyahat alışkanlıkları anket yapılmış ve mesafe, araç türü ve seyahat sıklığı gibi değişkenler dâhil edilerek Kapsam 3 kategorisinde değerlendirme yapılmıştır.

İş seyahatleri ve konaklamalar: Kurum adına gerçekleştirilen yurtiçi ve yurtdışı hizmet seyahatleri, seyahat türü ve konaklama süresi dikkate alınarak analiz edilmiştir. Ulaşım ve konaklamadan kaynaklanan emisyonlar bu verilere dayanarak hesaplanmıştır.

Sistem sınırlarının başlıca hariç tutulan alanlar şöyledir:

Tedarik zinciri kaynaklı emisyonlar: Fakülteye yönelik malzeme, kırtasiye, temizlik ve teknik ekipman alımlarına ilişkin veriler, yıllık bazda ayrıştırılamamış ve miktar bilgileri net olarak sağlanamamıştır. Bu nedenle tedarik zinciri süreçleri sistem sınırı dışında bırakılmıştır.

Satın alınan hizmetler: Envanter listesi hazırlanırken bu veri YDD sistemine girilmemekte veya karbon ayak izi hesaplamasına dahil edilmemektedir çünkü satın alma yılı ve yıllık kullanım verileri mevcut değildir.

Demirbaş ve ambar kayıtları: Demirbaş listesi mevcut olmakla birlikte, malzemelerin alım yılları ve kullanım sürelerine ilişkin veri eksikliği nedeniyle bu kayıtlar YDD sistemine ve karbon ayak izi hesaplamalarına dahil edilememiştir.

Atık yönetimi: 2021 ve 2022 yıllarında fakülte bünyesinde sistematik bir atık yönetimi uygulaması bulunmadığından, atık oluşumu ve bertaraf süreçleri hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Fakülteye ait motorlu taşıtlar ve jeneratörler: İlgili dönemde kuruma ait araç bulunmadığı ve jeneratörlerin aktif kullanılmadığı bildirilmiş olup, yakıt tüketimine dayalı Kapsam 1 emisyonu oluşmadığı kabul edilmiştir.

Bu tür süreçler sadece kampüs sınırları içinde gerçekleşir ve veri ile dijitalleştirilebilecek işlemleri içerir. Kullanılan sistem sınırları "kapıdan kapıya" yaklaşımıdır. Bu, genellikle YDD ve karbon ayak izi hesaplama yöntemlerinde kullanılan veri odaklı kesim yaklaşımlarına uygun olarak yapılmıştır.

Bu doğrultuda, analiz edilen süreçler yalnızca kampüs sınırları içinde gerçekleşen ve veriye dayalı olarak sayısallaştırılabilen faaliyetleri kapsamakta olup, kullanılan sistem sınırı "kapsamlı ancak kısmi bir kapıdan kapıya" (yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, YDD ve karbon ayak izi hesaplama yöntemlerinde sıklıkla tercih edilen veri odaklı sınırlama stratejileriyle uyumludur.

3.2. Çalışma Metodu ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmanın temel yöntemi, kurumsal karbon ayak izi hesaplama ve YDD yaklaşımıdır. Sera gazı emisyonları, GHG Protokolü'nün üç kapsam tanımına göre sınıflandırılmış ve hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ISO 14064-1:2018 standardı ve IPCC 2006 kılavuzları doğrultusunda analiz edilmiştir. Ayrıca YDD çalışmaları ISO 14040/44 standartlarına uygun şekilde yürütülmüştür.

Veriler, üniversitenin tesis yönetimi, idari birimleri ve anket uygulamaları aracılığıyla toplanmıştır. Doğalgaz, elektrik ve su tüketimi gibi nicel veriler üniversite kayıtlarından elde edilmiştir. Personelin üniversiteye ulaşımına dair veriler ise öğrenci ve personellere uygulanan çevrimiçi anketlerle toplanmıştır. Ankette katılımcıların ulaşım tercihleri,

günlük yolculuk mesafeleri, kullanılan ulaşım türleri (özel araç, toplu taşıma, bisiklet vb.) gibi sorular yer almıştır.

Bu çalışmada kullanılan sera gazı emisyon faktörleri ve hesaplama yaklaşımları, IPCC 2006 tarafından tanımlanan Kademe sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir. “Kademe” kavramı, sera gazı emisyonlarının hesaplama düzeyini, veri kalitesini ve doğruluk derecesini ifade eden metodolojik bir çerçevedir. Üç düzeyden oluşan bu sistem, hesaplamaların şeffaflığını ve güvenilirliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir.

Kademe 1, IPCC tarafından yayımlanan küresel ortalamalara dayalı varsayımsal emisyon faktörlerini kapsar. Bu düzey, veri gereksiniminin düşük olması nedeniyle yaygın kullanılsa da, belirsizlik düzeyi yüksektir (IPCC, 2006).

Kademe 2, ülkeye özgü emisyon faktörlerinin ve sektör bazlı verilerin kullanıldığı ara düzeydir. Türkiye özelinde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Enerji Piyasaları Düzenleme Kurulu (EPDK) ve Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi TEİAŞ gibi kurumlar tarafından yayımlanan yıllık enerji ve çevre istatistikleri bu kapsamda değerlendirilmiştir.

Kademe 3, doğrudan ölçüme dayalı, süreç veya kurum bazlı verilerin kullanıldığı en yüksek doğruluk düzeyidir. Bu düzeyde yapılan hesaplamalar saha ölçümleri, cihaz verileri veya ileri düzey modellemelere dayanır.

Bu çalışmada, veri mevcudiyetine ve doğruluk düzeyine bağlı olarak her bir süreç için uygun Kademe düzeyi belirlenmiştir. Örneğin:

Elektrik tüketimine bağlı emisyon hesaplamalarında Kademe 2 düzeyinde, Türkiye’ye özgü şebeke emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Doğalgaz tüketimi için yakıtın tipine göre varsayılan faktörler kullanıldığından Kademe 1 yaklaşımı benimsenmiştir.

Ulaşım emisyonları, anket verilerine dayanarak kişi başı mesafe ve taşıt türü bazında hesaplandığından Kademe 2 düzeyine yakınsayacak şekilde yapılandırılmıştır.

Soğutucu gazlara ilişkin veri eksikliği nedeniyle, yıllık sızıntı oranları ve gaz tipleri IPCC tarafından önerilen varsayımlar doğrultusunda değerlendirilmiş ve bu nedenle Kademe 1 düzeyinde analiz gerçekleştirilmiştir.

Her bir hesaplama düzeyine dair seçilen Kademe seviyeleri, metodolojik belirsizliklerin yönetimi açısından ayrı ayrı ele alınmış ve sonuçlar kısmında ayrıca tartışılmıştır.

Toplanan tüm veriler, hem karbon ayak izi hesaplama hem de YDD modellemesi için dijital forma dönüştürülmüş ve analiz için hazır hale getirilmiştir. Veri güvenilirliği açısından çapraz kontroller yapılmış, eksik veriler varsa varsayımlar açıkça belirtilmiştir (ISO, 2018; WRI ve WBCSD, 2011).

3.2.1. SimaPro 9.5.0

YDD'nin gerçekleştirilmesinde SimaPro 9.5.0 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, ISO 14040/44 standartları ile uyumlu bir yapıya sahiptir ve kapsamlı YDE veri tabanlarını içinde barındırmaktadır. En çok kullanılan veri tabanı olan Ecoinvent ile entegre çalışmaktadır.

SimaPro'nun tercih edilme nedeni, kullanıcılara hem kapsamlı etki değerlendirme metodları (ReCiPe, IPCC KIP, CML vb.) hem de grafiksel ve karşılaştırmalı analiz imkanı sunmasıdır. Yazılım ile üniversitenin belirli süreçleri (örneğin kâğıt tüketimi, elektrik kullanımı) modellenmiş, girdiler ve çıktılar tanımlanarak çevresel etkiler hesaplanmıştır.

Modelleme sırasında süreçlere ilişkin tüketim miktarları girilmiş; bunlar arasında malzeme ağırlıkları, enerji miktarları, emisyonlar, atık türleri gibi bilgiler yer almıştır. Elde edilen sonuçlar, SimaPro tarafından karbon ayak izi (kgCO₂e) ve enerji kullanımı (MJ) gibi çevresel göstergeler olarak raporlanmıştır.

SimaPro ile yapılan analiz sonuçları, GHG Protokolü kapsamında yapılan karbon hesaplamalarını destekleyici nitelikte olup, aynı zamanda hangi faaliyetlerin en fazla çevresel yüke sebep olduğunu görmeyi kolaylaştırmıştır.

3.2.2. Verilerin toplanması ve anket uygulaması

Veri toplama süreci, çok kaynaklı ve çok aşamalı bir yapı üzerine kurgulanmıştır. Öncelikli olarak, Gazi Üniversitesi ilgili birimleri tarafından sağlanan yıllık elektrik, doğalgaz tüketim verileri temin edilerek, kampüs içi doğrudan faaliyetlerin analiz edilmesi mümkün kılınmıştır. Enerji tüketimi verileri, kWh ve m³ bazında detaylandırılmış; ayrıca yangın tüpü adedi, jeneratör kullanımı gibi ekipman envanterine ilişkin bilgiler de temin edilmiştir. İş seyahatleri kapsamında toplanan uçuş güzergâhları ve konaklama yerlerine ilişkin bilgiler ise ulaşım kaynaklı emisyonların hesaplanması için önemli bir veri seti oluşturmuştur.

Kurumsal verilerin sınırlı olduğu veya doğrudan ölçümle elde edilemediği durumlarda ise bireysel veri toplama yöntemlerine başvurulmuştur. Bu doğrultuda, Google Forms üzerinden tasarlanan “Üniversiteye Ulaşım Anketi”, akademik ve idari personel ile öğrencilere e-posta yoluyla iletilmiştir. Anket formu aracılığıyla üniversiteye ulaşım yöntemleri, şahsi araç kullanım oranları, kullanılan yakıt türleri ve günlük ortalama mesafe gibi kritik bilgiler toplanmıştır.

Veri güvenilirliğini sağlamak amacıyla, tüm kurumsal veriler birincil kaynaklardan temin edilmiş ve çapraz kontrollerle doğrulanmıştır. Anket uygulamasında gönüllülük esas alınmış, katılımcıların anonimliği korunmuş ve veri toplama süreci etik ilkelere uygun şekilde yürütülmüştür. Bu bütüncül yaklaşım sonucunda hem kurumsal belgelerden hem de bireysel katkılardan elde edilen bilgiler, üniversitenin karbon ayak izinin kapsamlı bir şekilde hesaplanmasına imkân tanıyan güçlü bir veri altyapısı oluşturmuştur.

Toplanan veriler, başta Kapsam 1 ve Kapsam 2 olmak üzere, temel karbon ayak izi hesaplamaları için kullanılmıştır. Ayrıca, Kapsam 3 emisyonlarının analiz edilebilmesi amacıyla, öğrenci ve personel gruplarına yönelik detaylı anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Üniversiteye ulaşım anketine ilişkin üniversitedeki pozisyon gibi değişkenler de toplanmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, emisyon kaynaklarının farklı kullanıcı grupları üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde ortaya konulmuştur.

Elde edilen tüm veriler, ISO 14064-1:2018 standardı ve GHG Protokolü (WRI ve WBCSD, 2004) doğrultusunda organizasyonel ve operasyonel sınırlar belirlenerek sınıflandırılmıştır. Veri setlerinde tespit edilen eksik ya da anomalik bilgiler istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş ve uygun tahmin metodolojileri kullanılarak tamamlanmıştır. Böylece veri bütünlüğü korunmuş ve hesaplama sürecinde yüksek doğruluk sağlanmıştır.

3.4. Kullanılan Standartlar ve Rehber Dokümanlar

Bu çalışmada, GÜMMF'nin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi amacıyla sera gazı emisyonlarının belirlenmesinde uluslararası kabul görmüş standart ve rehberlerden yararlanılmıştır. Özellikle ISO 14064-1:2018 standardı, ISO 14040 standardı, GHG Protokolü ve IPCC'nin 2006 kılavuzları temel alınmıştır. Bu standartlar, hesaplama ve raporlama süreçlerinde güvenilirlik ve karşılaştırılabilirlik sağlar.

ISO 14064-1:2018, sera gazlarının kuruluş düzeyinde hesaplanması, raporlanması ve doğrulanmasına ilişkin spesifikasyonlar ve rehberlik sağlayan uluslararası bir standarttır. Bu standart, doğrudan ve dolaylı emisyonların belirlenmesini, sınırların tanımlanmasını ve sera gazı envanterinin oluşturulmasını sağlar (ISO, 2018). Ayrıca, üçüncü taraf doğrulama süreçleriyle uyumlu olacak şekilde, şeffaflık ve bütünlüğü destekleyen bir yapı sunar.

ISO 14040 ise YDD metodolojisinin ilke ve çerçevesini sunar. Bu standart, karbon ayak izinin ürün, hizmet ya da sistem düzeyinde çevresel etkilerini analiz etmeye olanak tanır ve bu yönüyle çalışmanın "YDD yaklaşımının" temelini oluşturmaktadır (TS EN ISO 14040, 2007).

GHG Protokolü, Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD) tarafından geliştirilmiş olup, kuruluşların sera gazı emisyonlarını Kapsam 1, 2 ve 3 altında sınıflandırmasına ve raporlamasına yardımcı olur. GHG Protokolü ayrıca organizasyonel ve operasyonel sınırların belirlenmesi, emisyon faktörlerinin kullanımı, veri kalitesi yönetimi ve raporlama biçimi gibi birçok konuda detaylı yönlendirme sunar (WRI ve WBCSD, 2004; Franchetti ve Apul, 2013).

IPCC tarafından yayımlanan Ulusal Sera Gazı Envanter Kılavuzları, ülkelerin emisyon raporlamalarında kullanılan referans belgeler olup, aynı zamanda kurum düzeyindeki

karbon ayak izi analizlerinde de hesaplama yöntemleri açısından önemli bir kaynaktır. IPCC, emisyonların hesaplanmasında Kademe 1, Kademe 2 ve Kademe 3 olmak üzere üç düzeyde metodoloji sunar (IPCC, 2006).

Söz konusu standartlar ve rehberler birlikte kullanıldığında, üniversite kampüsü gibi çok bileşenli sistemlerin sürdürülebilirlik ve karbon ayak izi performansı bütünsel bir biçimde değerlendirilebilir. Bu bağlamda, ISO 14064-1 standardı sera gazı envanteri oluşturulmasında temel çerçeveyi sunarken, ISO 14040 standardı yaşam döngüsü yaklaşımının bilimsel tabanını oluşturur; GHG Protokolü ise uygulamada ayrıntılı yönlendirme sağlar. IPCC rehberleri ise emisyon faktörlerinin belirlenmesi ve hesaplamaların doğruluğu için önemli bir veri kaynağıdır.

3.5. Belirsizlik ve Sınırlılıklar

Bu çalışmada GÜMMF'ne ilişkin sera gazı emisyonlarının YDD yaklaşımıyla analizi hedeflenmiş olmakla birlikte, çeşitli veri eksiklikleri, ölçüm zorlukları ve metodolojik kısıtlar sebebiyle belirli varsayımlara başvurulmuş ve hesaplamalar bazı belirsizlikler çerçevesinde yürütülmüştür.

Veri eksikliklerinden kaynaklanan belirsizlikler

Tarihsel veri eksikliği: Fakülteye ait demirbaş ve ekipman listeleri mevcut olmakla birlikte, bu varlıkların satın alım yılları, hizmete giriş tarihleri ve kullanım sürelerine ilişkin veriler sağlanamamıştır. Bu nedenle, Kapsam 3 kapsamında yer alan satın almadan kaynaklı emisyonların 2021 ve 2022 yıllarına özgü karbon ayak izi katkısı hesaplanamamıştır. Veri yetersizliği, yıllık emisyonlara dağıtılmış YDD yapılmasını da olanaksız kılmıştır.

Tedarik zinciri verisi: Satın alınan hizmetlere ilişkin veriler yalnızca tanımsal düzeyde (ör. temizlik, güvenlik, teknik bakım, yangın tüpü dolumu vb.) bildirilmiş; bu hizmetlerin enerji ve kaynak tüketimlerine dair nicel bilgiler (kWh, km, kg, süre vb.) sunulmamıştır. Bu nedenle, söz konusu hizmet alımlarından kaynaklanan dolaylı emisyonlar hesaplamaya dahil edilememiştir.

Atık yönetimi verisi: 2021 ve 2022 yıllarında fakülte bünyesinde düzenli bir atık yönetimi sistemi bulunmadığından, oluşan atık miktarı, bertaraf yöntemleri ve geri dönüşüm oranları

gibi kritik bilgiler elde edilememiştir. Dolayısıyla atık yönetimi kaynaklı Kapsam 3 emisyonları çalışmaya dahil edilmemiştir.

Araç ve jeneratör kullanımı: Fakülteye ait araç bulunmadığı bilgisi verilmiş olsa da, bu durum sahaya dayalı doğrulamalarla desteklenememiştir.

Varsayımlardan kaynaklanan belirsizlikler

Ulaşım anketleri: Öğrenci ve personel ulaşımı, anket verilerine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Ancak bireysel yanıtların doğruluğu, eksikliği ve taşıt türlerinin yıl içerisindeki tutarlılığı belirsizdir. Ulaşım emisyonları bu nedenle varsayılan taşıt başına km emisyon faktörleri hesaplanmış ve Kademe 2 düzeyine yakın bir yaklaşım benimsenmiştir. 2021 yılının pandemi yılı olması sebebiyle üniversiteye ulaşımı sağlanan 123 gün olduğu varsayılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Elektrik üretim faktörü: Elektrik tüketimi için Türkiye elektrik şebekesine ait yıllık ortalama emisyon faktörleri kullanılmıştır. Ancak bu değerler, saatlik üretim kaynaklarını veya bölgesel dağılımı yansıtmamaktadır.

Soğutucu gaz bilgisi: GÜMMF bünyesinde gerçekleştirilen envanter çalışmasında, toplamda 7 adet buzdolabı, 25 adet klima ve 1 adet su sebili bulunduğu belirlenmiştir. Bu ekipmanların soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan R-134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) soğutucu akışkan içerdiği varsayılmıştır. Cihazlara ilişkin dolum belgeleri, üretici teknik dökümanları veya bakım kayıtları bulunmadığından, GHG Protokolü ve IPCC 2006 kılavuzları doğrultusunda tipik dolum miktarlarına göre hesaplama yapılmıştır.

Bu kapsamda; her bir buzdolabı için ortalama 0,15 kg, her bir klima için 1,2 kg, su sebili için ise 0,10 kg R-134a bulunduğu varsayılmıştır.

Metodolojik Sınırlılıklar

Kapıdan Kapiya Sistem Sınırı: Çalışmada sadece fakülte içi süreçlere odaklanılmış, üretim öncesi (hammadde çıkarımı) ve kullanım sonrası (ürün bertarafı) süreçler sistem sınırı dışında bırakılmıştır. Bu nedenle çalışma, ISO 14040'a göre tam kapsamlı bir "beşikten

mezara” değerlendirme değil, kısmi bir “kapıdan kapıya” YDD’dir.

Kademe Seviyesi Sınırlamaları: Ölçüme dayalı kurum içi veriler sınırlı olduğundan, birçok süreç için yalnızca Kademe 1 ve Kademe 2 hesaplama yöntemleri uygulanabilmektedir. Kademe 3 düzeyinde doğruluk sağlayacak saha ölçümleri yapılamamıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada veri kısıtlarına rağmen metodolojik şeffaflık korunmuş; her bir kategori için kullanılan varsayımlar, sınırlar ve belirsizlik düzeyleri açık biçimde belirtilmiştir. Bu yapı, sonuçların bilimsel güvenilirliğini artırmak ile birlikte, ileri dönem çalışmalarda daha detaylı veri toplama gerekliliğini de ortaya koymaktadır.





4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulguların Sunulması

Çizelge 4.1. GÜMMF 2021–2022 yıllarına ait veri seti

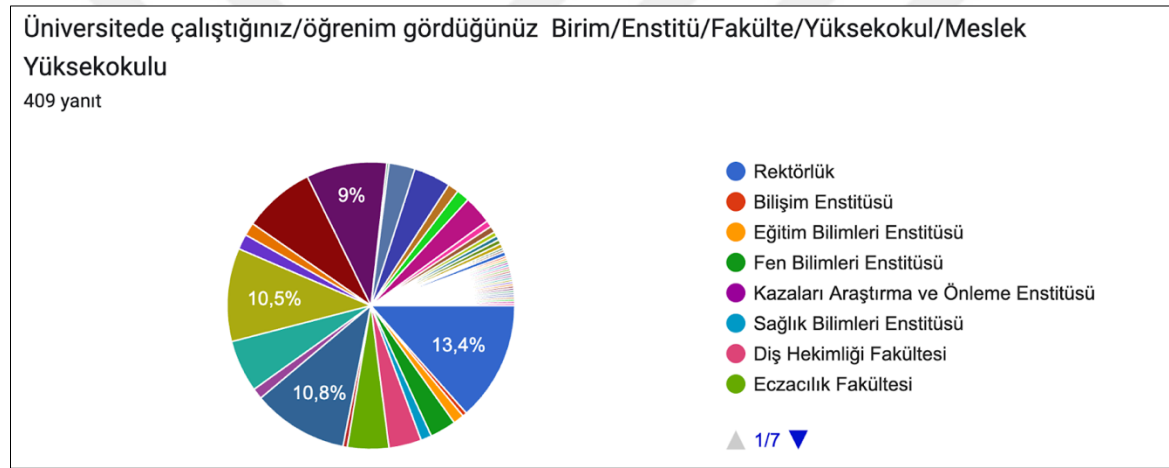
Kategori	Emisyon Kaynağı	Kaynak Akışı	2021	2022
Kapsam 1	Isınma	Doğalgaz (m ³)	379 033	354 557
Kapsam 1	Klima Buzdolabı Su Sebilleri	R-134a (kg)	Buzdolapları (7 adet × 0,15 kg): 1,05 kg Klimalar (25 adet × 1,2 kg): 30,00 kg Su Sebili (1 adet × 0,10 kg): 0,10 kg Toplam R-134a miktarı: 31,15 kg	Buzdolapları (7 adet × 0,15 kg): 1,05 kg Klimalar (25 adet × 1,2 kg): 30,00 kg Su Sebili (1 adet × 0,10 kg): 0,10 kg Toplam R-134a miktarı: 31,15 kg
Kapsam 1	Jeneratör	Dizel Kullanımı (L)	100	150
Kapsam 2	Elektrik tüketimine sebep olan ekipmanların tamamı	Elektrik Tüketimi (kWh)	1 424 216,42	1 875 693,025
Kapsam 3	Havayolu ulaşımı Otel	Kısa Mesafe Uçuş (kişi.km)	2 577,8 km	4938 km
Kapsam 3	Havayolu ulaşımı Otel	Orta Mesafe Uçuş (kişi.km)	3587,6 km	10442,4 km
Kapsam 3	Havayolu ulaşımı Otel	Konaklama Bilgisi (kişi.gece)	6 gece.kişi	10 gece.kişi

Kapsam 3 - Üniversiteye Ulaşım Anket Soruları ve Sonuçları

Üniversiteye ulaşım veri seti, üniversite genelinde Google Forms aracılığıyla gerçekleştirilen "Üniversiteye Ulaşım Anketi" sonuçlarına dayanmaktadır. Üniversitenin farklı birimlerinde görev yapan akademik personel, idari personel ve öğrencileri kapsayacak şekilde hazırlanan anket toplam 409 kişi tarafından yanıtlanmıştır. Şekil 1’de, üniversite genelinde anketi yanıtlayan 409 katılımcının görev yaptıkları ya da öğrenim gördükleri birimlerin yüzdelik dağılımı pasta grafiği ile gösterilmiştir. Katılımcıların rolleri şu şekilde dağılmıştır:

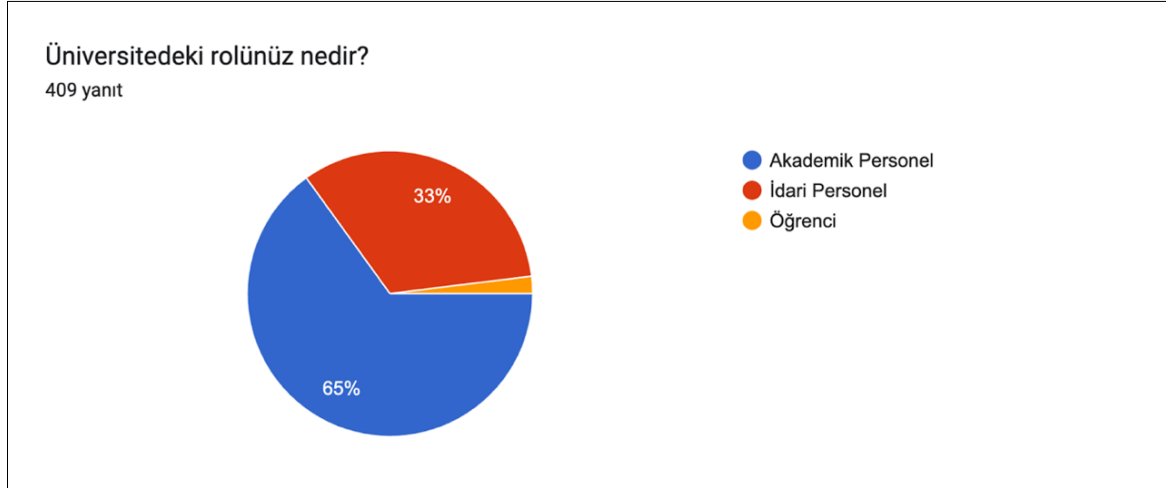
- Akademik Personel: %33
- İdari Personel: %2
- Öğrenciler: %65

Katılımcılar; Rektörlük, Mühendislik Fakültesi, Mimarlık Fakültesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Kazaları Araştırma ve Önleme Enstitüsü, Bilişim Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diş Hekimliği Fakültesi ve Eczacılık Fakültesi gibi üniversitenin farklı birimlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.1.'de, üniversite genelinde anketi yanıtlayan 409 katılımcının görev yaptıkları ya da öğrenim gördükleri birimlerin yüzdelik dağılımı pasta grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Katılımcıların üniversitede çalıştıkları veya öğrenim gördükleri birimlerin dağılımı

Bu raporun odak noktası, üniversite genelinden elde edilen kapsamlı veri seti içerisinde, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi kampüsü özelinde 67 kişinin verdiği yanıtlar doğrultusunda detaylı analiz ve emisyon hesaplamalarının yapılmasıdır. Tez konusu kapsamında yalnızca bu alt örneklem esas alınmış, kampüsün mevcut ulaşım alışkanlıkları değerlendirilmiştir. Şekillerle gösterilen anket sonuçları okul geneli, açıklama ve hesaplamalar GÜMMF özelinde gerçekleştirilmiştir.



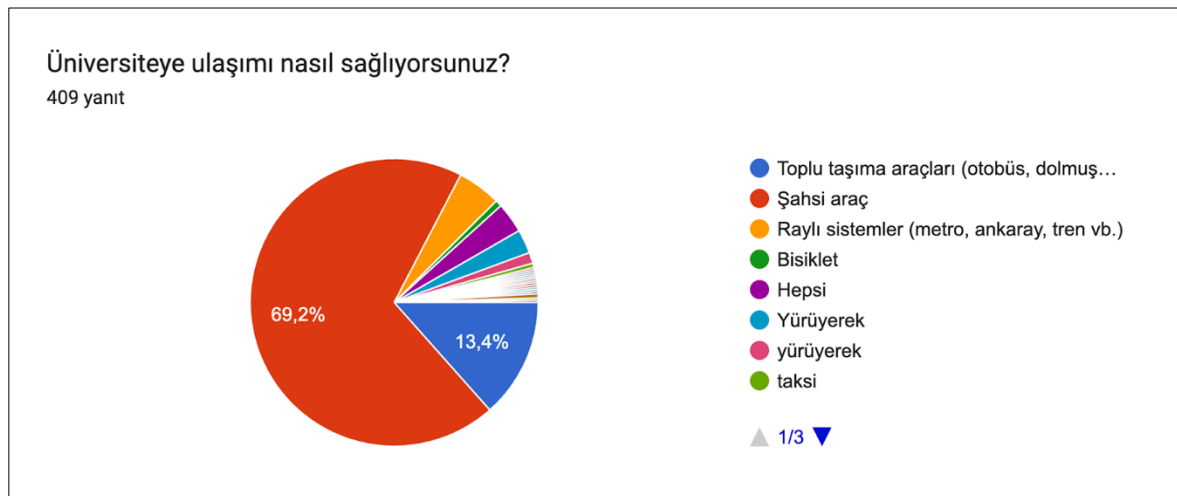
Şekil 4.2. Katılımcıların üniversitedeki rollerine göre dağılımı

Şekil 4.2.'de, anketi yanıtlayan toplam 409 katılımcının üniversitedeki rolleri (akademik personel, idari personel ve öğrenci) yüzdelik olarak gösterilmektedir. Katılımcıların %65'ini akademik personel, %33'ünü idari personel ve %2'sini öğrenciler oluşturmaktadır.

Cevap 1: Katılımcı Profili

Toplamda 67 kişi anketi doldurmuştur. Katılımcıların dağılımı şu şekildedir:

- Akademik Personel: 53 kişi
- İdari Personel: 10 kişi
- Öğrenci: 4 kişi

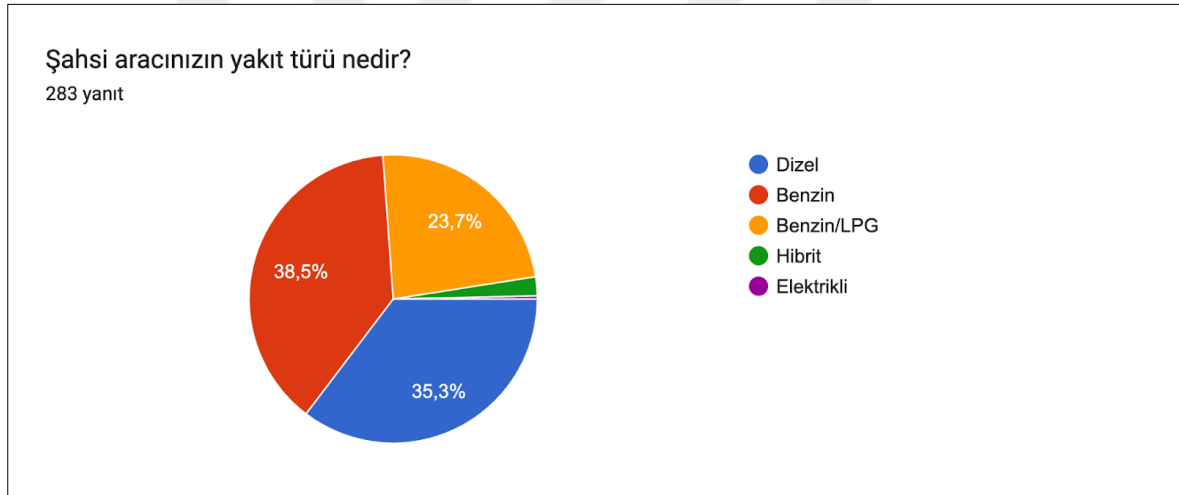


Şekil 4.3. Katılımcıların üniversiteye ulaşım türlerine göre yüzdesel dağılımı

Cevap 2: Ulaşım Tercihleri

Katılımcıların ulaşım yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- Şahsi araç: 45 kişi
- Toplu taşıma (otobüs, dolmuş vb.): 9 kişi
- Raylı sistemler (metro, ankaray, tren vb.): 5 kişi
- Yürüyerek: 4 kişi
- Taksi: 1 kişi
- Bisiklet: 1 kişi
- Birden fazla ulaşım aracı : 2 kişi

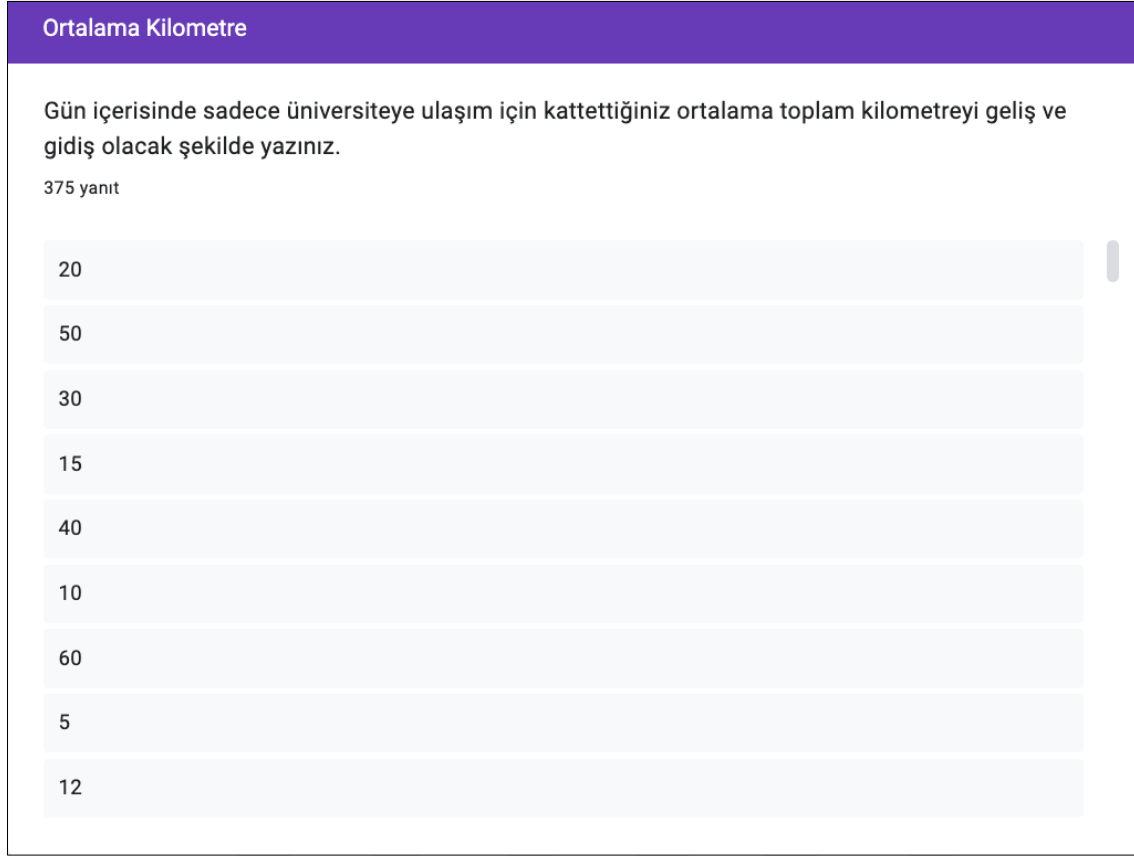


Şekil 4.4. Şahsi araç kullanıcılarının araç yakıt türleri

Cevap 3: Şahsi Araç Kullanıcılarının Araç Yakıt Türleri

Şahsi araç kullanan 45 katılımcının araçlarının yakıt türlerine göre dağılımı:

- Dizel: 20 kişi
- Benzin: 12 kişi
- Benzin/LPG: 11 kişi
- Hibrit: 2 kişi



Şekil 4.5. Katılımcıların üniversiteye ulaşım için kat ettikleri günlük yaklaşık mesafe

Cevap 4: Toplu Taşıma ve Şahsi Araç Kullanıcılarının Günlük Gidiş Geliş Mesafeleri

Şahsi araçla ulaşım sağlayanların tahmini günlük gidiş-geliş mesafe aralıklarına göre dağılımı aşağıdaki gibidir:

- 0–10 km: 9 kişi
- 11–20 km: 22 kişi
- 21–30 km: 4 kişi
- 31–40 km: 4 kişi
- 41–50 km: 13 kişi
- 51–60 km: 5 kişi
- 61+ km: 3 kişi

Ortalama km hesabı yapılmış ve sonuç 28,23 km bulunmuştur. Hesaplamalarda ortalama km değeri kullanılmıştır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların yaklaşık %67'si şahsi araç kullanmaktadır. Bu

grubun önemli bir kısmı benzin veya dizel araçlara yönelmiştir.

Mesafe verilerine göre kullanıcıların yaklaşık %58'i 30 km'nin altında bir günlük ulaşım mesafesine sahiptir.

4.1.1. YDD emisyon çıktıları

Mühendislik ve mimarlık fakültesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-1 bulguları

2021 Yılı Kapsam-1 Emisyonlarının Dağılımı

Toplam Kapsam-1 Emisyonu: $7,97 \times 10^2$ tCO₂e

GÜMMF'nin 2021 yılına ait Kapsam-1 emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.6.'da sunulmaktadır. Bu kapsamda aşağıdaki bulgular öne çıkmaktadır:

Isınma Kaynaklı Doğal Gaz Tüketimi

- Enerji Tüketimi: $1,45 \times 10^7$ MJ
- Emisyon Miktarı: $7,97 \times 10^2$ tCO₂e
- Toplam 2021 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: % 99,96

Şekil 4.6.'da açıkça görüldüğü üzere, 2021 yılında doğrudan emisyonların neredeyse tamamı, fakülte binalarının ısınması amacıyla tüketilen doğal gazdan kaynaklanmıştır. Bu durum, enerji tüketiminin büyük ölçüde ısınma amaçlı olduğunu ve karbon salımlarının bu kullanım alanında yoğunlaştığını göstermektedir.

Jeneratörlerde Kullanılan Dizel Yakıt

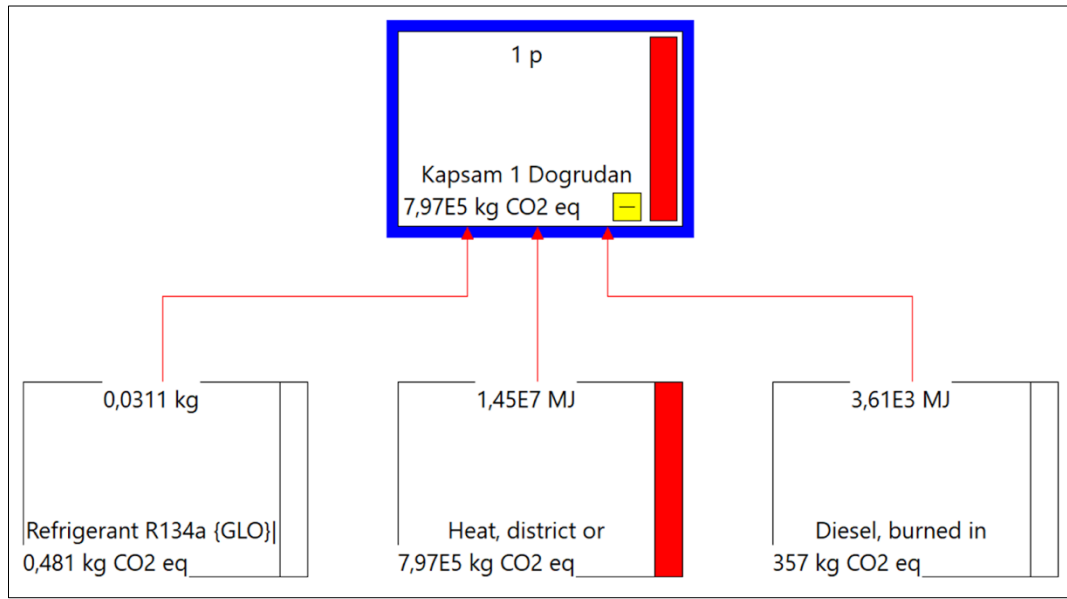
- Enerji Tüketimi: $3,61 \times 10^3$ MJ
- Emisyon Miktarı: $3,57 \times 10^{-1}$ tCO₂e
- Toplam 2021 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: % 0,045

Doğal gaz kullanımının mutlak baskınlığı karşısında, Şekil 4.6.'da dizel kaynaklı emisyonların çok düşük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Jeneratörler, acil durum veya kesinti hallerinde kullanılan yardımcı enerji kaynakları arasında yer almakta olup toplam emisyonlara sınırlı katkı sağlamaktadır.

Soğutucu Gaz (R-134a) Kullanımı

- Kullanılan Miktar: 0,0311 kg
- Emisyon Miktarı: $4,81 \times 10^{-4}$ tCO₂e
- Toplam 2021 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: %0,00006

Şekil 4.6.'da gösterilen bir diğer kaynak, R-134a tipi soğutucu gazdır. Her ne kadar miktar olarak son derece düşük olsa da, bu tür yüksek KIP'e sahip gazların emisyon hesaplamalarında dikkate alınması önem arz etmektedir.



Şekil 4.6. 2021 yılına ait kapsam-1 emisyonlarının sonuçları

2022 Yılı Kapsam-1 Emisyonlarının Dağılımı

2022 Yılı Toplam Kapsam-1 Emisyonu: $7,46 \times 10^2$ tCO₂e

GÜMMF'nin 2022 yılına ait Kapsam-1 emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı Şekil 4.6.'da sunulmaktadır. Görselde yer alan verilere göre, emisyonlar üç ana kaynaktan oluşmuştur:

Isınma Kaynaklı Doğal Gaz Tüketimi

- Enerji Tüketimi: $1,36 \times 10^7$ MJ
- Emisyon Miktarı: $7,46 \times 10^2$ tCO₂e
- Toplam 2022 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: $\approx$ %99,93

Şekil 4.7.'ye göre doğrudan emisyonların en büyük kaynağı, önceki yılda olduğu gibi, doğal gaz tüketimidir. Ancak 2021 yılına kıyasla bu kategoride mutlak bir azalma söz konusudur ($7,97 \times 10^2$ tCO₂e'ten $\rightarrow$ $7,46 \times 10^2$ tCO₂e'ne). Bu azalış, enerji tüketiminde yapılan tasarruflar ya da kullanım sürelerindeki kısaltmalarla ilişkili olabilir.

Jeneratörlerde Kullanılan Dizel Yakıt

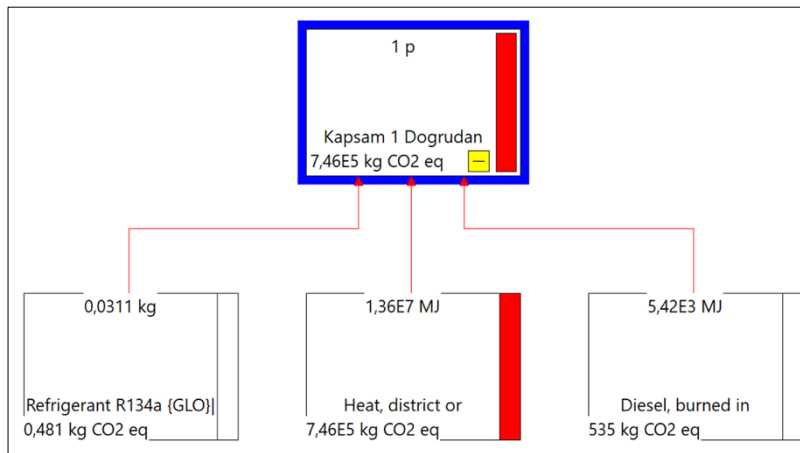
- Enerji Tüketimi: $5,42 \times 10^3$ MJ
- Emisyon Miktarı: $5,35 \times 10^{-1}$ tCO₂e
- Toplam 2022 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: $\approx$ %0,072

Şekil 4.7.'de dizel kaynaklı emisyonlarda belirgin bir artış görülmektedir. 2021 yılına göre ($3,57 \times 10^{-1}$ tCO₂e $\rightarrow$ $5,35 \times 10^{-1}$ tCO₂e) bu yükseliş, jeneratör kullanımındaki artışa işaret etmektedir.

Soğutucu Gaz (R-134a) Kullanımı

- Kullanılan Miktar: 0,0311 kg
- Emisyon Miktarı: $4,81 \times 10^{-4}$ tCO₂e
- Toplam 2022 Kapsam 1 Emisyonları İçindeki Payı: $\approx$ %0,00006

Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere, soğutucu gaz (R-134a) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı hem 2021 hem de 2022 yılında sabit kalmıştır. Miktar düşük olsa da, KIP değeri yüksek olan bu gazların dikkatle izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.7. 2022 yılına ait kapsam-1 emisyonlarının sonuçları

GÜMMF'nin Kapsam 1 emisyonları, 2021 yılında $7,97 \times 10^2$ tCO₂e iken, 2022 yılında

$7,46 \times 10^2$ tCO_{2e}'ne düşmüştür. Bu da toplam doğrudan emisyonlarda yaklaşık %6,4'lük bir azalma olduğunu göstermektedir. Azalmanın temel nedeni, ısınma amaçlı doğal gaz tüketiminde yaşanan düşüştür.

Buna karşılık, dizel kaynaklı emisyonlar 2021'de $3,57 \times 10^{-1}$ tCO_{2e} iken 2022'de $5,35 \times 10^{-1}$ tCO_{2e}'ne yükselmiş ve bu alanda yaklaşık %50 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Soğutucu gaz kaynaklı emisyonlar ise her iki yılda da sabit kalmıştır. Bu veriler, enerji kullanım alışkanlıklarındaki değişikliklerin doğrudan karbon salımı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Mühendislik ve mimarlık fakültesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-2 bulguları

2021 Yılı Kapsam-2 Emisyonlarının Dağılımı

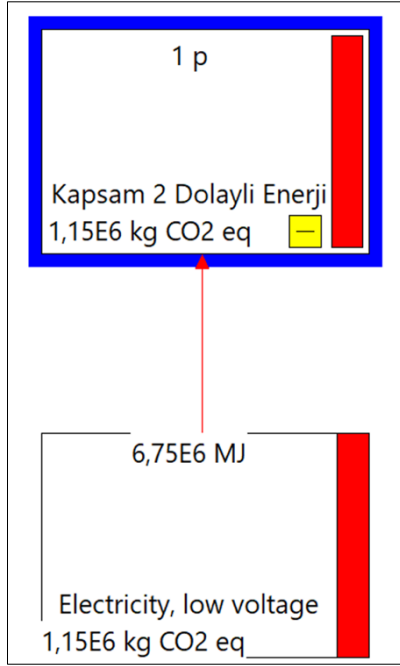
Toplam Kapsam-2 Emisyonu: $8,72 \times 10^2$ tCO_{2e}

GÜMMF'nin 2021 yılına ait dolaylı sera gazı (Kapsam-2) emisyonlarının değerlendirilmesi Şekil 4.8.'de sunulmuştur. Bu kapsamda emisyonlar yalnızca elektrik enerjisi tüketiminden kaynaklanmıştır.

Elektrik Tüketimine Dayalı Emisyonlar

- Toplam Enerji Tüketimi: $5,13 \times 10^6$ MJ
- Emisyon Miktarı: $8,72 \times 10^2$ tCO_{2e}
- Emisyon Kaynağı: Düşük voltajlı şebeke elektriği
- Toplam 2021 Kapsam 2 Emisyonları İçindeki Payı: %100

Şekil 4.8.'de görüldüğü üzere, dolaylı emisyonların tamamı üniversite fakültelerinde kullanılan şebeke elektriğinden kaynaklanmıştır. Elektrik tüketimi, özellikle aydınlatma, laboratuvar cihazları, bilgisayar sistemleri ve merkezi iklimlendirme sistemleri gibi birçok işlevsel kullanım alanını kapsamaktadır. Bu nedenle, 2021 yılı içinde Kapsam-2 emisyonları toplam karbon ayak izi içinde önemli bir yer tutmuştur.



Şekil 4.8. 2021 yılına ait kapsam-2 emisyonlarının sonuçları

2022 Yılı Kapsam-2 Emisyonlarının Dağılımı

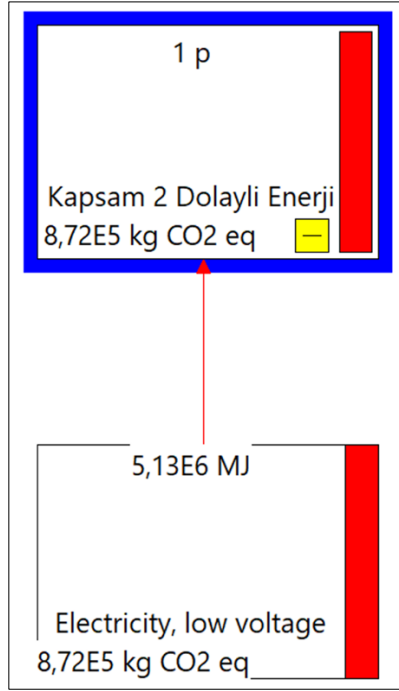
Toplam Kapsam-2 Emisyonu: $1,15 \times 10^3$ tCO₂e

GÜMMF'nin 2022 yılına ait Kapsam 2 emisyonlarının analizi Şekil 4.9.'da sunulmaktadır. Bu kapsamda emisyonlar yalnızca şebekeden temin edilen elektrik enerjisi tüketiminden kaynaklanmıştır.

Elektrik Tüketimine Dayalı Emisyonlar

- Toplam Enerji Tüketimi: $6,75 \times 10^6$ MJ
- Emisyon Miktarı: $1,15 \times 10^3$ tCO₂e
- Emisyon Kaynağı: Düşük voltajlı şebeke elektriği
- Toplam 2022 Kapsam 2 Emisyonları İçindeki Payı: %100

Şekil 4.9.'da gösterildiği üzere, dolaylı emisyonların tamamı elektrik tüketimine dayanmaktadır. 2021 yılına göre elektrik tüketiminde artış olduğu görülmektedir ($5,13 \times 10^6$ MJ $\rightarrow 6,75 \times 10^6$ MJ), bu artışla birlikte Kapsam-2 emisyonları da yaklaşık %32 oranında yükselmiştir ($8,72 \times 10^2$ tCO₂e $\rightarrow 1,15 \times 10^3$ tCO₂e). Bu durum, 2022 yılı içerisinde elektrik kullanımında yaşanan yoğunlaşmanın açık bir göstergesidir.



Şekil 4.9. 2022 yılına ait kapsam-2 emisyonlarının sonuçları

GÜMMMFM'nin Kapsam 2 emisyonları, 2021 yılında $8,72 \times 10^2$ tCO₂e olarak hesaplanmışken, 2022 yılında bu değer $1,15 \times 10^3$ tCO₂e'ye yükselmiştir. Bu artış, dolaylı emisyonlarda yaklaşık %32'lik bir artışı göstermektedir. Artışın temel nedeni, 2022 yılında şebekeden temin edilen elektrik tüketiminin $5,13 \times 10^6$ MJ'den $6,75 \times 10^6$ MJ'ye çıkmasıdır.

Veriler, elektrik enerjisi kullanımının fakültelerin toplam karbon ayak izi içerisindeki en etkili dolaylı emisyon kaynaklarından biri olmaya devam ettiğini ortaya koymaktadır. Tüketimdeki bu artış, elektrikli cihazların kullanım süresi, yoğunluğu veya iklimlendirme sistemlerinin etkisiyle ilişkilendirilebilir ve enerji verimliliği önlemlerinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Mühendislik ve mimarlık fakültesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-3 bulguları

2021 Yılı Kapsam-3 Emisyonlarının Dağılımı

Toplam Kapsam-3 Emisyonu: $7,15 \times 10^1$ tCO_{2e}

GÜMMF'nin 2021 yılına ait Kapsam 3 emisyonlarının bileşenleri Şekil 4.10.'da sunulmaktadır. Bu kapsamda emisyonlar, ulaşım, konaklama ve bina operasyonları gibi doğrudan kontrol dışındaki faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

Havayolu Kaynaklı İş Seyahatine İlişkin Ulaşım Emisyonları

Toplam Emisyon: $7,29 \times 10^{-1}$ tCO_{2e}

Alt Dağılım:

- $2,58 \times 10^3$ person-km $\rightarrow 3,40 \times 10^{-1}$ tCO_{2e}
- $3,59 \times 10^3$ person-km $\rightarrow 3,89 \times 10^{-1}$ tCO_{2e}
- Toplam 2021 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: %1,02

Şekil 4.10'daki en yüksek Kapsam-3 emisyon kaynağı, personel taşımacılığı gibi iş amaçlı ulaşımır. Farklı ulaşım modlarına dayalı toplam 6 170 person-km seyahat sonucu oluşan bu emisyonlar, toplam Kapsam-3'ün yaklaşık %1,02'ünü oluşturmaktadır.

Konaklama Kaynaklı Emisyonlar

Toplam Emisyon: $5,24 \times 10^{-2}$ tCO_{2e}

- Kaynak: 6 kişilik konaklama faaliyetleri $\rightarrow 5,24 \times 10^{-2}$ tCO_{2e}
- Toplam 2021 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: %0,0733

Bu kategori, hizmet içi görevler ya da araştırma faaliyetleri kapsamında yapılan konaklamalarla ilgilidir. Her ne kadar emisyon oranı düşük olsa da, bu tür faaliyetler sıklıkça etkisi artabilir.

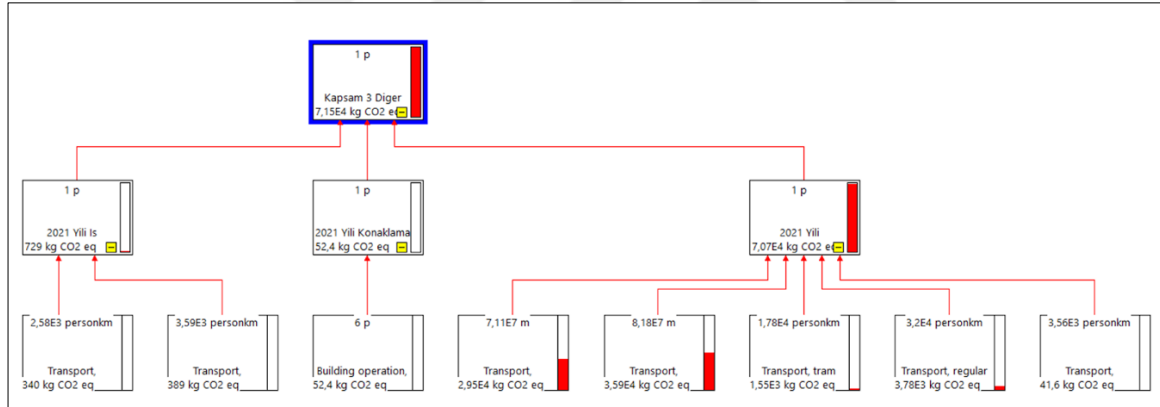
Personel ve Öğrencilerin Üniversiteye Ulaşımı Kaynaklı Emisyonlar

Toplam Emisyon: $7,04 \times 10^1$ tCO₂e

Alt Dağılım:

- $7,11 \times 10^4$ km $\rightarrow 2,95 \times 10^1$ tCO₂e
- $8,18 \times 10^4$ km $\rightarrow 3,59 \times 10^1$ tCO₂e
- $1,78 \times 10^4$ person-km (tramvay) $\rightarrow 1,55$ tCO₂e
- $3,2 \times 10^4$ person-km (düzenli taşıma) $\rightarrow 3,78$ tCO₂e
- $3,56 \times 10^3$ person-km (diğer) $\rightarrow 4,16 \times 10^{-2}$ tCO₂e
- Toplam 2021 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: %98,9

Bu kategori, öğrenciler ve ziyaretçilerin kampüse ulaşımıyla ilgili dolaylı emisyonları kapsamaktadır. Özellikle tramvay gibi düşük karbonlu ulaşım araçlarının kullanımı ile elde edilen düşük emisyon miktarları, sürdürülebilir ulaşım tercihlerinin olumlu etkilerini yansıtmaktadır.



Şekil 4.10. 2021 yılına ait kapsam-3 emisyonlarının sonuçları

2022 Yılı Kapsam-3 Emisyonlarının Dağılımı

Toplam Kapsam-3 Emisyonu: $1,38 \times 10^2$ tCO₂e

GÜMMF'nin 2022 yılına ait Kapsam 3 emisyonlarının detaylı dağılımı Şekil 4.11.'de sunulmaktadır. Emisyon kaynakları; iş amaçlı ulaşım, konaklama faaliyetleri ve öğrenci/ziyaretçi ulaşımı gibi üniversitenin dolaylı etkilediği faaliyetleri kapsamaktadır.

Havayolu Kaynaklı İş Seyahatine İlişkin Ulaşım Emisyonları

Toplam Emisyon: 1,78 tCO₂e

Alt Dağılım:

- $4,94 \times 10^3$ person-km $\rightarrow 6,51 \times 10^{-1}$ tCO₂e
- $1,04 \times 10^4$ person-km $\rightarrow 1,13$ tCO₂e
- Toplam 2022 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: %1,29

Şekil 4.11.'de görüldüğü üzere, 2022 yılında Kapsam-3 emisyonlarının en büyük kısmı personel ve öğrencilerin üniversiteye ulaşımından kaynaklanmaktadır. Bu kategori toplam Kapsam-3 emisyonlarının yaklaşık %1,29'unu oluşturmuştur ve 2021 yılına kıyasla bu alandaki faaliyetlerde %0,27 artış olduğu gözlemlenmektedir.

Konaklama Kaynaklı Emisyonlar

Toplam Emisyon: $8,74 \times 10^{-2}$ tCO₂e

- Kaynak: 10 kişilik konaklama faaliyeti $\rightarrow 8,74 \times 10^{-2}$ tCO₂e
- Toplam 2022 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: % 0,0632

Şekil 4.11.'de yer alan bu kategori, 2021 yılına kıyasla hem konaklayan kişi sayısında (6 $\rightarrow$ 10 kişi) hem de toplam emisyon miktarında artış göstermiştir. Bu artışın nedeni, yıl içerisindeki görev ve araştırma faaliyetlerinin yoğunlaşması olabilir.

Personel ve Öğrencilerin Üniversiteye Ulaşımı Kaynaklı Emisyonlar

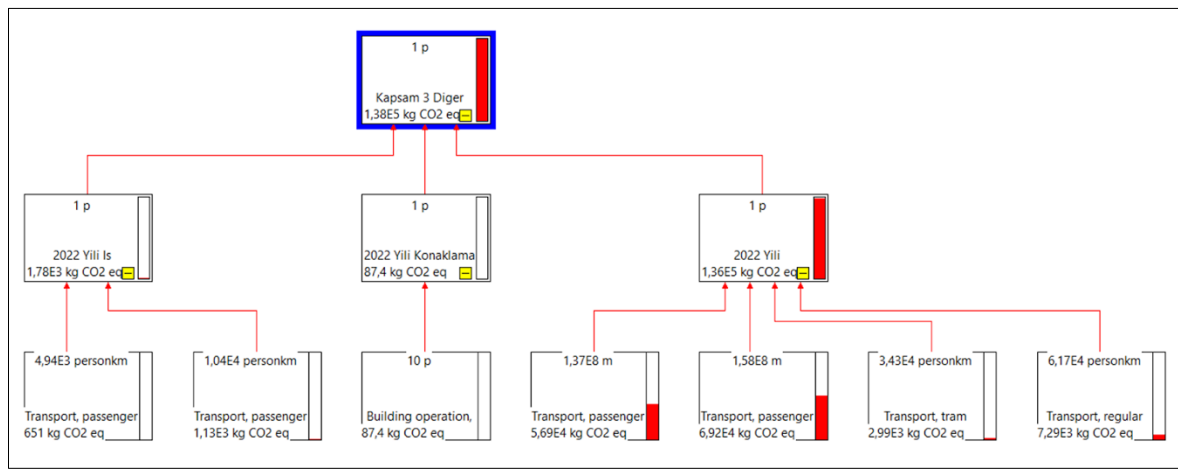
Toplam Emisyon: $1,36 \times 10^2$ tCO₂e

Alt Dağılım:

- $1,37 \times 10^5$ km $\rightarrow 5,69 \times 10^1$ tCO₂e
- $1,58 \times 10^5$ km $\rightarrow 6,92 \times 10^1$ tCO₂e
- $3,43 \times 10^4$ person-km (tramvay) $\rightarrow 2,99$ tCO₂e
- $6,17 \times 10^4$ person-km (düzenli taşıma) $\rightarrow 7,29$ tCO₂e
- Toplam 2021 Kapsam 3 Emisyonları İçindeki Payı: %98,6

Şekil 4.11.'deki bu kategori, 2021 yılına kıyasla %48 artarak $1,36 \times 10^2$ tCO_{2e}'ne ulaşmıştır. Seyahat mesafeleri ve araç türlerindeki dağılımlar değişmemesine rağmen üniversiteye gelinek takvim günü sayısı hesaplamalarda artırılmasının sebebi 2021 yılının pandemi olmasıyla alakalıdır.

GÜMMF'nin Kapsam 3 sera gazı emisyonları, 2021 yılında $7,15 \times 10^1$ tCO_{2e} olarak hesaplanmışken, 2022 yılında bu değerk $1,38 \times 10^2$ tCO_{2e}'ne yükselmiştir. Bu durum, Kapsam 3 emisyonlarında yaklaşık %48 oranında bir artış olduğunu göstermektedir.

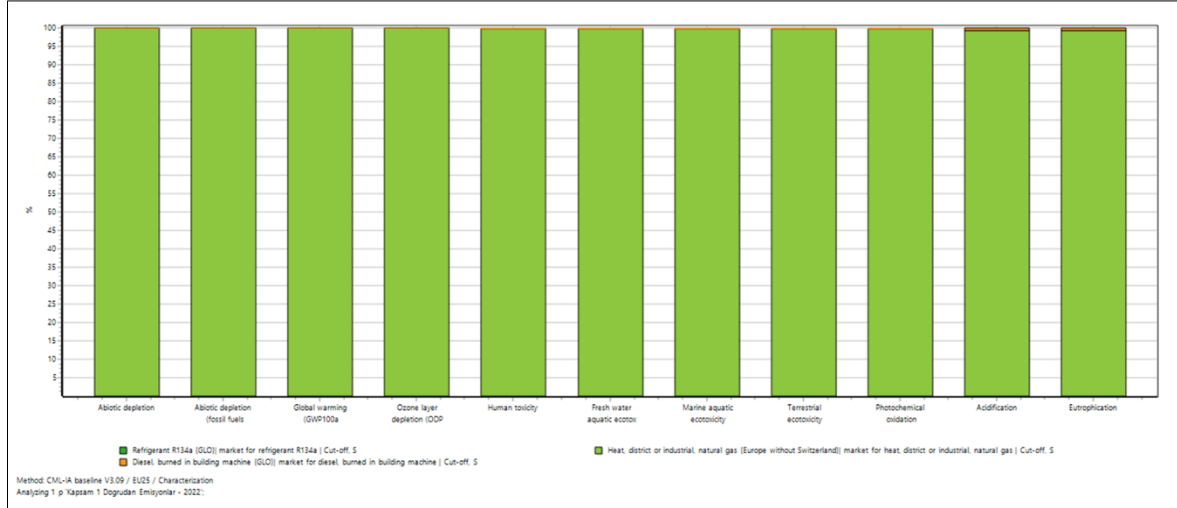


Şekil 4.11. 2022 yılına ait kapsam-3 emisyonlarının sonuçları

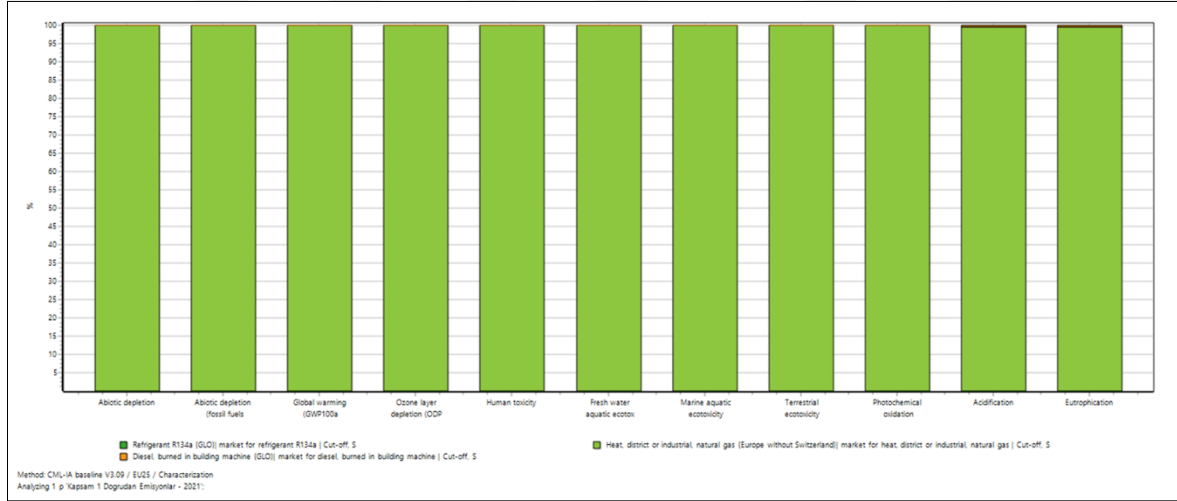
Artışın büyük bölümünden personel ve öğrencilerin üniversiteye ulaşımı sorumlu olurken bunu sırasıyla iş seyahatleri ve konaklama gibi iş amaçlı ulaşım faaliyetleri takip etmektedir.

4.1.2. YDD etki değerlendirmesi ıktıları

Mühendislik ve mimarlık fakóltesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-1 etki değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.12. 2021 yılına ait kapsam-1 etki değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.13. 2022 yılına ait kapsam-1 etki değerlendirmesi sonuçları

GÜMMF’nin 2021 ve 2022 yıllarına ait Kapsam 1 doğrudan emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı, Şekil 4.12. ve Şekil 4.13’te sunulmuştur. Bu değerlendirme, “CML-IA baseline V3.09 / EU25” metoduna göre gerçekleştirilmiş olup her iki yılda da emisyonların büyük çoğunluğunun doğalgaz kullanımından kaynaklandığı görölmektedir.

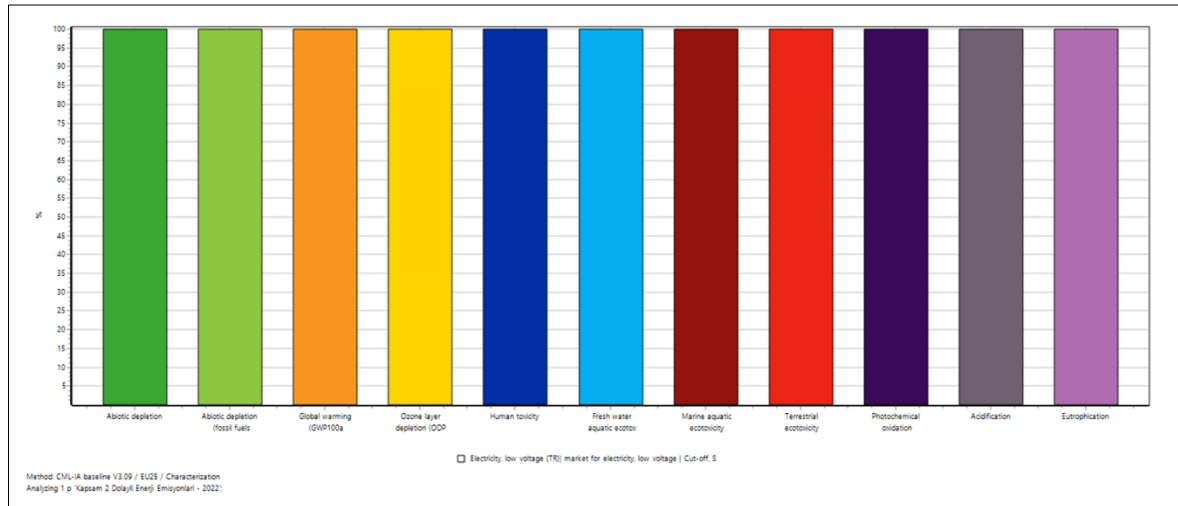
Kaynak tükenmesi kategorisinde, her iki yılda da doğalgazın etkisi belirleyicidir; dizel ve

R-134a katkıları yok denecek düzeydedir. Fosil yakıt tükenmesi etkisi bakımından 2021 yılında doğal gaz %55, dizel %45 düzeyinde katkı sunarken; 2022 yılında bu oran benzer şekilde devam etmiştir. Küresel ısınma potansiyeli etkisi her iki yılda da neredeyse tamamen doğal gaz ve kısmen dizel kaynaklıdır; R-134a'nın katkısı her iki yılda da sabit ve düşüktür. Ozon tabakası incilmesi kategorisinde ise yalnızca R-134a etkisi görünür düzeydedir, bu durum her iki yılda da benzer yapıdadır.

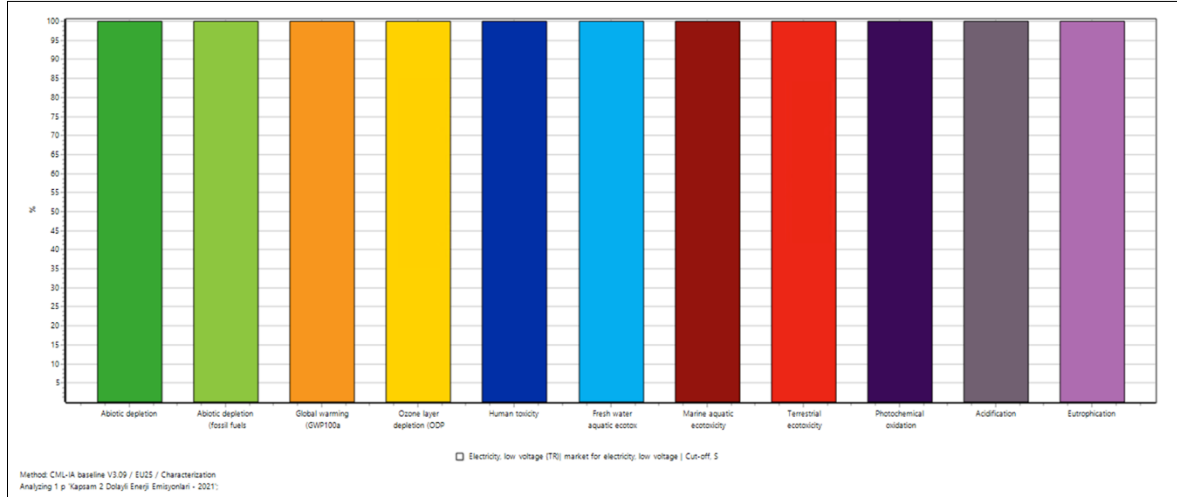
İnsan toksisitesi, tatlı su ekotoksisitesi, denizel ekotoksisite ve karasal ekotoksisite kategorilerinde doğal gazın etkisi %95'in üzerindedir; dizel ve R-134a katkısı göz ardı edilebilecek düzeydedir. Fotokimyasal oksidasyon, asitleşme ve ötrofikasyon etkilerinde de benzer bir dağılım söz konusudur: doğal gaz kaynaklı etkiler baskın, dizel katkısı sınırlı ve R-134a etkisi ise ihmal edilebilecek düzeydedir.

Her iki yıl için hazırlanan bu dağılım grafikleri, Kapsam 1 emisyonlarının tüm çevresel etki kategorilerinde temel belirleyici unsurunun doğal gaz olduğunu, diğer kaynakların katkısının ise çok düşük seviyede kaldığını göstermektedir.

Mühendislik ve mimarlık fakültesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-2 etki değerlendirmesi bulguları



Şekil 4.14. 2021 yılına ait kapsam-2 etki değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.15. 2022 yılına ait kapsam-2 etki değerlendirmesi sonuçları

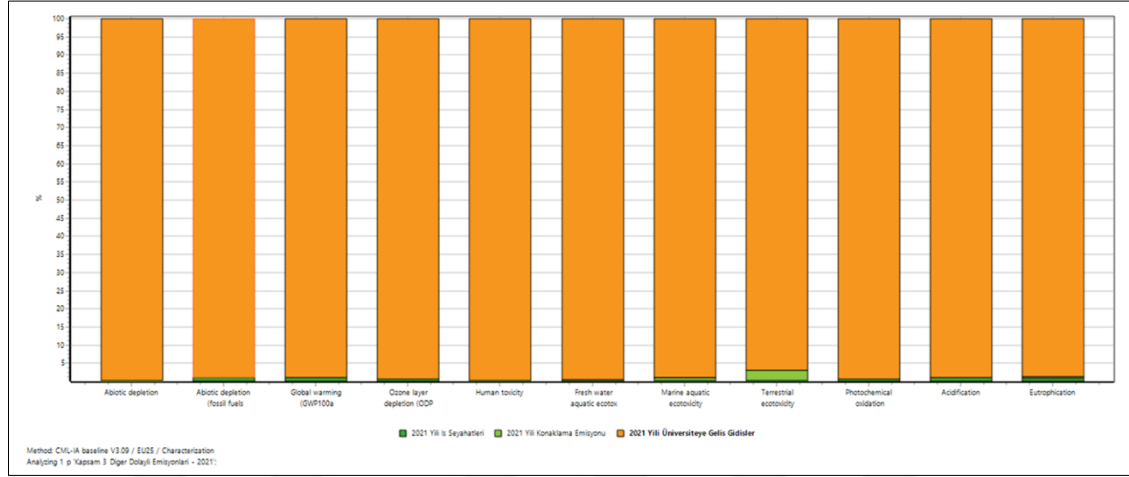
GÜMMF'nin 2021 ve 2022 yıllarına ait Kapsam 2 dolaylı enerji emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te sunulmuştur. Her iki yılda da düşük voltajlı şebeke elektriği tüketimi temel girdiyi oluşturmaktadır ve bu elektrik tüketimi bütün etki kategorilerinde neredeyse %100'e yakın oranda baskındır.

Kaynak tükenmesi etkisi hem 2021 hem 2022 yılında tamamen elektrik tüketimine bağlı olarak oluşmuştur. Fosil yakıt tükenmesi kategorisinde de benzer şekilde etkilerin tamamı şebekeden temin edilen elektriğe dayanmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli açısından her iki yılda da elektrik üretimi sürecinden kaynaklanan sera gazı emisyonları etkilidir. Ozon tabakası incilmesi kategorisinde yine her iki yılda da şebeke elektriği kullanımı bu etkiyi oluşturmaktadır.

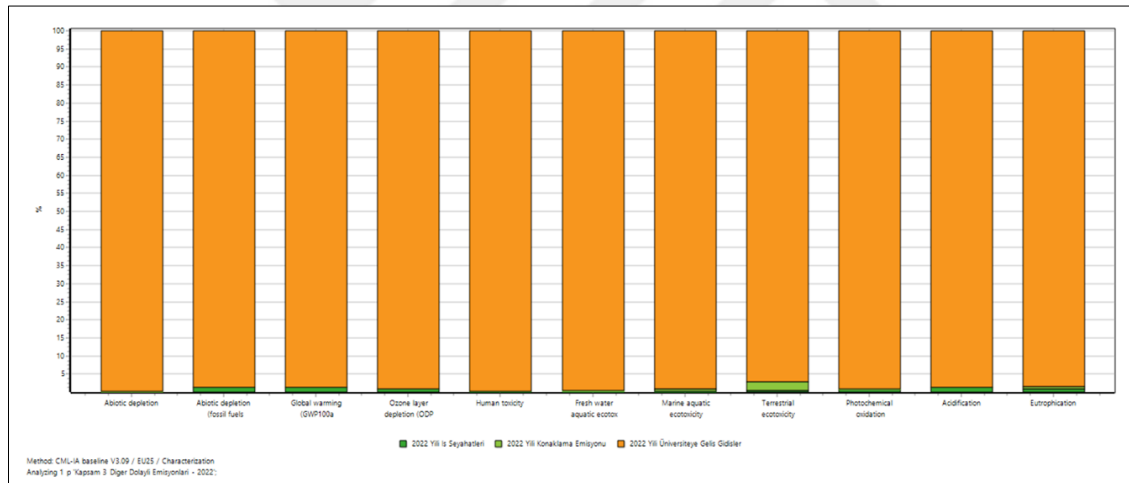
İnsan toksisitesi, tatlı su ekotoksisitesi, denizel ekotoksiste ve karasal ekotoksiste gibi toksiste temelli tüm kategorilerde de 2021 ve 2022 yıllarında elektrik enerjisinin etkisi baskın olup başka bir kaynağın etkisi grafiklerde görünmemektedir. Fotokimyasal oksidasyon, asitleşme ve ötrofikasyon kategorilerinde de her iki yılda tüm katkının elektrik tüketiminden kaynaklandığı ve başka bir emisyon girdisinin bu etki alanlarında rol oynamadığı belirlenmiştir.

Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te sunulan veriler, 2021 ve 2022 yıllarında dolaylı enerji kaynaklı emisyonların tüm çevresel etki kategorilerinde yalnızca elektrik tüketimine dayalı olarak oluştuğunu göstermektedir.

Mühendislik ve mimarlık fakültesi 2021 ve 2022 yıllarına ait kapsam-3 etki değerlendirmesi bulguları



Şekil 4.16. 2021 yılına ait kapsam-3 etki değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.17. 2022 yılına ait kapsam-3 etki değerlendirmesi sonuçları

GÜMMF'nin 2021 ve 2022 yıllarına ait Kapsam 3 "diğer dolaylı emisyonlarının" çevresel etki kategorilerine göre dağılımı yukarıdaki Şekil 4.16. ve Şekil 4.17. ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her iki yılda da üç temel kaynak analiz edilmiştir: iş seyahatleri, konaklama faaliyetleri ve üniversiteye ulaşım.

Kaynak tükenmesi kategorisinde her iki yılda da üniversiteye geliş-gidiş kaynaklı emisyonların baskın olduğu görülmektedir. Bu kategoride, iş seyahatleri ve konaklamanın katkısı hem 2021 hem de 2022 yıllarında ihmal edilebilir düzeydedir.

Fosil yakıt tükenmesi açısından da benzer bir tablo mevcuttur. Her iki yılda da üniversiteye ulaşım %95'ten fazla oranla bu kategoriye domine etmektedir. 2022 yılında konaklama ve iş seyahatlerinin katkısı hafifçe artmış olsa da etkisi oldukça sınırlı kalmıştır.

Küresel ısınma potansiyeli kategorisinde 2021 yılında üniversiteye geliş emisyonlarının baskın olduğu, iş seyahatlerinin ise az da olsa katkı sunduğu görülmektedir. Ancak 2022 yılında iş seyahatlerine ait emisyon katkısının bir miktar artış gösterdiği dikkat çekmektedir.

Ozon tabakasının incelmesinde de benzer şekilde, 2021 yılında yalnızca ulaşım öne çıkarken, 2022 yılında iş seyahatlerinden kaynaklı etkilerin nispeten arttığı anlaşılmaktadır.

İnsan toksisitesinde 2021 yılında neredeyse tamamen üniversiteye ulaşım etkiliyken, 2022'de iş seyahatlerinin etkisinin bir miktar görünür hale geldiği dikkat çekmektedir. Ancak bu etki toplam katkı içinde yine oldukça küçük kalmıştır.

Tatlı su ekotoksitesitesi ve denizel ekotoksitesite kategorilerinde, 2021 yılında yalnızca üniversiteye gelişler etkili olmuştur. 2022 yılında iş seyahatlerinin bu kategorilere katkısı çok az da olsa fark edilir düzeyde artmıştır.

Karasal ekotoksitesite kategorisi açısından 2022 yılında konaklama emisyonlarının katkısı 2021'e göre belirgin şekilde artmış; %3 ila %5'lik bir katkıya ulaşmıştır. Bu, konaklama kaynaklı hizmetlerin çevresel etkisinin bazı kategorilerde daha görünür hale geldiğini göstermektedir.

Fotokimyasal oksidasyon ve asidifikasyon etkilerinde 2021 yılında sadece üniversiteye geliş etkiliyken, 2022 yılında iş seyahatlerinin etkisi sınırlı düzeyde de olsa fark edilir hale gelmiştir.

Ötrofikasyon kategorisinde her iki yılda da üniversiteye ulaşım en baskın katkıyı sunmakta, ancak 2022 yılında iş seyahatlerinin bu kategoriye olan etkisi 2021'e kıyasla hafif bir artış göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Şekil 4.16. ve Şekil 4.17., 2021 yılında neredeyse tüm çevresel etki kategorilerinde üniversiteye ulaşım kaynaklı emisyonların tek başına baskın

olduğunu göstermektedir. Ancak 2022 yılına gelindiğinde iş seyahatleri ve konaklama faaliyetleri birçok kategoride etkisini hafif de olsa artırmış ve bu kaynaklar daha görünür hale gelmiştir. Bu değişim, 2022 yılında pandemi sonrası fiziksel faaliyetlerin artması ve akademik/idari hareketliliğin yükselmesi ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Özellikle iş seyahatleri, 2022 yılında çevresel etkilerdeki payını neredeyse tüm kategorilerde artırmıştır.

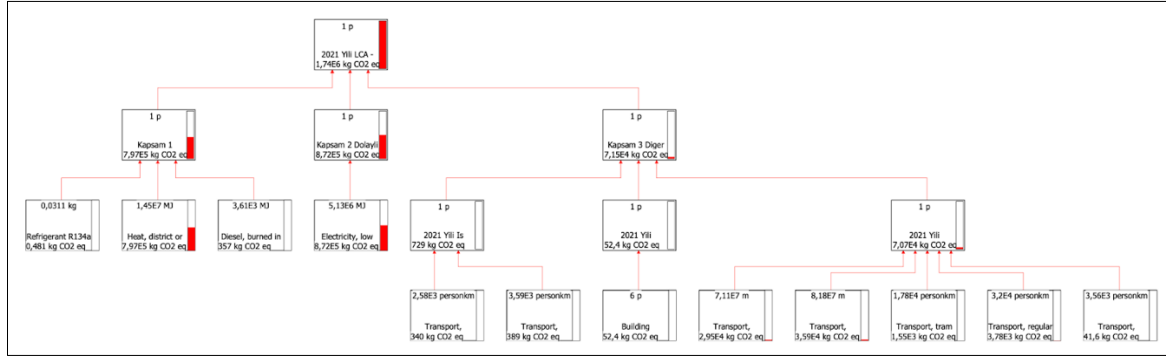
4.2. Bulguların Değerlendirilmesi

4.2.1. 2021 ve 2022 yıllarının emisyonlarının karşılaştırılması

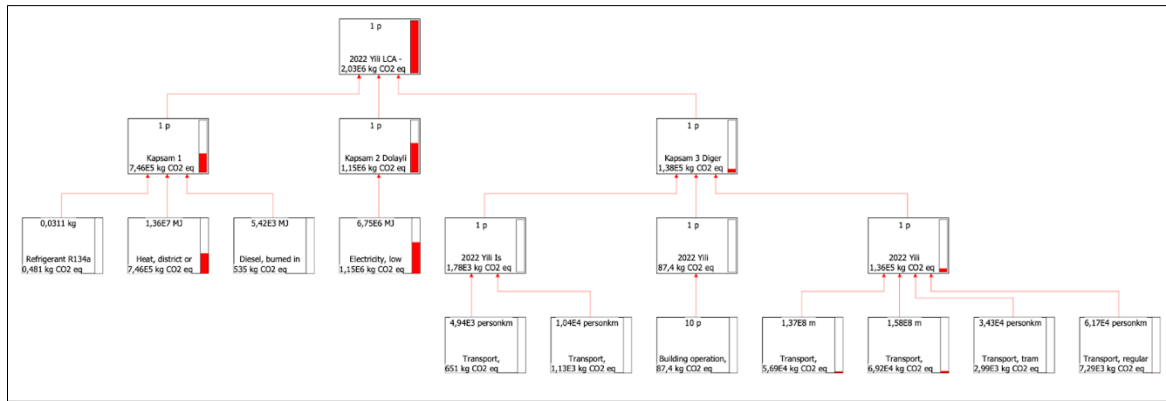
GÜMMF'nin 2021 ve 2022 yıllarına ait çevresel performansı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Aynı kurumun farklı yıllarına ait verilerle yapılan bu tür karşılaştırmalar, iklim koşulları, bina yapısı, öğrenci ve personel sayısı gibi değişkenlerin büyük ölçüde sabit kalması nedeniyle yıllık değişimlerin daha sağlıklı yorumlanmasını sağlar ve bulguların güvenilirliğini artırır.

Buna karşılık, farklı üniversiteler arasında yapılan doğrudan karşılaştırmalar; bina yaşı, kampüs büyüklüğü, enerji kaynakları, iklim koşulları, yenilenebilir enerji kullanımı gibi altyapısal farklar nedeniyle yanıltıcı olabilir. Ayrıca, öğrenci ve personel yoğunluğu, laboratuvar kullanımı ve kampüs içi ulaşım olanakları gibi operasyonel farklılıklar da emisyonları doğrudan etkilemektedir.

Veri toplama yöntemleri ve kapsam belirleme biçimleri de kurumlar arasında farklılık gösterebilir. Uluslararası standartlar (ISO 14064-1, GHG Protokolü) kullanılsa bile, bu standartların uygulanışındaki yorum farkları metodolojik tutarsızlık riskini artırır. Bu nedenle, çalışmada yalnızca GÜMMF'nin kendi yılları arasındaki veriler esas alınmıştır. Bu yaklaşım, zaman içindeki performans değişimlerini nesnel biçimde değerlendirmeye ve izleme iyileştirme süreçlerine sağlam bir temel oluşturmaya olanak tanımaktadır.



Şekil 4.18. 2021 yılına ait emisyonların sonuçları



Şekil 4.19. 2022 yılına ait emisyonların sonuçları

GÜMMF'ne ait 2021 ve 2022 yılları emisyonları Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'daki sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Şekil 4.18'e göre 2021 yılına ait toplam karbon ayak izi $1,74 \times 10^3$ tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Bu toplam değer $50,1\%$ 'i Kapsam 2 kaynaklı olup $8,72 \times 10^2$ tCO₂e olarak belirlenmiştir. Kapsam 1 $7,97 \times 10^2$ tCO₂e ile toplam emisyonun $45,8\%$ 'ini oluştururken, Kapsam 3 ise $7,15 \times 10^1$ tCO₂e ile $4,06\%$ 'lık paya sahiptir.

2022 yılına ait toplam karbon ayak izi değeri $2,03 \times 10^3$ tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Bu yıl Kapsam 2 emisyonları $1,15 \times 10^3$ tCO₂e'ye ulaşarak toplamın $56,5\%$ 'ini oluşturmuştur. Kapsam 1 kaynaklı doğrudan emisyonlar $7,46 \times 10^2$ tCO₂e ile $36,7\%$ oranında belirlenmiştir. Kapsam 3 emisyonları ise $1,38 \times 10^3$ tCO₂e'ye çıkarak $6,8\%$ 'lik bir paya ulaşmıştır.

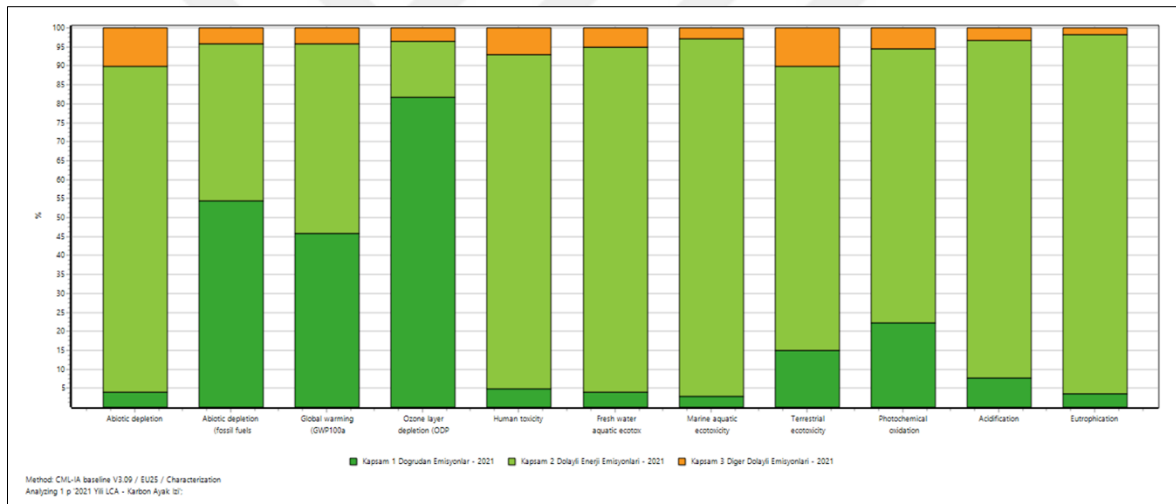
Şekil 4.18. ve Şekil 4.19. birlikte değerlendirildiğinde, 2022 yılında toplam karbon ayak izinde mutlak bir artış yaşandığı, Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonlarının toplam içerisindeki payını artırdığı, buna karşılık Kapsam 1 emisyonlarında mutlak bir azalma

olmasa da görünen oranda düşüş gözlemlendiği görülmektedir. Bu dağılım, emisyonların kaynak bazında yıllar içindeki değişimini ve dağılım farklılıklarını açıkça ortaya koymaktadır.

4.2.2. 2021 ve 2022 yıllarının etki değerlendirmesinin karşılaştırılması

SimaPro’da “CML-IA V3.09 / EU25” metoduna göre hazırlanan Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.’de 2021 ve 2022 yıllarına ait her bir çevresel etki kategorisi, Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonlarının katkıları ayrı ayrı dikkate alınarak ayrıntılı bir şekilde gösterilmiş ve sonuçları da aşağıda verilmektedir.

2021 yılına ait etki değerlendirmesi bulguları



Şekil 4.20. 2021 yılı sera gazı emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı

GÜMMF’nin 2021 yılına ait Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 sera gazı emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımını gösteren grafiğe Şekil 21’e dayanarak yapılan analiz aşağıda sunulmuştur.

Abiyotik Tükenme: Bu kategorideki çevresel etkilerin büyük çoğunluğu yaklaşık %90’dan fazlası Kapsam 2 emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Kapsam 1’in etkisi sınırlı seviyede kalırken, Kapsam 3 kaynaklı etkilerde %10’un üzerinde gözle görülür bir şekilde mevcuttur. Bu durum, elektrik üretimi için kullanılan enerji kaynaklarının doğrudan doğal kaynak tüketimi üzerindeki baskısını göstermektedir.

Fosil Yakıt Tükenmesi: Bu kategoride hem Kapsam 1 hem de Kapsam 2 önemli düzeyde etkilidir. Kapsam 1'in katkısı yaklaşık %55'ken, Kapsam 2'nin katkısı %45 düzeyindedir. Bu, doğrudan doğal gaz ve dizel kullanımı ile dolaylı elektrik tüketiminin birlikte fosil yakıt kullanımını artırdığını ortaya koymaktadır.

Küresel Isınma Potansiyeli: Küresel ısınma etkisinde Kapsam 1 emisyonları yaklaşık %50-55 arasında bir oranla öne çıkmaktadır, ancak Kapsam 2'de yakın bir oranla katkı sağlamaktadır. Kapsam 3'ün etkisi oldukça düşüktür. Bu, doğrudan yakıt tüketimi ve elektrik tüketiminin sera gazı salımı üzerindeki toplam etkisini vurgular.

Ozon Tabakasının İncelmesi: Kapsam 1 bu kategoride baskın durumdadır. Özellikle soğutucu gazlardan kaynaklanan emisyonlar ozon tabakasının incelmesi üzerinde etkili olmaktadır. Kapsam 2 ve Kapsam 3'ün katkıları görece düşüktür.

İnsan Toksisitesi: Bu etkide neredeyse tüm katkı Kapsam 2'ye aittir. Bu durum, elektrik üretiminde kullanılan kaynakların insan sağlığına zararlı kimyasal salımlar yaptığına işaret etmektedir.

Tatlı Su Akuatik Ekotoksisitesi: Tatlı su ekotoksisitesi etkisinde Kapsam 2 %90'larda bir oranla belirleyici konumdadır. Kapsam 1' ve 3'ün katkıları çok sınırlıdır.

Deniz Akuatik Ekotoksisitesi: Bu kategoride de Kapsam 2 açık ara baskın durumdadır. Elektrik üretim süreçlerinin deniz ortamı üzerinde yaratabileceği olumsuz etkiler bu sonuçta belirleyicidir.

Karasal Ekotoksisite: Burada Kapsam 1'in yaklaşık %15'lik oranı dikkat çekmektedir. Kapsam 2 yine baskın olsa da Kapsam 1'in karasal ekosistemlere zarar verebilecek emisyonlar açısından daha görünür hale geldiği bir çevresel etki olmuştur. Kapsam 3 katkısı gözle görülür ancak düşük düzeydedir.

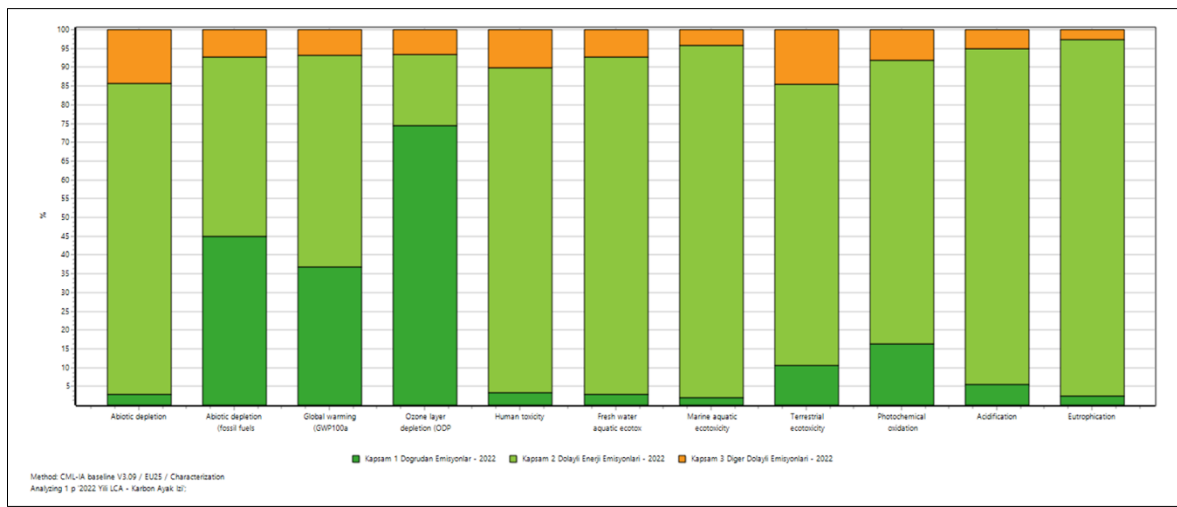
Fotokimyasal Oksidasyon: Bu kategoride Kapsam 2 önemli bir etki alanına sahiptir. Bu, motorlu taşıtlardan ve ısınma sistemlerinden kaynaklanan VOC ve NOx salımıyla ilişkilidir. Kapsam 1 ve Kapsam 3'ün katkısı daha düşüktür.

Asidifikasyon: Asidifikasyon etkilerinin yaklaşık %90'ı Kapsam 2 kaynaklıdır. Bu etki,

elektrik üretimi esnasında açığa çıkan SO₂ ve NO_x gibi gazlardan kaynaklanmaktadır. Kapsam 1'in katkısı az ama gözlemlenebilir düzeydedir.

Ötrofikasyon: Bu etkide de Kapsam 2 emisyonları baskındır. Elektrik üretiminden kaynaklı fosfor ve azot salımları, bu kategorideki yüksek etkiyi açıklamaktadır. Kapsam 1 ve 3'ün etkileri az miktarda katkı sağlamaktadır.

2022 yılına ait etki değerlendirmesi bulguları



Şekil 4.21. 2022 yılı sera gazı emisyonlarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı

Aşağıda, GÜMMF'nin 2022 yılına ait Kapsam 1, 2, 3 emisyon verilerinin çevresel etki kategorilerine göre dağılımı Şekil 4.21. doğrultusunda yapılan analiz sonuçları bulunmaktadır.

Abiyotik Tükenme: Bu kategorideki emisyonların büyük çoğunluğu Kapsam 2'ye (dolaylı enerji tüketimi) aittir. Elektrik üretimi için tüketilen fosil kaynaklar, doğal kaynakların tükenmesine en fazla katkısı yapmaktadır. Kapsam 1'in katkısı sınırlı, Kapsam 3'ün ise gözle görülür ölçüde olduğu dikkat çekmektedir.

Fosil Yakıt Tükenmesi: Fosil yakıt kullanımında da benzer bir tablo mevcuttur. Kapsam 2 emisyonları %50'nin üzerinde katkı yaparken, Kapsam 1 etkisi yine belirgindir. Bu dağılım, doğal gaz ve elektrik tüketiminin fosil yakıt kaynakları üzerindeki baskısını göstermektedir. Kapsam 3 emisyonları da küçük fakat göz ardı edilemeyecek düzeydedir.

Küresel Isınma Potansiyeli: Bu kategoride Kapsam 1 (doğrudan emisyonlar), Kapsam 2'ye göre daha baskın bir etki yaratmaktadır. Özellikle doğalgazla ısınma ve dizel kullanımı gibi doğrudan emisyonlar, toplam küresel ısınma potansiyelinin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Kapsam 3'ün katkısı %5'in altında kalmaktadır.

Ozon Tabakasının İncelmesi: 2022 yılında bu kategoride Kapsam 1 emisyonları net şekilde baskın olup yaklaşık %75 oranında etkili olmuştur. Bu sonuç, soğutucu gaz sızıntılarının ozon tabakası üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Kapsam 2 emisyonları %25 düzeyindeyken, Kapsam 3 etkisi ihmal edilebilir seviyededir.

İnsan Toksisitesi: İnsan sağlığına yönelik toksik etkiler neredeyse tamamen Kapsam 2 kaynaklıdır. Elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ağır metaller ve zararlı bileşenlerin bu sonuca neden olduğu anlaşılmaktadır. Kapsam 1 katkısı minimaldir, Kapsam 3 ise neredeyse sıfıra yakındır.

Tatlı Su Ekotoksisitesi: Bu kategoride Kapsam 2 emisyonları baskındır. Elektrik üretiminde kullanılan yöntemlerin tatlı su yaşamı üzerindeki olumsuz etkileri ön plandadır. Kapsam 1 ve 3 katkıları çok düşüktür.

Deniz Ekotoksisitesi: Denizel ekosistemler üzerindeki etkilerde de Kapsam 2 emisyonları hâkim durumdadır. Elektrik üretimi süreçleri, deniz ortamına ulaşan toksik bileşenlerin ana kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Karasal Ekotoksisite: Bu kategoride 2022 yılında Kapsam 1 emisyonları anlamlı düzeydedir (yaklaşık %15–20). Bu etki, doğrudan emisyonlar ile yerel kara ekosistemlerine zarar verebilecek maddelerin salımına bağlanabilir. Kapsam 2 yine baskın durumdayken, Kapsam 3 düşük düzeydedir.

Fotokimyasal Oksidasyon: Havada ozon ve diğer foto-oksidanların oluşumunu temsil eden bu kategoride Kapsam 1'in katkısı %20–25 bandında, Kapsam 2 ise ana katkı sağlayan kaynaktır. VOC ve NOx emisyonları özellikle ulaşım ve ısınma kaynaklı etkileri göstermektedir.

Asidifikasyon: Bu kategorideki etkiler büyük oranda Kapsam 2 emisyonlarından kaynaklanmaktadır. SO₂ ve NOx gibi gazlar elektrik üretimi sırasında açığa çıkmakta, bu

da asit yağmurlarına ve toprak pH'ında değişime neden olmaktadır. Kapsam 1 katkısı gözle görülür, ancak daha düşük seviyededir.

Ötrofikasyon: Su ortamlarındaki besin dengesini bozan bu etkide Kapsam 2 emisyonları belirgin şekilde baskındır. Elektrik üretimi sürecinde ortaya çıkan fosfor ve azot salımları, sucul ortamlarda alg patlamalarına sebep olabilecek düzeydedir. Kapsam 1 etkisi sınırlı, Kapsam 3 neredeyse yoktur.

Kapsam 1, 2021 ve 2022 yıllarında doğrudan emisyonların çevresel etkiler üzerindeki payı benzer bir dağılım göstermiştir. Her iki yılda da Kapsam 1 emisyonları, özellikle KIP'ı, ozon tabakasının incelmesi ve fotokimyasal oksidasyon kategorilerinde dikkate değer katkılar sunmuştur. 2022 yılında Kapsam 1'in bu kategorilerdeki oranı hafif azalsa da, mutlak emisyon miktarındaki artış nedeniyle çevresel etkisi sabit kalmış ya da artmıştır. Diğer etki kategorilerinde (örneğin toksisite ve ekotoksisite türlerinde) Kapsam 1'in katkısı düşük düzeyde kalmıştır.

Kapsam 2, Her iki yılın analizinde de Kapsam 2 emisyonları, çevresel etki kategorilerinde açık ara baskın kaynak olmuştur. Elektrik tüketiminden kaynaklanan bu dolaylı emisyonlar; insan toksisitesi, tatlısu ve deniz ekotoksisitesi, karasal ekotoksisite, asidifikasyon ve ötrofikasyon gibi hemen her kategoriye yüksek oranda katkı sunmuştur. 2022 yılında elektrik tüketimindeki artışa bağlı olarak bu kategorilerdeki etki oranı daha da yükselmiştir. Bu durum, elektrik kullanımının sürdürülebilirlik stratejilerinde öncelikli azaltım alanı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kapsam 3, Kapsam 3 emisyonlarının çevresel etki kategorilerine katkısı, hem 2021 hem de 2022 yıllarında sınırlı düzeyde kalmıştır. Ancak 2022 yılında bu kapsamda özellikle kaynak tükenmesi ve ozon tabakasının incelmesi gibi kategorilerde belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni, başta iş seyahatleri ve kampüse geliş-gidişler olmak üzere ulaşım tabanlı emisyonların yükselmesidir. 2021 yılında Kapsam 3 emisyonları büyük oranda üniversiteye ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanırken, 2022 yılında iş seyahatlerinin payı ciddi oranda artmıştır. Bu durum, kampüs dışı faaliyetlerin karbon ayak izi üzerindeki etkisini artırmakta ve ulaşım politikalarının gözden geçirilmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

Bu karşılaştırma, yıllar arasındaki çevresel etki değişimlerini kapsamlara göre objektif şekilde ortaya koymakta ve azaltım stratejilerinde hangi alanlara öncelik verilmesi gerektiği konusunda karar destek sağlamaktadır.

4.2.3. Sonuçların yorumu

2021 ve 2022 yıllarına ait yaşam döngüsü analizlerine dayanan karbon ayak izi verileri, kampüs faaliyetlerinin çevresel etkilerinin dönemsel koşullara göre önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir. 2021 yılında pandemi nedeniyle kampüs kullanım günlerinin azalması, uzaktan eğitim uygulamaları ve toplu taşımaya olan sınırlı erişim, genel emisyon seviyelerini aşağı çekmiştir. Buna karşılık 2022 yılında kampüsün yeniden tam kapasiteye yakın çalışmaya başlaması, faaliyet artışıyla birlikte toplam emisyonlarda %16,8 oranında bir artışa neden olmuştur. Bu fark yalnızca toplam emisyonlarda değil, emisyon türlerinin kaynaklar arasındaki dağılımında da önemli yapısal değişiklikler doğurmuştur.

Doğrudan kaynaklardan oluşan Kapsam 1 emisyonlarında 2021 yılına göre 2022 yılında %6,4 oranında bir azalma gözlenmiştir. Bu düşüşe rağmen, Kapsam 1 emisyonları en istikrarlı seyrini koruyan alan olmuştur. 2022 yılında jeneratör kullanımında bir artış olmasına rağmen, ısıtma sistemlerinin daha verimli çalışması veya iklim koşullarının ısınma ihtiyacını azaltması gibi etkenler bu kapsamda dengeleyici rol oynamıştır. Ayrıca çevresel etki kategorileri açısından bakıldığında, 2021 yılında ozon tabakası incilmesi ve fotokimyasal oksidasyon gibi etkilerde Kapsam 1 emisyonlarının daha baskın olduğu, 2022’de ise bu etkilerin daha dağılmış biçimde gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Dolaylı enerji tüketimi kaynaklı Kapsam 2 emisyonlarında iki yıl arasında %32 oranında ciddi bir artış meydana gelmiştir. Elektrik tüketiminin pandemi sonrası hızla artması, bu kapsamda kampüsün en baskın emisyon kaynağı haline gelmesine neden olmuştur. 2022 yılında bu artış yalnızca miktarsal değil, aynı zamanda çevresel etki kategorilerinde de belirginleşmiştir. Örneğin, 2022’de asidifikasyon ve ötrofikasyon gibi etki alanlarında Kapsam 2 emisyonlarının mutlak baskınlığı gözlemlenirken, 2021 yılında bu etkiler daha dengeli şekilde dağılmıştır. Bu eğilim, enerji tüketiminin karbon ayak izi içindeki rolünü net bir şekilde öne çıkarmakta ve elektrik kaynaklı emisyonlarda azaltım stratejilerine öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir.

Kapsam 3 emisyonları, yıllar arasında en yüksek oranda artış gösteren alan olmuştur. 2022 yılında Kapsam 3 emisyonları, bir önceki yıla kıyasla %93 oranında artış göstermiştir. Bu çarpıcı artışın temelinde ulaşım faaliyetleri ve iş seyahatlerindeki geri dönüş yatmaktadır. 2021 yılında pandeminin etkisiyle üniversiteye geliş gidiş sıklığı azalmış, ulaşımında kişixkm başına düşen hareket miktarı sınırlı kalmıştır. Ancak 2022’de toplu taşıma, tramvay ve bireysel araç kullanımının yeniden yaygınlaşması, özellikle karayolu taşımacılığı ve bina kullanımı kaynaklı dolaylı emisyonlarda gözle görülür artışlara yol açmıştır. Söz konusu artış, insan toksisitesi ve fosil yakıt kaynaklı abiyotik tükenme gibi etki alanlarında da hissedilir şekilde yansımıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, pandemi yılı olan 2021’de emisyon seviyeleri daha düşük seyretmiş ve kapsamlar arası dağılım daha dengeli bir yapı sergilemiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise toplam karbon ayak izi artmış, ancak bu artış ağırlıklı olarak Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonlarında yoğunlaşmıştır. Özellikle dolaylı enerji kullanımı ve ulaşım faaliyetlerinin ciddi pay sahibi olması, üniversite kampüsleri için sürdürülebilir enerji sistemleri ve düşük karbonlu ulaşım altyapılarının geliştirilmesinin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, azaltım stratejilerinde sadece mutlak emisyon miktarları değil, emisyon kaynaklarının yapısal değişimi de dikkate alınmalıdır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, GÜMMF'nin 2021 ve 2022 yıllarına ait karbon ayak izi performansını YDD metodolojisiyle kapsam bazlı olarak analiz etmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda çevresel sürdürülebilirlik açısından yorumlamalar sunmuştur. Pandemi gibi olağanüstü koşulların kampüs yaşamı ve faaliyetleri üzerindeki etkileri, sera gazı emisyonlarının yıllık değişiminde belirleyici olmuştur. Bu bağlamda elde edilen bulgular, yalnızca sayısal verilerin değil, aynı zamanda davranışsal ve yapısal dinamiklerin de analizine dayalı olarak yorumlanmıştır.

Araştırmanın en önemli sonuçlarından biri, Kapsam 1 2022 yılında %6,4 oranında azalmasıdır. Bu sonuç, enerji tüketim alışkanlıklarında doğalgaz kullanımının azaldığını ve bunun da doğrudan sera gazı salımlarına olumlu katkı sağladığını göstermektedir. Bu bulgu literatürde enerji verimliliği ile doğrudan emisyonlar arasında kurulan pozitif ilişkiyle örtüşmektedir. Ancak jeneratör kaynaklı dizel tüketiminin artması, doğal gazdaki kazanımı gölgeleyecek potansiyele sahiptir. Bu yönüyle Kapsam 1 emisyonlarında görülen düşüş, dikkatle izlenmesi gereken bir eğilimi temsil etmektedir.

Kapsam 2 emisyonlarında %32'lik bir artış gözlenmiş, elektrik tüketimi karbon ayak izinin en baskın kaynağı haline gelmiştir. Bu sonuç, pandemi sonrası kampüslerin yeniden tam kapasite çalışmasının enerji tüketimine etkisini açıkça yansıtmaktadır. Bulgular, enerji verimliliği uygulamaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin üniversite ölçeğinde karbon azaltımında öncelikli strateji olması gerektiğini desteklemektedir. Elektrik tüketimi yalnızca enerji açısından değil, aynı zamanda çevresel etki kategorileri (örneğin, insan toksisitesi, denizel ekotoksosite) açısından da en yüksek etkiyi yaratmaktadır.

Kapsam 3 emisyonlar, yıllar arasında %93 oranında artış göstermiştir. Bu artış, özellikle üniversiteye ulaşım, iş seyahatleri ve konaklama faaliyetlerinin pandemi sonrasında normale dönmesiyle açıklanabilir. Bu sonuç, ulaşım politikalarının karbon ayak izi üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Literatürde, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin kampüs emisyonlarını azaltmada önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Bu açıdan, mevcut bulgu önceki çalışmalarla tutarlıdır ve kurumlara ulaşım politikalarında dönüşüm önerme açısından önemlidir.

Araştırmanın dikkat çeken bir diğer yönü, çevresel etki kategorilerinde Kapsam 2 emisyonlarının baskın konumda olmasıdır. İnsan sağlığına, su ve toprak ekosistemlerine yönelik etkilerin neredeyse tamamı dolaylı enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu durum, mevcut elektrik temin sistemlerinin çevresel performansını sorgulamakta ve üniversite bünyesinde yenilenebilir enerji sistemlerine geçişin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç, yalnızca kampüs düzeyinde değil, ulusal enerji politikaları açısından da tartışmaya açılması gereken bir noktadır.

Doğrudan emisyonların, ozon tabakasının incelmesi ve fotokimyasal oksidasyon kategorilerindeki etkisi yüksek bulunmuştur. Bu etki, özellikle R-134a gibi yüksek KIP'e sahip gazların yönetiminde hassasiyet gerektirmektedir. Bulgular, soğutucu gazların kontrolü ve alternatif çevre dostu gazların kullanımının önemine işaret etmektedir. Bu sonuç, önceki araştırmalarla tutarlı olup kurumsal sera gazı envanterlerinin kapsamlı yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Kapsam 3 emisyonlarının çevresel etkisi düşük olsa da, iş seyahatlerinin 2022 yılında bazı kategorilerde (örneğin ozon incelmesi, karasal ekotoksisite) belirgin katkı sağlamaya başladığı görülmektedir. Bu durum, pandemi sonrasında dijitalleşme olanaklarının sürdürülmesi ve seyahat gereksinimlerinin sorgulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Araştırmanın bu bulgusu, yükseköğretim kurumlarında dijitalleşmenin çevresel faydasını doğrular niteliktedir.

Çalışma aynı zamanda ulaşım anketi verileriyle desteklenmiş ve kampüs bazlı emisyonların gerçek kullanıcı alışkanlıklarına dayalı olarak hesaplanmasını sağlamıştır. Bu yönüyle, araştırma yalnızca kurumsal enerji verilerine değil, davranışsal verilere de dayalı bütüncül bir analiz sunmuştur. Bu metodolojik yaklaşım, kampüsler için emisyon azaltım planlarının gerçekçi temellere oturtulmasına olanak tanımaktadır.

Araştırmanın en önemli katkılarından biri, pandemi gibi sıra dışı koşulların kampüs bazlı emisyonlara etkisini veri destekli bir biçimde göstermesidir. Bu, yalnızca Gazi Üniversitesi değil, tüm üniversiteler için olağanüstü durum senaryolarında çevresel performans değerlendirme kapasitesinin artırılması gerektiğine işaret eder. Ayrıca araştırma, aynı kurumun iki yılına ait karşılaştırmalı analizle gerçekleştirildiği için, yapısal ve operasyonel değişikliklerin etkisini daha nesnel olarak ortaya koymuştur.

Araştırmanın bir diğer özgün katkısı, yaşam döngüsü yaklaşımı ile Kapsam 1, 2 ve 3 emisyonlarının çevresel etki kategorilerinde ayrı ayrı analiz edilmesidir. Bu yöntem, yalnızca toplam emisyon miktarına odaklanmak yerine, farklı kaynakların çevresel sistemler üzerindeki spesifik etkilerini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, karbon yönetimini sadece azaltım odaklı değil, aynı zamanda çevresel etki optimizasyonu temelli yapma gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında, veri toplama sürecinin yalnızca belirli birime (GÜMMF) odaklanması ve anketlerin katılım düzeyi yer almaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı fakülteleri kapsayacak şekilde daha geniş örneklemli analizlerin yapılması, üniversite genelinde daha kapsayıcı politika önerileri geliştirilmesine olanak tanıyabilir.

Bu bağlamda, önerilen başlıca geliştirme alanları şunlardır: elektrik tüketimini azaltmaya yönelik bina otomasyon sistemlerinin kurulması, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin teşvik edilmesi, dijital etkinliklerin artırılması, çevreci soğutma teknolojilerinin kullanılması, yıllık sera gazı envanteri oluşturma sistemlerinin kurum kültürüne entegre edilmesi.

Araştırma, kurumsal karbon yönetimi konusunda bilimsel ve uygulamalı literatüre özgün katkı sunmuş; enerji ve ulaşım temelli emisyonların kaynak, etki ve azaltım potansiyelini ayrıntılı olarak ortaya koymuştur. Teori ve uygulamaya katkısı, kampüs bazlı izleme sistemlerinin karbon yönetimi stratejileriyle bütünleştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymasındadır. Yeni araştırmalar, çevreci bina sertifikasyonlarının karbon ayak iziyle ilişkisini inceleyerek bu çalışmanın devamını sağlayabilir.



KAYNAKLAR

- Acuner, E., Maçın, K. E., Özcan, F. K., Karabulut, A. E., Köse Mutlu, B. ve Durak Ata, L. (2023). İstanbul Teknik Üniversitesi'nde sürdürülebilirlik çalışmalarının SWOT analizi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 111–120.
- Alshuwaikhat, H. M. ve Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777–1785.
- Altan, H., Beck, S. B. M. ve Danaher, S. (2013). Sustainable campus design through building information modeling: Energy performance analysis of an educational building. *Buildings*, 3(3), 558–579.
- Beringer, A. (2007). The Lüneburg sustainable university project in international comparison: An assessment against North American peers. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(4), 446–461.
- Betsill, M. M. ve Bulkeley, H. (2004). Transnational networks and global environmental governance: The cities for climate protection program. *International Studies Quarterly*, 48(2), 471–493.
- Çakır Kiasıf, G. (2019). Sürdürülebilir yükseköğretim yapıları: İstanbul'daki sürdürülebilir yükseköğretim yapılarının LEED kriterleri kapsamında karşılaştırmalı analizi. *Yapı Dergisi*, 448, 30–39.
- Çelik, Z. ve Öztürk, M. (2022). Sürdürülebilir ve yeşil kampüsler: Türkiye'deki üniversitelerin yeşil vizyonu. *Kent Araştırmaları Dergisi*, 14(Özel Sayı), 315–346.
- Dagiliūtė, R., Liobikienė, G. ve Minelgaitė, A. (2018). Sustainability at universities: Students' perceptions from green and non-green universities. *Journal of Cleaner Production*, 181, 473–482.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *WaterSense at Work: Best Management Practices for Commercial and Institutional Facilities*. Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA), 1-300.
- Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*, 92(5), 1107–1125.
- Filho, W. L., Manolas, E. ve Pace, P. (2015). The future we want: Key issues on sustainable development in higher education after Rio and the UN decade of education for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1), 112–129.
- Filho, W. L., Shiel, C., Paço, A., Mifsud, M., Veiga Ávila, L., Londero Brandli, L. ve Doni, F. (2019). Sustainable development goals and sustainability teaching at universities: Falling short of the mark? *Sustainability*, 11(1), 323.

- Filho, W. L., Vargas, V. R., Shiel, C., Paço, A., Mifsud, M., Ávila, L. V., Brandli, L. L., Pallant, E., Klavins, M., Ray, S., Moggi, S., Maruna, M., Conticelli, E., Ayanore, M. A., Radovic, V., Gupta, B., Sen, S., Michalopoulou, E., Saikim, F. H., Koh, H. L., Frankenberger, F., Kanchanamukda, W., da Cunha, D. A., Akib, N. A. M., Clarke, A., Wall, T. ve Vaccari, M. (2019). The role of higher education institutions in sustainability initiatives at the local level. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1004–1015.
- Filho, W. L., Wall, T., Salvia, A. L., Adom̂bent, M. ve Paço, A. (2022). Universities as living labs for climate change adaptation and mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132325.
- Finkbeiner, M., Schau, E. M., Lehmann, A. ve Traverso, M. (2010). Towards life cycle sustainability assessment. *Sustainability*, 2(10), 3309–3322.
- Franchetti, M. J. ve Apul, D. S. (2013). *Carbon footprint analysis: Concepts, methods, implementation, and case studies* (Birinci Baskı). Boca Raton: CRC Press, 1-248.
- Friedler, E. ve Hadari, M. (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination*, 190(1–3), 221–234.
- GHG Protocol. (2013). *Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions* (Birinci Baskı). Washington, DC: World Resources Institute ve World Business Council for Sustainable Development, 1-182.
- Göçer, K., Hua, Y. ve Göçer, Ö. (2021). Evaluating the impact of building certification systems on campus sustainability. *Journal of New Approaches in Social Sciences*, 5(2), 49–68.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K. ve Olsen, S. I. (Editörler). (2018). *Life Cycle Assessment: Theory and Practice* (Birinci Baskı). Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 1-236.
- Hopwood, B., Mellor, M., ve O'Brien, G. (2005). Sustainable development: Mapping different approaches. *Sustainable Development*, 13(1), 38-52.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy and Volume 3: Industrial Processes and Product Use*. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 1-900.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1-2391.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. Genewa: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1-184.

- International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. Genewa: International Organization for Standardization (ISO), 1-45.
- International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 20400:2017 Sustainable procurement—Guidance*. Genewa: International Organization for Standardization (ISO), 1-37.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 14064-1:2018 – Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. Genewa: International Organization for Standardization (ISO), 1-40.
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO 14064-2:2019 – Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements*. Genewa: International Organization for Standardization (ISO), 1-39.
- İnternet: UI GreenMetric. (2023). World University Rankings for Sustainability. URL: <https://greenmetric.ui.ac.id/>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2025.
- Kates, R.W., Parris, T. M. ve Leiserowitz, A. A. (2005). *What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice*. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 47(3), 8-21.
- Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisingh, D. ve Lambrechts, W. (2013). Declarations for sustainability in higher education: Becoming better leaders, through addressing the university system. *Journal of Cleaner Production*, 48, 10–19.
- Öktem, M. K. ve Mutdoğan, A. S. (Editörler). (2020). *Yeşil kampüs: Kapsam, uygulama, yönetim*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 1-201.
- Pandey, D., Agrawal, M. ve Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 135–160.
- Pires, A., Martinho, G. ve Chang, N.-B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033–1050.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Pennington, D. W. ve diğerleri (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), 701–720.
- Sharp, L. (2002). Green campuses: The road from little victories to systemic transformation. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 3(2), 128–145.

- Shriberg, M. (2002). Institutional assessment tools for sustainability in higher education: strengths, weaknesses, and implications for practice and theory. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 3(3), 254–270.
- Sunal, Z. ve Genç, M. (2020). Sürdürülebilir üniversite yaklaşımı: Türkiye'deki durum ve öneriler. *Sürdürülebilir Kalkınma Dergisi*, 8(1), 14–29.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). *İklim Değişikliği Eylem Planı 2022–2030*. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yayınları, 1-212.
- Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2007). TS EN ISO 14040: *Çevre Yönetimi - Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi - İlkeler ve Çerçeve (ISO 14040:2006)*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü (TSE), 1-19.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1-62.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2019). *UN World Water Development Report 2019: Leaving no one behind*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1-186.
- Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A. ve Taddei, J. (2006). Sustainable university: What can be the matter? *Journal of Cleaner Production*, 14(9–11), 810–819.
- Velazquez, L., Munguia, N. ve Sanchez, M. (2005). Deterring sustainability in higher education institutions: An appraisal of the factors which influence sustainability in higher education institutions. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6(4), 383–391.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Boykoff, M., Caulfield, R., Chambers, J., Clarke, D., Colbourn, T., Connolly, C., Dalin, C., Dasandi, N., Davies, M., Depoux, A., Dominguez-Salas, P., Drummond, P., Dubrow, R., Ebi, K. L., Eckelman, M., Ekins, P., Escobar, L. E., Fernandez Montoya, L., Georgeson, L., Graham, H., Green, N., Hamilton, I., Hartinger, S. M., Hess, J., Higginbotham, N., Hsu, S.-C., Hughes, N., Ivanova, D., Jimenez, M. P., Kelman, I., Kieseewetter, G., Kjellstrom, T., Kniveton, D., Lemke, B., Liu, Y., ... Costello, A. (2018). The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet*, 392(10163), 2479–2514.
- Wiedmann, T. ve Minx, J. (2008). *Ecological Economics Research Trends* (Birinci Baskı). New York: Nova Science Publishers, 1-11.
- Wright, T. S. ve Wilton, H. (2012). Facilities management directors' conceptualizations of sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 31, 118–125.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future* (Birinci Baskı). Oxford: Oxford University Press, 1–400.

World Resources Institute (WRI) ve World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Gözden Geçirilmiş Baskı). Washington DC: World Resources Institute (WRI) ve World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 1-102.

World Resources Institute (WRI) ve World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2011). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. Washington DC: World Resources Institute (WRI) ve World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 1-116.

Zhou, W. ve Jin, X. (2018). Promoting sustainable campus transportation: A literature review. *Sustainability*, 10(6), 1970.







Gazili olmak ayrıcalıktır