



# KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik ve  
Fen Bilimleri  
Dergisi

**KIRKLARELİ  
UNIVERSITY**

Journal of  
Engineering  
and Science

# KLUTES

ISSN: 2458-7494 / E-ISSN: 2458-7613

An International Peer Reviewed, Indexed and Open Access Journal



ISSN : 2458-7494  
E-ISSN: 2458-7613

# KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY  
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

---

Cilt / Volume: 10

Sayı / Number: 1

Haziran / June 2024

---

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes>

e-mail: [fbedergi@klu.edu.tr](mailto:fbedergi@klu.edu.tr)



**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY**  
**MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE**

**Sahibi / Owner**

**Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship**  
Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR (Rektör)

**Baş Editör / Editor in Chief**

**Kırklareli Üniversitesi / Kırklareli University**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü Adına / On Behalf of Institute of Natural Sciences Director**  
Doç. Dr. H. Hale KARAYER

**Editörler / Editors**

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ  
Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN  
Doç. Dr. Nurdan KURNAZ YETİM  
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN  
Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMIŞ

**Teknik Editör / Technical Editor**

Doç. Dr. Mümin Mehmet KOÇ

**Mizanpaj Editörü / Layout Editor**

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk PAKSU

**Alan Editörleri / Subject Editors**

Doç. Dr. Berna AKGENÇ HANEDAR Fizik / Physics  
Doç. Dr. Engin HÜNER Yenilenebilir Enerji sistemleri Mühendisliğı / Renewable Energy Systems Engineering  
Doç. Dr. Mustafa ARSLAN Kimya/Chemistry  
Doç. Dr. Olcay EKŞİ Makine Mühendisliğı/Mechanical Engineering  
Doç. Dr. Orhan ARKOÇ Jeoloji Mühendisliğı / Geological Engineering  
Doç. Dr. Seda BALKAN Biyoloji / Biology  
Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU Makine Mühendisliğı/Mechanical Engineering  
Doç. Dr. Naim ASLAN Malzeme Mühendisliğı / Material Engineering  
Doç. Dr. Soner YELER Mimarlık / Architecture  
Doç. Dr. Hayrettin TOYLAN Mekatronik Mühendisliğı / Mechatronics Engineering  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇAKANEL Elektrik ve Elektronik Mühendisliğı / Electrical and Electronic Engineering  
Dr. Öğr. Üyesi Edip Serdar GÜNER Yazılım Mühendisliğı / Software Engineering  
Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU Matematik / Mathematics  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Utku YILMAZ İnşaat Mühendisliğı / Civil Engineering  
Dr. Öğr. Üyesi Orhan Onur AŞKIN Gıda Mühendisliğı / Food Engineering

**Türkçe Dil Editörü / Turkish Language Editor**

Doç. Dr. İlker TOSUN

**İngilizce Dil Editörü / English Language Editor**

Dr. Öğr. Üyesi Sevdâ PEKCOŞKUN GÜNER



**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY**  
**MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE**

**Yayın Kurulu / Editorial Board**

- Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Meryem ÇAMUR DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Ahmet ÇAKANEL, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÇALIŞKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Ayşegül DERE, Fırat Üniversitesi, Türkiye  
Berna AKGENÇ HANEDAR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Burak ÖZŞAHİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Burhan CEYLAN, Harran Üniversitesi, Türkiye  
Cem KINCAL, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye  
Cemile ÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Deniz EROĞLU, Kadir Has Üniversitesi, Türkiye  
Derya KAPUSUZ YAVUZ, Gaziantep Üniversitesi, Türkiye  
Dilek NARTOP, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Duygu BARUT CELEPCİ, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye  
Edip Serdar GÜNER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Elvan HASANOĞLU ÖZKAN, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Engin HÜNER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Erdinç KESKİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Fahrettin YAKUPHANOĞLU, Fırat Üniversitesi, Türkiye  
Fatih ERSAN, Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye  
Fatih SEMERCİOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Fürüzan ASLAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Gürkan İRSEL, Trakya Üniversitesi, Türkiye  
H. Hale KARAYER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Juan Ignacio Ahuir TORRES, Liverpool John Moores Üniversitesi, İngiltere  
Mahmut KUŞ, Konya Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet YAĞMURCUKARDEŞ, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Türkiye  
Mensur SÜMER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Merve ERMIŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Michele GUIDA, Salerno Üniversitesi, İtalya  
Mustafa ARSLAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa ERKOVAN, INESC MN ve Lizbon Teknik Üniversitesi, Portekiz  
Mustafa Utku YILMAZ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Mümin Mehmet KOÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Naim ASLAN, Munzur Üniversitesi, Türkiye  
Natasa TODOROVIC, Novi Sad Üniversitesi, Sırbistan  
Nihan TIRMIKÇIOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Nurdan KURNAZ YETİM, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Olca EKŞİ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Orhan ARKOÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Orhan Onur AŞKIN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Önder AYER, Trakya Üniversitesi, Türkiye  
Ram K. GUPTA, Pittsburg Şehir Üniversitesi, ABD  
Seda BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye



**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY**  
**MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE**

Selman MUTLU, İstanbul Üniversitesi, Türkiye  
Sencer Süreyya KARABEYOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Sena Esen BAYER KESKİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Soner YELER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Tahir ÇAĞIN, Texas A&M Üniversitesi, ABD  
Tze Chuen YAP, Heriot-Watt Üniversitesi, Malezya  
Tomasz Jachowicz, Lublin Teknoloji Üniversitesi, Polonya  
Ufuk PAKSU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Yasemin ALKIŞER BREGGER, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Yashar Azizian KALANDARAGH, Mohaghegh Ardabili Üniversitesi, İran

**Kırklareli Üniversitesi / Kırklareli University**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Sekreterliği Adına / On Behalf of Institute of Natural Sciences Secretary**  
**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager**  
Erhan AYZ

**İnternet Adresi / Web Address**  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes>

**Yazışma Adresi / Correspondence Address**  
Kırklareli Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü  
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez/ Kırklareli  
e-mail: fbedergi@klu.edu.tr  
Tel: 0 (288) 246 15 16  
Fax: 0 (288) 246 16 02

**Yayın Türü / Publication Type**  
Yaygın Süreli Yayın (elektronik) / International Periodical (electronical)  
Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December  
Basım Tarihi / Publication Date: 30.06.2024



**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY**  
**MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE**

**Danışma Kurulu / Advisory Board**

Abdurrahman GÜNER, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Türkiye  
Adnan MİDİLLİ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Burhan COŞKUN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Bülent AKBAŞ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Dilek NARTOP, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Doğan DEMİRHAN, Ege Üniversitesi, Türkiye  
Elvan HASANOĞLU ÖZKAN, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Emel PELİT, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye Erhan Erhan BUDAK, Sabancı Üniversitesi, Türkiye  
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
İlker ORUÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
İsmail KILIÇ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Juan Ignacio Ahuir TORRES, Liverpool John Moores Üniversitesi, İngiltere  
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye  
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Türkiye  
Macide CANTÜRK RODOP, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet H. OMURTAG, İstanbul Medipol Üniversitesi, Türkiye  
Meryem ÇAMUR DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Michele GUIDA, Salerno Üniversitesi, İtalya  
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa ERKOVAN, INESC MN ve Lizbon Teknik Üniversitesi, Portekiz  
Mustafa Utku YILMAZ, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Nadide SEÇKİN, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Natasja TODOROVIC, Novi Sad Üniversitesi, Sırbistan  
Nihal ERATLI, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye  
Ram K. GUPTA, Pittsburg Şehir Üniversitesi, ABD  
Serap GÜNEŞ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Türkiye  
Tomasz Jachowicz, Lublin Teknoloji Üniversitesi, Polonya  
Tze Chuen YAP, Heriot-Watt Üniversitesi, Malezya  
Yashar Azizian KALANDARAGH, Mohaghegh Ardabili Üniversitesi, İran  
Yılmaz ÇAN, Trakya Üniversitesi, Türkiye



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY  
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

<p style="text-align: right;"><b>Research Article / Araştırma Makalesi</b></p> <b>Calculation of Muğla Sıtkı Koçman University's Carbon Footprint with IPCC Tier 1 Approach and DEFRA Method</b> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin IPCC Tier 1 Yaklaşımı ve DEFRA Yöntemiyle Hesaplanması <i>Ebruhan HÜNERLİ, Gülşah KARACA DOLGUN, Tolga URAL, Hüseyin GÜLLÜCE, Durmuş KARABACAK</i> .....	<b>1-28</b>
<p style="text-align: right;"><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <b>Engelli Bireyler İçin Kentsel Tarihî Alanlarda Erişilebilirliği Arttırmaya Yönelik Peyzaj Tasarım Yaklaşımları: Göbeklitepe Ören Yeri (Şanlıurfa) Örneği</b> Landscape Design Approaches to Increase Accessibility in Urban Historic Areas for Disabled Individuals: The Case of Göbeklitepe Ruins (Şanlıurfa) <i>Necmettin GÜR, Özgür KAHRAMAN</i> .....	<b>29-53</b>
<p style="text-align: right;"><b>Technical Note / Teknik Not</b></p> <b>Contact Lens History, Contact Lens Types and Future of Contact Lens</b> Kontakt Lens Tarihi, Kontakt Lens Çeşitleri ve Kontakt Lensin Geleceği <i>Hülya KURU MUTLU, Burak Malik KAYA, Armağan KIRANKABEŞ</i> .....	<b>54-65</b>
<p style="text-align: right;"><b>Derleme Makale / Review Article</b></p> <b>Yapı Malzemelerinde PCM Kullanımının Binaların Isıl Özelliklerine Etkisi</b> The Effect of PCM Utilization on the Thermal Properties of Buildings in Construction Materials <i>Fatih Selim BAYRAKTAR, Ramazan KÖSE</i> .....	<b>66-76</b>
<p style="text-align: right;"><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <b>Türkiye'nin Trakya Bölgesi'ndeki Sınır Kapıları Yakınlarından Alınan Toprak Örneklerindeki Radyonüklid Miktarının Ölçülmesi ve Doz Hesaplanması: Dereköy ve Pazarkule Örneği</b> Measurement of Radionuclide Amount and Dose Calculation in Soil Sample Taken Near from Border Gates in Türkiye's Thrace Region: The Case of Derekoy and Pazarkule <i>M. Beste ÖZTÜRK, Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU</i> .....	<b>77-89</b>
<p style="text-align: right;"><b>Araştırma Makalesi / Research Article</b></p> <b>Ege Üniversitesi Kampüsünde Gama Radyasyonu Ölçümü ve Haritalanması</b> Gamma Radiation Measurement and Mapping at Ege University Campus <i>Beyzanur ÖZKAN, Buket CANBAZ ÖZTÜRK</i> .....	<b>90-98</b>

## Calculation of Muğla Sıtkı Koçman University's Carbon Footprint with IPCC Tier 1 Approach and DEFRA Method

Ebruhan HÜNERLİ<sup>1\*</sup>, Gülşah KARACA DOLGUN<sup>2</sup>, Tolga URAL<sup>2</sup>, Hüseyin GÜLLÜCE<sup>3</sup>,  
Durmuş KARABACAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Institute of Science and Technology, Department of Energy Systems Engineering, Muğla, Türkiye

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Technology, Energy Systems Engineering, Muğla, Türkiye

<sup>3</sup>Atatürk University, Vocational School of Technical Sciences, Machinery and Metal Technologies, Erzurum, Türkiye

Received: 06.11.2023, Accepted: 09.01.2024, Published: 00.06.2024

### ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, the increase and diversification of human needs, particularly the intensified use of fossil fuels to meet energy demands, have significantly contributed to greenhouse gas accumulation, leading to increased environmental pollution and triggering natural disasters. In response to this issue, various international conferences and agreements such as the Kyoto Protocol have been established. Additionally, individual countries have implemented regulations and laws to combat environmental pollution and reduce greenhouse gas emissions. Muğla Sıtkı Koçman University conducted a study to calculate its carbon footprint using the IPCC Tier 1 methodology and DEFRA conversion factors. The findings revealed significant carbon dioxide emissions stemming from the university's fuel and electricity consumption. In 2020, emissions were calculated at 4,759,087.57 kg CO<sub>2e</sub> using the IPCC Tier 1 approach and 3,419,082.09 kg CO<sub>2e</sub> using DEFRA factors. These figures increased further in 2021, reaching 8,955,635.86 kg CO<sub>2e</sub> (IPCC) and 7,511,422.31 kg CO<sub>2e</sub> (DEFRA), indicating a rising emission trend. The study also highlighted significant differences in the number of trees required to offset the university's carbon footprint between the IPCC and DEFRA methods. For instance, in 2020, while IPCC suggested 211,515 trees were needed, DEFRA recommended 151,959 trees. This disparity persisted notably between the methodologies, emphasizing the importance of standardizing carbon footprint calculations. These findings underscore the necessity for institutions to embrace sustainable practices and reduce their environmental impact. Efforts to decrease carbon emissions and promote sustainability are crucial in combating air pollution and addressing the global climate crisis.

**Keywords:** Carbon Footprint, Life Cycle Assessment (LCA), DEFRA, IPCC

## Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin IPCC Tier 1 Yaklaşımı ve DEFRA Yöntemiyle Hesaplanması

### ÖZ

Sanayi Devrimi'nden bu yana insan ihtiyaçlarının artması ve çeşitlenmesi, özellikle fosil yakıtların enerji ihtiyacını karşılamak için kullanımının yoğunlaşmasıyla önemli ölçüde sera gazı birikimine neden oldu. Bu durum, çevre kirliliğinin artmasına ve doğal afetlerin tetiklenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Bu soruna yanıt olarak, Kyoto Protokolü gibi birçok uluslararası konferans ve anlaşma oluşturulmuştur.



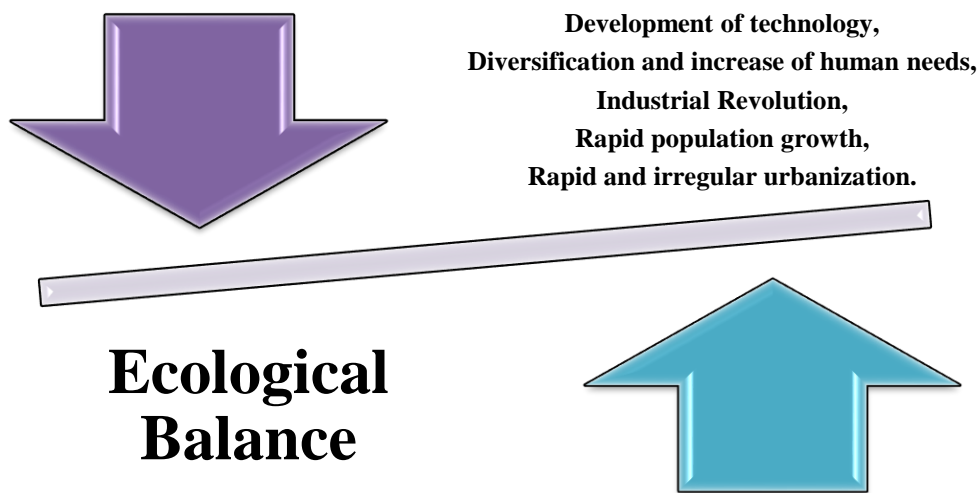
**Research Article**

Ayrıca, çevre kirliliği ile mücadele etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için bireysel ülkeler düzenlemeler ve yasalar uygulamıştır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, karbon ayak izini IPCC Tier 1 yöntemi ve DEFRA dönüşüm faktörleri kullanarak hesaplamak için bir çalışma yürüttü. Bulgular, üniversitenin yakıt ve elektrik tüketiminden kaynaklanan önemli miktarda karbondioksit emisyonunu ortaya koydu. 2020 yılında, emisyonlar IPCC Tier 1 yaklaşımıyla 4,759,087.57 kg CO<sub>2e</sub> olarak hesaplandı ve DEFRA faktörleri kullanılarak 3,419,082.09 kg CO<sub>2e</sub> olarak hesaplandı. Bu rakamlar, 2021 yılında daha da artarak, sırasıyla 8,955,635.86 kg CO<sub>2e</sub> (IPCC) ve 7,511,422.31 kg CO<sub>2e</sub> (DEFRA) seviyelerine ulaştı, artan bir emisyon eğilimini gösterdi. Çalışma ayrıca, IPCC ve DEFRA yöntemleri arasındaki karbon ayak izini dengelemek için gereken ağaç sayısındaki önemli farklılıklara da dikkat çekti. Örneğin, 2020'de, IPCC'ye göre 211,515 ağaç gerekiyorken, DEFRA 151,959 ağaç önerdi. Bu farklılık, metodolojiler arasında belirgin bir şekilde devam etti ve önümüzdeki yıllarda gereken ağaç sayısı büyük ölçüde değişti, bu da karbon ayak izi hesaplarının standartlaştırılmasının önemini vurguladı. Bu bulgular, kurumların sürdürülebilir uygulamaları benimsemesi ve çevresel etkisini azaltması gerekliliğini vurgulamaktadır. Karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilirliği teşvik etme çabaları, hava kirliliği ile mücadelede ve küresel iklim krizinin ele alınmasında hayati öneme sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Ayak İzi, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), DEFRA, IPCC

## 1. INTRODUCTION

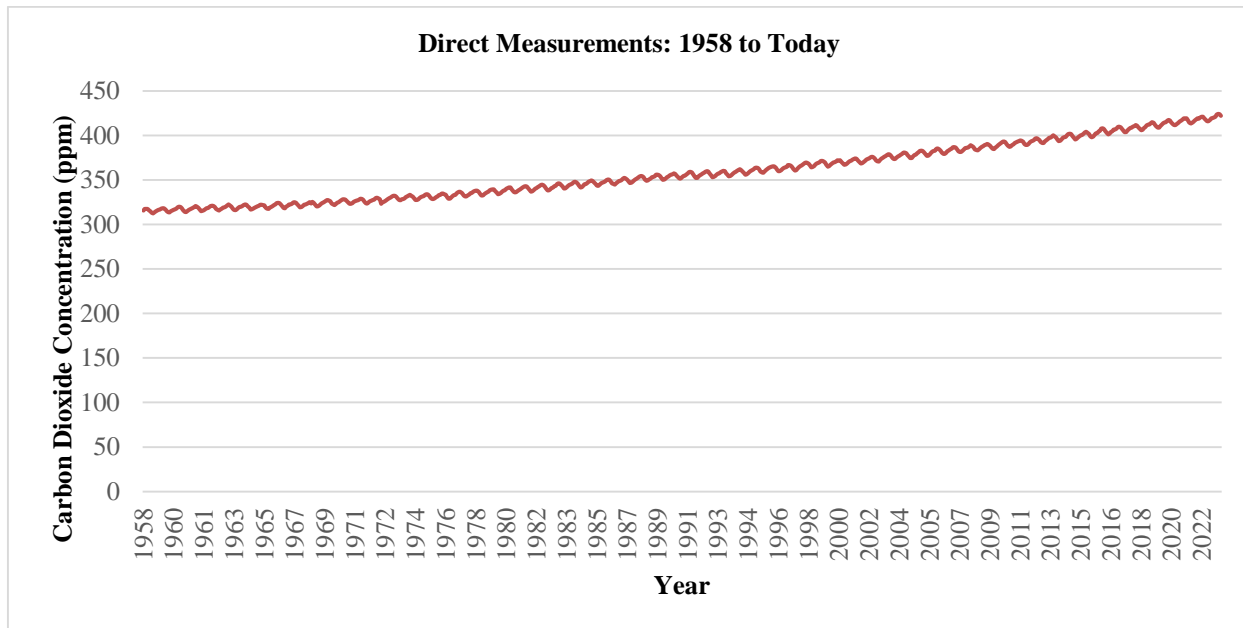
All living things in the world are in balance with each other and their environment. This state of being in balance is called ecological balance. As a result of human behaviour from the past to the present, the ecological balance is endangered (Ateş, 2021). The deterioration of the ecological balance is caused by the actions of people (Çerçi, 2021). In the past, after the 20<sup>th</sup> century, as a result of the development of industry, rapid population growth and urbanization, air pollution increased and caused the ecological balance to deteriorate (Ateş, 2021). The 20<sup>th</sup> century is considered to be the century in which human-induced environmental impacts raised alarms for our world (Rüstemoğlu, 2023). As technology and global perspectives continue to evolve, the rising consumption levels lead to increased production, which, in turn, escalates the demand for raw materials and waste generation (Çerçi, 2021). In the past, fossil fuels have been extensively used in order to meet the energy need with industrialization (Yavuz, 2020). With the use of fossil fuels, events such as the formation of acid rain, high CO<sub>2</sub> emissions, the occurrence of climate change, and the realization of global warming have occurred (Yavuz, 2020). Especially the use of fossil fuels is the leading cause of greenhouse gas emissions (Şanlı, Bayraktar, & İncekara, 2017). Rapid and unplanned urbanization as a result of the development of technology, the diversification and increase of human needs, the industrial revolution, and rapid population growth disrupt the ecological balance by causing air pollution (See Figure 1). As a result of the rapid increase in the amount of greenhouse gases in the atmosphere from the past to the present, the amount of polluting gases in the atmosphere has increased. Air pollution that has occurred since the 20<sup>th</sup> century causes global warming and climate change in the long term (Birkan, 2022).



**Figure 1:** Graphical representation of the elements that disrupt the ecological balance.

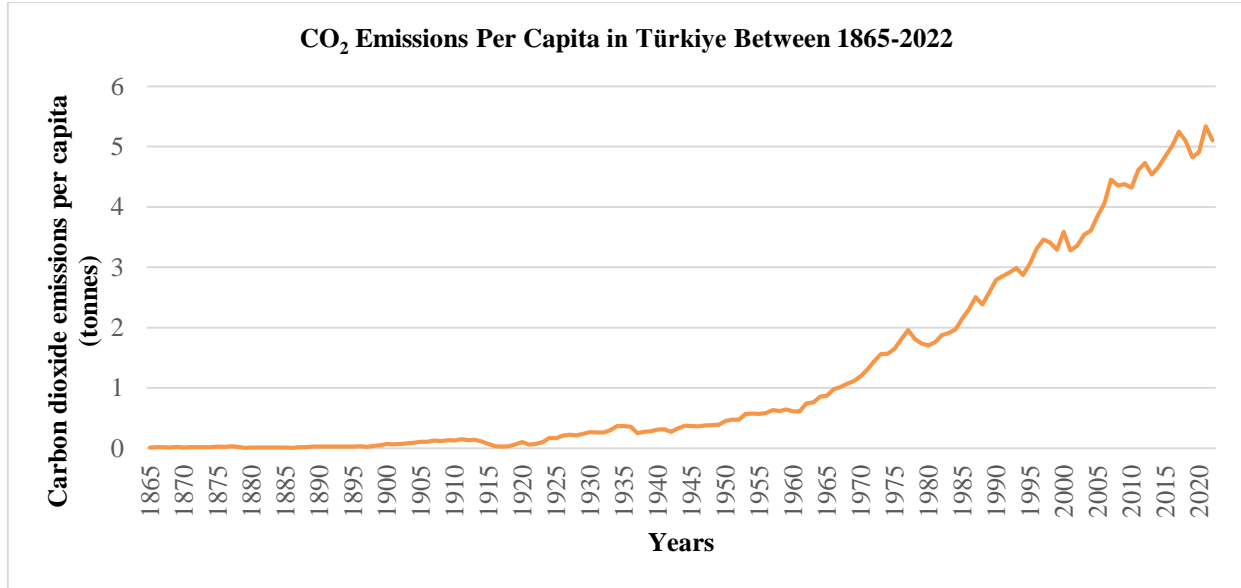
Greenhouse gases accumulating in the atmosphere create a greenhouse effect by preventing the sun's reflected rays from being captured and reflected back to space, causing the sun's rays to be trapped in the atmosphere and causing the world to warm up more (Sunturlu, 2017). Overheated air deteriorates the climate and ecological balance of the world (Çerçi, 2021) (Özçelik, 2017). For this reason, it leads to global warming and global climate change in the long term (Çerçi, 2021). Especially after the 19th century, as a result of the industrial revolution and rapid urbanization, there were years when air pollution began to be felt clearly (Beijing, 2006). Thus, after the 1980s, global climate change and CO<sub>2</sub> emissions have become important subjects of research in science (Güller, 2018). If no precautions are taken, it has been observed that these harmful effects will continue to increase and reach more serious dimensions (Özçelik, 2017). Today's ongoing climate change and global temperature increases are becoming the biggest problems of the 21<sup>st</sup> century and the following years (Rüstemoğlu, 2023). Subsequently, international conferences and meetings were convened to establish protocols and agreements for setting targets and restrictions (Şanlı, Bayraktar, & İncekara, 2017). The "United Nations Environment Program", which first drew international attention to climate change, was carried out in 1975 by American scientists supported by the World Meteorological Organization. These studies concluded that the ozone layer is thinning due to carbon emissions. The First World Climate Conference was held in 1979 and the magnitude of the global warming problem was discussed. The political aspect of climate change was focused on at the meetings held in Villach, Austria, in 1985 and 1987. At the Toronto Conference held in Canada in 1988, some targets and constraints were determined to reduce global carbon emissions by 20% by 2005, and it was proposed to prepare a Framework Convention on Climate Change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was established in 1988 by the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Program to provide countries with accurate information about climate change and global warming. The "Second World Climate Conference" was held in 1990 and it was emphasized that the "Framework Convention on Climate Change" should be established in order to quickly prevent the damages of global warming. In 1992, the "Framework Convention on Climate Change" was signed and a restriction was placed on greenhouse gas emissions. For this purpose, at the "United Nations Conference on Environment and Development, it was aimed to limit the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere by asking developed countries to reduce their greenhouse gas emissions to 1990 levels by 2000." This agreement, signed by 180 countries, entered into force in 1994. The United Nations Framework Convention on Climate Change is the first precaution against climate change and the first legal step to protect the global climate system. The purpose of this agreement is to limit the amount of greenhouse gases released into the atmosphere from human sources and to ensure the continuation of sustainable development by keeping this value at a level that the ecosystem can tolerate. In this context, countries are required to control and record their greenhouse gas emissions, take some initiatives to reduce climate change, and present these initiatives at the Conference of the Parties. This

agreement imposes certain obligations on countries, and these obligations vary depending on the development of the countries. It has been stated that developed countries should implement stricter policies to reduce greenhouse gases. It was emphasized that the Parties should provide financial support to developing countries with the money they collected from developed countries so that they can fulfil their obligations. Thanks to this agreement, it was aimed to reduce the amount of greenhouse gases in 2000 to the levels in 1990. The Kyoto Protocol was prepared in 1997 but came into force in 2005. Countries that signed this protocol committed to reduce their greenhouse gas emissions by 5% between 2008 and 2012. This protocol is an international agreement in which the greenhouse gas emissions of countries into the atmosphere are determined with limit values for the first time. Since the obligations of the Kyoto Protocol will end in 2012, the path to be followed was determined by the "Bali Action Plan" made in 2007 (Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2022). At the 15th Conference of the Parties in 2009, the "Copenhagen Consensus" was signed by 140 countries. This agreement is a text that does not require a legal obligation and states that the global temperature increase should be less than 2°C. The Paris Agreement, which will come into force in 2020, was prepared at the 21<sup>st</sup> Conference of the Parties held in 2015. The Treaty of Paris was signed and entered into force in 2016. The Paris Agreement is the first global agreement to enter into force in less than a year. This agreement is a treaty that states that the global temperature increase should be less than 2°C and even wants to limit it to 1.5°C (Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2022). When the global annual average carbon dioxide concentration data is examined in the graph below, it is seen that the carbon dioxide concentration has increased rapidly from 1858 to the present (See Figure 2).



**Figure 2:** Direct carbon dioxide concentration from 1958 to present (Global Climate Change, 2023)

In Türkiye, air pollution increased its severity after the second half of the 19th century, prompting the introduction of legal regulations (Sümer, 2014). When the per capita amount of carbon dioxide emissions in Türkiye between 1865 and 2022 is examined, it is seen that per capita carbon dioxide emissions have been increasing since 1960 (See Figure 3).



**Figure 3:** CO<sub>2</sub> emissions per capita in Türkiye between 1865-2022 (Our World in Data, 2024).

With the Kyoto Protocol, an important international agreement, attention was drawn to greenhouse gases and countries were asked to make regulations to reduce carbon emissions (Çelik, 2020). For this purpose, determining the amount of carbon emission has gained importance. Today, we are faced with a climate and biodiversity crisis because the temperature increase is not limited to 1.5°C degrees. The recent occurrence of forced displacements and deaths as a result of extreme weather events, increased food security, difficulties in accessing fresh water, and the occurrence of epidemic diseases of animal origin are due to the deterioration of ecological balance. According to the Living Planet Report (2022) prepared by the World Wide Fund for Nature (WWF), as a result of research conducted worldwide between 1970 and 2018, there is an average decrease of 69% in wildlife vertebrate populations (World Wide Fund for Nature [WWF] Türkiye).

Universities play an important role in the dissemination of sustainable development in society (Figueiro & Raufflet, 2015). Universities serve as a valuable source for creating alternative methods, setting examples for society, guiding it, highlighting important issues, and prompting critical thinking (Valls-Val & Bovea, 2022). Many universities have set an example for other institutions in the society by calculating their own carbon footprint. As can be seen in Table 1 below, some worldwide studies that have calculated the carbon

footprint of universities are presented. In some of these studies, the total carbon footprint was determined using various methods or calculated on a per-student basis.

**Table 1:** Universities that calculate the carbon footprint in the literature scan.

Author	Method	Results	Explanation
Letete et al.	Adapted greenhouse gas protocol	4 tCO <sub>2e</sub> per student	University of Cape Town Relates to energy consumption of 3.2 t CO <sub>2e</sub> per student (80%) (Letete, Mungwe, Guma, & Marquard, 2011).
Güereca et al.	Greenhouse Gas Protocol	1.46 tCO <sub>2e</sub> per person	The carbon footprint of the Engineering Institute of the National Autonomous University of Mexico was calculated (Güereca, Torres, & Noyola, 2013).
Larsen et al.	Greenhouse Gas Protocol / EEIO	4.6 tCO <sub>2e</sub> per student 16.7 tCO <sub>2e</sub> per employee	Norwegian University of Science and Technology. Financial criteria focus on Scope-3 (Larsen, Pettersen, Solli, & Hertwich, 2013).
Vásquez et al.	Greenhouse Gas Protocol	3.1 tCO <sub>2e</sub> per student	The carbon footprint of the University of Madrid (Faculty of Forestry), Mexican Autonomous, Minnesota Mankato State University, Duquesne and Norwegian University of Science and Technology was calculated (Vásquez, Iriarte, Almeida, & Villalobos, 2015).
Li et al.	New survey-based methodology	3.84 tCO <sub>2e</sub> per capita	Shanghai Tongji University includes a student's personal carbon footprint and GHG emissions from student activities (Li, Tan, & Rackes, 2015).
Almufadi et al.	Greenhouse Gas Protocol	Carbon footprints: Qassim University 4.3 tCO <sub>2e</sub> per student University of Delaware 7.9 tCO <sub>2e</sub> per student University of Pennsylvania 13.1 tCO <sub>2e</sub> per student Yale University 24.6 tCO <sub>2e</sub> per student Massachusetts Institute of Technology 36.4 tCO <sub>2e</sub> per student	Qassim University carbon footprint per student was calculated as Scope-1, Scope-2 and Scope-3 (Almufadi & Irfan, 2016).
Görkem Özçelik	DEFRA (2016) conversion factors	Total carbon footprint of the campus: According to Approach-1: 19 709.084 tCO <sub>2</sub> /year; 802.7 tCO <sub>2e</sub> /ha According to Approach-2: 10 122.154 tCO <sub>2</sub> /year; 412.3 tCO <sub>2e</sub> /ha	The carbon footprint of Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus is calculated as Scope-1, Scope-2 and Scope-3 (Özçelik, 2017).
Lo-Iacono-Ferreira et al.	ISO 14064	Per student 0.31tCO <sub>2e</sub> Per employee 2.69 tCO <sub>2e</sub>	Valencia Polytechnic University covers 3 campuses. The measurement only considers Scope-1 and Scope-2 (Lo-Iacono-Ferreira, Torregrosa-López, & Salvador F. Capuz-Rizo, 2018).

Ali Üreden	IPCC methodology (Tier Method)	Total carbon emissions: 5 633.13 tCO <sub>2e</sub> /year	The carbon footprint of Çankırı Karatekin University has been calculated (Üreden, 2019).
Kumaş et al.	IPCC methodology (Tier Method)	Total carbon dioxide emissions: 217.503 kgCO <sub>2e</sub> /year	It was calculated using 2017 pollution data consisting of natural gas used for heating purposes, electricity usage, and transportation caused by students and personnel (Kumaş, Akyüz, Zaman, & Güngör, 2019).
Muhammed Çerçi	IPCC methodology (Tier Method) and DEFRA (2016) conversion factors	According to IPCC Tier 1 approach 2019: 2 753.2 tCO <sub>2e</sub> /year 2020: 2 383.74 tCO <sub>2e</sub> /year According to DEFRA conversion factors 2019: 2 314.53 tCO <sub>2e</sub> /year 2020: 1 826.54 tCO <sub>2e</sub> /year	Erzincan Binali Yıldırım University's carbon footprint in 2019 and 2020 was calculated separately using IPCC Tier 1 and DEFRA conversion factors (Çerçi, 2021).

When reviewing the literature, it becomes it is seen that carbon footprint calculations are made not only for universities, but also in different areas such as hotels, tourism sector, restaurants, road construction, product manufacturing, production facilities, wastewater treatment plants, transportation and green marketing. Kilic et al. (2021), LCA calculation of the disposal of medical wastes by incineration and autoclave method was made using the OpenLCA program (Kuzu, 2021). In a study conducted by Üçtüğ (2017), the LCA calculation and comparison of the electricity production of four countries was made using the OpenLCA program (Üçtüğ, 2017). In a study by Jayamani and Bakri (2021), LCA analysis of flax and glass fiber phenolic composite used in aircraft production was performed using the GaBi program (Jayamani, Jie, & Bakri, 2021). In a study by Zang et al. (2018), sugar and bioethanol production from sugarcane produced using the GaBi program was provided and the calculation of LCA, which is formed by using this bioethanol as fuel in vehicles (Zang, Martins, & DaFonseca-Zang, 2018). In a study by Fındıkçı (2016), LCA calculations of leather industry wastewater were made using the GaBi program with different scenarios (Fındıkçı, 2016). In a study by Hakyemez (2016), the LCA calculation of the solvent recovery unit in a chemical factory was made using the SimaPro program by setting up different scenarios (Hakyemez, 2016). In a study by Hepdurgun (2019), LCA calculations were made of vehicle movements in different scenarios at an intersection where road renewal work was carried out using the GaBi program (Hepdurgun, 2019). In a study by Tükenmez (2019), LCA analysis of 21 different green concretes was performed using the SimaPro program (Tükenmez, 2019). In a study by Gürbüz (2019), LCA analysis of quartz surface production was performed using the GaBi program (Gürbüz, 2019). In a study by Küçükkaraca (2020), the LCA calculation of the wind turbine was made by creating 4 different scenarios (Küçükkaraca, 2020). In the study of Bahadıroğlu (2021), LCA analysis was performed with different scenarios using the data of a cafe in Istanbul using the GaBi program (Bahadıroğlu, 2021). In a study conducted by Ateş (2021), the

carbon footprint of Bingöl Wastewater Treatment Plant was calculated within the scope of Scope-1 and Scope-2 according to the Greenhouse Gas Protocol (Ateş, 2021). In the study conducted by Yüksel (2017), primary and secondary carbon footprints were calculated using the DEFRA and Carbon Footprint calculator prepared by the EPA, as a result of the surveys conducted with the hospital personnel (Yüksel, 2017). In Ahmet's (2019) study, the carbon footprint of some livestock enterprises operating in the Bursa region was calculated using Tier-1 and Tier-2 approaches and IPCC methodology (Tier Method) (Ahmet, 2019). In the study of Ünalı (2016), a survey system was applied to calculate the carbon footprint in green marketing of Çorum province (Ünalı, 2016). In Özkaynak's (2020) study, the calculation of the carbon footprint with the questionnaire applied to the people residing in the city of Istanbul was made by using the questionnaire and the IPCC methodology (Tier Method) (Özkaynak, 2020). In Demirbaşı's (2018) study, the carbon footprint resulting from the activities of the recycling facility was calculated using the IPCC methodology Tier-1 and Tier-2 methods (Demirbaşı, 2018). In Altınöz's (2019) study, the carbon footprint of the road pavement layer was calculated using the IPCC methodology (Altınöz, 2019). In Atabey's (2013) study, the carbon footprint of Diyarbakır province was calculated using the IPCC methodology (Atabey, 2013). In the study of Çelik (2020), the calculation of the carbon footprint originating from transportation in the province of Konya in 2019 was calculated with the Tier-2 approach (Çelik, 2020). In the study of Ayan (2019), the calculation of the carbon footprint originating from the fuel consumption in road transportation in Muğla was made using the IPCC methodology (Tier Method), and it was seen that the increase in the amount of migration to Muğla and the increase in the amount of carbon emissions were parallel (Ayan, 2019). In Güller's (2018) study, the carbon footprint of Muğla Domestic Wastewater Treatment Plant was calculated using CCALC<sub>2</sub> software, IPCC (2006) and NGA (2014) (Güller, 2018). In the study of Sunturlu (2017), the carbon footprint of the boats working in the tourism sector in Fethiye was calculated using the IPCC methodology Tier-1 method (Sunturlu, 2017). In Yavuz's (2020) study, the carbon footprint of a 5-star hotel in Antalya with a bed capacity of 1907 was calculated using DEFRA (2016) conversion factors from electricity, water, LNG and diesel (Yavuz, 2020). In Pekin's (2006) study, it was observed that there was an increase in carbon footprint when he examined carbon emissions from road, air, rail and sea transportation from 1990 to 2004 using the IPCC methodology (Tier Method).

In this study, the carbon footprint of Muğla Sıtkı Koçman University was calculated with two separate methods: the IPCC Tier 1 method and DEFRA conversion factors. With this study, the carbon footprint of the university was determined for the first time. In this study, the carbon emissions caused by electricity use were also calculated according to national data, and the results obtained with international emission data were compared. With the CO<sub>2</sub> emission results, the amount of CO<sub>2</sub> emissions caused by the university will be calculated and suggestions will be made to set an example for other studies and potential pollution reduction.



## 2. MATERIAL AND METHOD

The carbon footprint of Muğla Sıtkı Koçman University was calculated based on the total electricity consumption of all university units, fuel usage for heating on campus, and the fuel consumed by the university vehicle fleet. The data used in this research are official data obtained from the university. To assess both direct and indirect emissions produced by the university and calculate its carbon footprint, the received data was converted into CO<sub>2</sub> using the conversion factors from the IPCC catalogue. As seen in Table 2, while the emissions from the fuel used by the university for heating and the emissions from the fuel of the vehicles belonging to the university are included in Scope-1, the emissions caused by the electricity consumption of the university are included in Scope-2. Scope-3 was not used in this study. Scope-3 includes emissions produced indirectly and emissions generated by personnel. In this study, the carbon footprint of the university was calculated within the scope of Scope-1 and Scope-2 of the university for the years 2020 and 2021.

**Table 2:** MSKU emission source.

Source	Scope	Emissions
Fuel consumption from transportation	Scope-1	Emissions consisting of the fuel types used by the university vehicle fleet and the total amount used
Fuel consumption used in heating	Scope-1	Emissions consisting of the types of fuel used by the university and the total amount used as a result of the heating need.
Electricity consumption	Scope-2	Emissions from the amount of electricity consumed by the university as a result of all kinds of activities

All fuel types and amounts used by the university are given in Table 3 below. Using these data, the IPCC Tier 1 method and DEFRA conversion factors and the carbon footprint of the campus were calculated using Excel and the results were tabulated. When the university's annual total fuel consumption data is examined, it is seen that university vehicles mostly use diesel. The total amount of fuel used at the university in 2022 is more than the total amount of fuel used in 2020 and 2021. Natural gas data received from the university is taken in kWh. In the calculations made with the DEFRA method, kWh value was used as the natural gas unit. However, in the calculations made with the IPCC method, the natural gas value was converted to m<sup>3</sup>. Due to the completion of the university's natural gas infrastructure system in 2021, the university's natural gas consumption amount in 2021 and 2022 is higher than in 2020. In the calculations, unit conversion was made by taking 1 standard m<sup>3</sup> of natural gas as 10.64 kWh.

**Table 3:** MSKU 2020, 2021 and 2022 fuel consumption

Fuels	Unit	2020 Fuel Consumption	2021 Fuel Consumption	2022 Fuel Consumption
Gasoline	Litter	49 000	48 000	63 000
Diesel	Litter	2 000	3 000	4 000
LPG	Litter	2 000	2 500	4 000
Natural Gas	(kWh)	8 303 902	26 237 460	24 829 936
Natural Gas	(m <sup>3</sup> )	780 442	2 465 927	2 333 641
Compressed Natural Gas (CNG)	(Sm <sup>3</sup> )	13 145	10 673	23 165
Fuel Oil	(kg)	26 480	11 580	22 830
Propane	(kg)	15 000	13 720	19 160
Coal	(ton)	-	120	125
Electric	(kWh)	6 160 599	7 570 192	10 192 598

In the university's carbon footprint calculations, the 2006 IPCC Guide was used as a guide and the Tier 1 approach was taken as the calculation methodology. Data and formulas in IPCC calculations; Calculations were made by using the "Monitoring and Reporting Communiqué Sectoral Calculation Examples", "Monitoring and Reporting Communiqué Monitoring Plan Guide" published by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of Türkiye and by taking the emission data in the "Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions" published in the Official Gazette No. 29068 on July 22, 2014 (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014). Emission factors were determined using the data published in the Official Gazette. These are calculation sources created using the emission factors assumed in the 2006 IPCC Guidelines in the data in the Official Gazette. The results obtained by substituting it in Equation 1 enable the calculation of the greenhouse gas emission value.

$$Emission_{greenhouse\ gas, fuel} = Fuel\ Consumption_{fuel} \cdot Emission\ Factor_{CO_2, fuel} \quad (1)$$

To calculate CO<sub>2</sub> emissions, the amount of fuel consumed, the net calorific value of the fuel and the appropriate emission value, which varies for each fuel, are used.

According to the IPCC method, the following steps are followed to calculate CO<sub>2</sub> emissions:

1. The total consumption amount of the fuels used is calculated.
2. Density values of the fuels to be used in the calculations are given in Table 4 (Official Gazette, 2011). Equation 2 is used to perform unit conversion. The density of compressed natural gas (CNG) is calculated based on 15 °C and 20 MPa pressure (UNITROVE, 2022). If the fuel used is gas, the volume data of the gas is multiplied by the density in order to convert it to mass (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015). For liquid fuels, unit conversion is done to change from liters to

cubic meters. In the calculations, the density of gasoline was assumed to be 878.65 kg/m<sup>3</sup>, the density of diesel was 840.00 kg/m<sup>3</sup>, the density of LPG was kg/m<sup>3</sup>, the density of natural gas was 0.72 kg/m<sup>3</sup> and the density of CNG was 0.68 kg/m<sup>3</sup> (Official Gazette, 14 Mayıs 2018).

**Table 4:** Density values of fuels

Fuels	Unit	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Gasoline	Litter	878.68
Diesel	Litter	480.00
LPG	Litter	495.00
Natural Gas	(m <sup>3</sup> )	0.72
Compressed Natural Gas (CNG)	(Sm <sup>3</sup> )	0.68
Fuel Oil	(kg)	-
Propane	(kg)	-
Coal	(ton)	-

$$Fuel\ Consumption\ (kg) = Fuel\ Consumption * Density\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) * Unit\ Conversion \quad (2)$$

**Table 5:** Net calorific value of fuels (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014), (IPCC, 2006)

Fuels	Net Calorific Value (TJ/Gg)
Gasoline	44.3
Diesel	43
LPG	47.3
Natural Gas	48
Compressed Natural Gas (CNG)	50
Fuel Oil	40.4
Propane	-
Coal	28.2

$$Energy\ Consumption = Fuel\ Consumption * Conversion\ Factor * Net\ Calorific\ Value \quad (3)$$

3. The energy content of the fuel used is calculated. To do this, the fuel amount is multiplied by the net calorific value. Fuel-specific net calorific value (TJ/Gg) conversion factors are given in Table 5, specified in the IPCC 2006 guide and the value included in the communiqué on monitoring and reporting greenhouse gas emissions that came into force by being published in the Official Gazette dated 22.07.2014 and numbered 29068 (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014). The energy content of the fuel is calculated using Equation 3. For propane, no net calorific value was used in the calculations. In the calculation, "Monitoring and Reporting Communiqué Sectoral Calculation Examples" and "Monitoring and Reporting Communiqué Monitoring Plan Guide" published by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change were used. According to the guidelines, the calculation was made without using the net calorific value of propane (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Türkiye

Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015). In the calculations, the calorific values were taken as 44.3 TJ/Gg for gasoline, 43 TJ/Gg for diesel, 47.3 TJ/Gg for LPG, 28.2 TJ/Gg for coal, 48 TJ/Gg for natural gas, 40.4 TJ/Gg for fuel oil and 50 TJ/Gg for CNG. The net calorific values given in the IPCC method and the values published in the official gazette in Türkiye are the same. Since the values published by IPCC are suitable for Türkiye, these values were published in the official gazette.

4. The total carbon dioxide content in the fuel is calculated by multiplying the calculated energy consumption value with the carbon emission factor given in Table 6, taken from the values in the communiqué on monitoring and reporting of greenhouse gas emissions, which was specified in the IPCC 2006 guide and published in the Official Gazette dated 22.07.2014 and numbered 29068. Equation 4 is used in this calculation (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014). The emission factor of the fuels was calculated as 69 300 kg CO<sub>2</sub>/TJ for gasoline, 74 100 kg CO<sub>2</sub>/TJ for diesel, 63 100 kg CO<sub>2</sub>/TJ for LPG, 94 600 kg CO<sub>2</sub>/TJ for coal, 56 100 kg CO<sub>2</sub>/TJ for natural gas, 77 400 kg CO<sub>2</sub>/TJ for fuel oil, 2.99 for propane and 64 200 kg CO<sub>2</sub>/TJ for CNG. In the calculations for propane, the emission factor given in the "Monitoring and Reporting Communique Sectoral Calculation Examples" and "Monitoring and Reporting Communique Monitoring Plan Guide" published by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change was used. According to the guidelines, the calculation was made without using the net calorific value of propane (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015). The emission factors given in the IPCC method are the same as the emission values published in the official gazette in Türkiye. Since the values published by IPCC are suitable for Türkiye, these values were published in the official gazette.

**Table 6:** Net calorific value of fuels (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014), (IPCC, 2006)

Fuels	Net Calorific Value (TJ/Gg)
Gasoline	69 300
Diesel	74 100
LPG	63 100
Natural Gas	56 100
Compressed Natural Gas (CNG)	64 200
Fuel Oil	77 400
Propane	2.99
Coal	94 200

$$Emission\ Content\ (kg) = Emission\ Factor\ \left(\frac{kg}{TJ}\right) * EnergyConsumption\ (TJ) \quad (4)$$

5. To calculate the carbon value completely involved in combustion, Equation 5 is used to calculate carbon dioxide emissions in kilograms. In order to calculate greenhouse gas emissions, the oxidation and conversion factors were taken as 1.00 and the biomass ratio was taken as 0.00, as stated in the "Monitoring

and Reporting Communiqué Sectoral Calculation Examples" and "Monitoring and Reporting Communiqué Monitoring Plan Guide" published by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014).

**Table 7:** Biomass ratio, oxidation factor and conversion factor of fuels (Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2015), (Official Gazette (Issue:29068), 22.07.2014).

Fuels	Biomass Ratio	Net Calorific Value (TJ/Gg)
Gasoline	0.00	1
Diesel	0.00	1
LPG	0.00	1
Natural Gas	0.00	1
Compressed Natural Gas (CNG)	0.00	1
Fuel Oil	0.00	1
Propane	0.00	1
Coal	0.00	1

$$Carbon\ Emission(kg\ CO_2) = Emission\ Content(kgCO_2) * (1 - Biomass\ Ratio) * Oxidation\ Factor \quad (5)$$

Calculation of the amount of CO<sub>2</sub> emissions for the electrical energy used:

1. The amount of electricity used is calculated in kWh.
2. Electricity emission factors are given in Table 8 below. The value of 0.48 kg/kWh given in the IPCC 2006 guide was used in the calculations. At the same time, calculations were made using the electricity emission factor, which is Türkiye's data. According to the data of the Ministry of Energy and Natural Resources of Türkiye, an average of 0.44 tons/MWh CO<sub>2e</sub> greenhouse gas emissions are emitted per 1 MWh (unit) of net electricity production throughout Türkiye (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023). Using the equations given in Equation 6 and Equation 7, the amount of CO<sub>2</sub> emissions is calculated by multiplying the amount of electricity used by the emission factors.

**Table 8:** Electricity consumption emission factor (IPCC, 2006) (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023)

Data Source	Emission Factor (kg/kWh)
IPCC 2006 Guide	0.48
Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources	0.44

$$Carbon\ Footprint = Activity\ Data * Emission\ Factor\ Faktörü \quad (6)$$

$$CO_2\ Emission(kgCO_2) = Amount\ of\ Electricity\ Used(kWh) * Emission\ Factor \frac{kg\ CO_2}{kWh} \quad (7)$$

To calculate CO<sub>2</sub> emissions according to the DEFRA method, the following steps are followed in order:

Equation 8 is used in this calculation.

$$\text{Carbon Footprint} = \text{Activity Data} * \text{DEFRA Emission Factor} \quad (8)$$

In the study, DEFRA emission factors will be used to calculate the carbon footprint of Muğla Sıtkı Koçman University. The emission factors used in this article are given in Table 9 (DEFRA, 2022). Since the 2020 emission factor of propane was not given in the catalog published by DEFRA in 2020, the emission value of 2021 and 2022 was used in the calculations.

**Table 9:** DEFRA conversion factors for 2020, 2021 and 2022 (DEFRA, 2022)

	Fuel Type	Unit	Year	kg CO <sub>2e</sub>
SCOPE 1	Gasoline	lt	2020	2.17
			2021	2.19
			2022	2.16
	Diesel	lt	2020	2.55
			2021	2.51
			2022	2.56
	LPG (Liquefied Petroleum Gas)	lt	2020	1.56
			2021	1.56
			2022	1.56
	Coal	ton	2020	2 883.26
			2021	2 883.26
			2022	2 883.26
	Natural gas	kWh	2020	0.20
			2021	0.20
			2022	0.20
	Fuel oil	ton	2020	3 229.20
			2021	3 229.20
			2022	3 229.20
Propane	ton	2020	2 997.55	
		2021	2 997.55	
		2022	2 997.55	
Compressed natural gas (CNG)	kWh	2020	0.20	
		2021	0.20	
		2022	0.20	
SCOPE 2	Electric	kWh	2020	0.23
			2021	0.21
			2022	0.19

The data obtained as a result of calculating the carbon footprint of MSKU with the IPCC Tier 1 method are given in Tables 10, 11 and 12 below (IPCC, 2006).

**Table 10:** CO<sub>2</sub> emission calculation for 2021 according to the IPCC Tier 1 approach (IPCC, 2006).

Scope	Fuels	Fuel Consumption	Net Calorific Value (TJ/Gg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Emission Factor (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	Biomass Ratio	Oxidation Factor / Conversion Factor	CO <sub>2</sub> Emission (kg)
Scope 1	Gasoline (lt)	2 000	44.30	878.65	69 300	0	1	5 394.89
	Diesel (lt)	49 000	43	840.00	74 100	0	1	131 148.11
	LPG (lt)	2 000	47.30	495.00	63 100	0	1	2 954.78
	Coal (kg)	-	28.20	-	94 600	0	1	-
	Natural Gas (m <sup>3</sup> )	8 303 902	48	0.72	56 100	0	1	1 506 828.55
	Fuel Oil (kg)	26 480	40.40	-	77 400	0	1	82 801.90
	Propane (kg)	15 000	-	-	2.99	0	1	44 895.00
	CNG (m <sup>3</sup> )	13 145	50	0.68	64 200	0	1	28 692.91
					Emission Factor (kg/kWh)			
Scope 2	Electric (kWh)	6 160 599.10	-	-	0.48	-	-	2 957 087.57
<b>TOTAL CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN 2020</b>								<b>4 759 803.71</b>

**Table 11:** CO<sub>2</sub> emission calculation for 2022 according to the IPCC Tier 1 approach (IPCC, 2006).

Scope	Fuels	Fuel Consumption	Net Calorific Value (TJ/Gg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Emission Factor (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	Biomass Ratio	Oxidation Factor / Conversion Factor	CO <sub>2</sub> Emission (kg)
Scope 1	Gasoline (lt)	3 000	44.30	878.65	69 300	0	1	8 092.34
	Diesel (lt)	48 000	43	840.00	74 100	0	1	128 471.62
	LPG (lt)	2 500	47.30	495.00	63 100	0	1	3 693.48
	Coal (kg)	120	28.20	-	94 600	0	1	320 126.40
	Natural Gas (m <sup>3</sup> )	2 465 926.69	48	0.72	56 100	0	1	4 761 057.38
	Fuel Oil (kg)	11 580	40.40	-	77 400	0	1	36 210.20
	Propane (kg)	13 720	-	-	2.99	0	1	41 063.96
	CNG (m <sup>3</sup> )	10 673	50	0.68	64 200	0	1	23 228.50
					Emission Factor (kg/kWh)			
Scope 2	Electric (kWh)	7 570 191.62	-	-	0.48	-	-	3 633 691.98
<b>TOTAL CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN 2021</b>								<b>8 955 635.86</b>

**Table 12:** CO<sub>2</sub> emission calculation for 2022 according to the IPCC Tier 1 approach (IPCC, 2006).

Scope	Fuels	Fuel Consumption	Net Calorific Value (TJ/Gg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Emission Factor (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	Biomass Ratio	Oxidation Factor / Conversion Factor	CO <sub>2</sub> Emission (kg)
Scope 1	Gasoline (lt)	4 000	44.30	878.65	69 300	0	1	10 789.79
	Diesel (lt)	63 000	43	840.00	74 100	0	1	168 619
	LPG (lt)	2 500	47.30	495.00	63 100	0	1	3 693.48
	Coal (kg)	125	28.20	-	94 600	0	1	333 465
	Natural Gas (m <sup>3</sup> )	2 333 640.60	48	0.72	56 100	0	1	4 505 647.65
	Fuel Oil (kg)	22 830	40.40	-	77 400	0	1	71 388.50
	Propane (kg)	19 160	-	-	2.99	0	1	57 345.88
	CNG (m <sup>3</sup> )	23 165	50	0.68	64 200	0	1	50 564.56
					Emission Factor (kg/kWh)			
Scope 2	Electric (kWh)	10 192 597.97	-	-	0.48	-	-	4 892 447.03
<b>TOTAL CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN 2022</b>								<b>10 093 960.88</b>

Fuel consumption amounts for 2020, 2021 and 2022 obtained from the university were used and the total amount of CO<sub>2</sub> emissions produced by the school was calculated with the emission factors published by DEFRA (DEFRA, 2020). The data obtained as a result of calculating MSKU's carbon footprint using the DEFRA method is given in Table 13 below.

In the calculations, the value of 0.48 kg/kWh given in the IPCC 2006 guide was used. The calculation was made using the electricity emission factor of the Ministry of Energy and Natural Resources of Türkiye, which is also Türkiye's data, with an average value of 0.44 tons/MWh CO<sub>2e</sub> per 1 MWh (unit) of net electricity production. The results obtained with IPCC and Türkiye data were compared (See Table 14) (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023). When the emission values obtained by these three methods are compared, it is seen that the result obtained using the IPCC method gives higher results than the result obtained using the DEFRA method and Türkiye data. When calculating carbon dioxide emissions from electricity, energy transmission line losses are not taken into account.

CO<sub>2e</sub> is a measurement created by the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to compare the effects of different greenhouse gases. As a result of carbon footprint calculations, carbon dioxide equivalent (CO<sub>2e</sub>) is obtained. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and carbon dioxide equivalent (CO<sub>2e</sub>) measure global warming potential, but carbon dioxide equivalent (CO<sub>2e</sub>) also includes greenhouse gases. It enables the effects of all greenhouse gases to be explained in one unit.



**Table 13:** 2020, 2021 and 2022 CO<sub>2</sub> emission calculation according to DEFRA approach.

Scope	Fuels	Fuel Consumption	Conversion Factor (kg CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Emission (kg)	
2020	Scope 1	Gasoline (lt)	2 000	2.17	4 336.04
		Diesel (lt)	49 000	2.55	124 755.47
		LPG (lt)	2 000	1.56	3 110.74
		Coal (kg)	-	2 883.26	-
		Natural Gas (m <sup>3</sup> )	8 303 902	0.20	1 691 836.99
		Fuel Oil (kg)	26 480	3 221.37	85 301.88
		Propane (kg)	15 000	2 997.55	44 963.25
		CNG (m <sup>3</sup> )	13 145	0.20	28 495.65
		Scope 2	Electric (kWh)	6 160 599.10	0.23
TOTAL CO <sub>2</sub> EMISSIONS IN 2020				4 759 803.71	
2021	Scope 1	Gasoline (lt)	3 000	2.19	6 580.56
		Diesel (lt)	48 000	2.51	120 591.84
		LPG (lt)	2 500	1.56	3 892.73
		Coal (kg)	120	2 883.26	345 991.20
		Natural Gas (m <sup>3</sup> )	26 237 460	0.20	5 325 417.26
		Fuel Oil (kg)	11 580	3 229.20	37 394.14
		Propane (kg)	13 720	2 997.55	41 126.39
		CNG (m <sup>3</sup> )	10 673	0.21	23 049.42
		Scope 2	Electric (kWh)	7 570 191.62	0.21
TOTAL CO <sub>2</sub> EMISSIONS IN 2021				7 511 422.31	
2022	Scope 1	Gasoline (lt)	4 000	2.16	8 640.00
		Diesel (lt)	63 000	2.56	161 280.00
		LPG (lt)	2 500	1.56	3 900.00
		Coal (kg)	125	2 883.26	360 407.50
		Natural Gas (m <sup>3</sup> )	24 829 936	0.20	4 965 987.20
		Fuel Oil (kg)	22 830	3 229.20	73 722.64
		Propane (kg)	19 160	2 997.55	57 433.06
		CNG (m <sup>3</sup> )	23 165	0.20	49 854.62
		Scope 2	Electric (kWh)	10 192 597.97	0.19
TOTAL CO <sub>2</sub> EMISSIONS IN 2022				7 652 269.61	

**Table 14:** MSKÜ's CO<sub>2</sub> emission values calculated in 2020, 2021 and 2022 with three different methods.

Year	IPCC Methodology	DEFRA Method	Türkiye Data
2020	2 957 087.57 kg	1 436 282.07 kg	2 710 663.60 kg
2021	3 633 691.98 kg	1 607 378.79 kg	3 330 884.31 kg
2022	4 892 447.03 kg	1 971 077.60 kg	4 484 743.11 kg

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

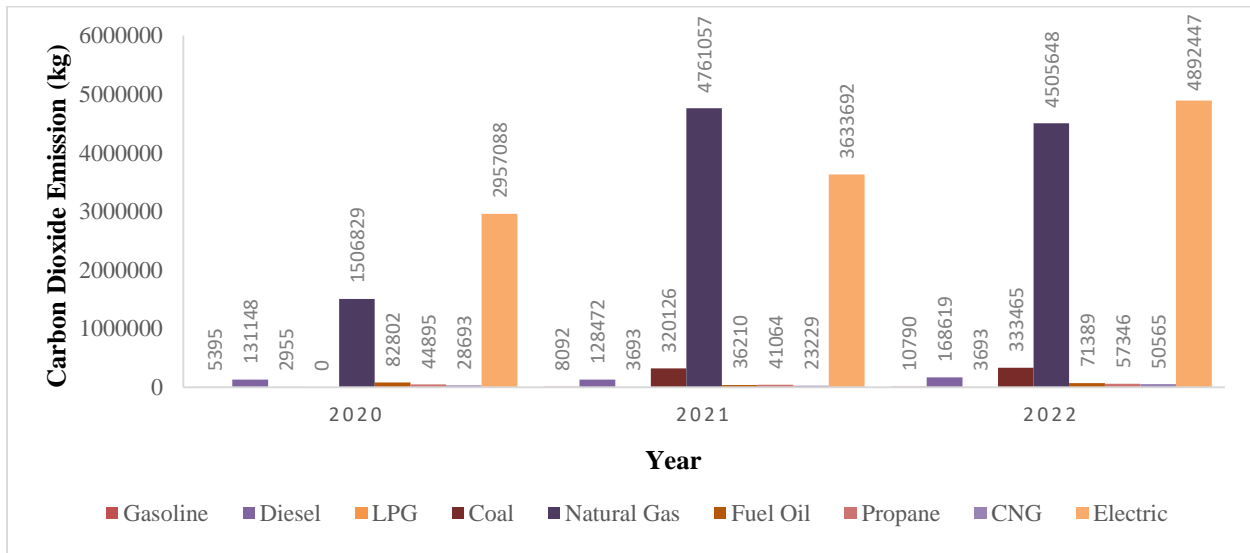
When the calculation results were examined, it was seen that the emission results of the same fuel type obtained by different methods in the same years gave different results depending on the fuel types. The biggest difference in the calculation results was seen in the carbon dioxide emissions caused by electricity. The following Table 15 was created by dividing the emission production amounts of IPCC and DEFRA methods into Scope-1 and Scope-2. It was observed that the result obtained using the Scope-1 source DEFRA method of the university in 2020, 2021 and 2022 gave higher results than the IPCC. While the

difference between the IPCC and DEFRA methods is lower in 2020, the difference is larger in 2021 and 2022. The reason why this difference is low in 2020 is due to less fuel consumption in 2020 compared to other years.

**Table 15:** MSKU's emission calculation table according to Scope-1 and Scope-2 in 2020, 2021 and 2022.

Year	IPCC Methodology (kg)		DEFRA Method (kg)	
	Scope-1	Scope-2	Scope-1	Scope-2
2020	1 802 716.14	2 957 087.57	1 982 800.02	1 436 282.07
2021	5 321 943.88	3 633 691.98	5 904 043.54	1 607 378.79
2022	5 201 513.86	4 892 447.03	5 681 225.02	1 971 044.60

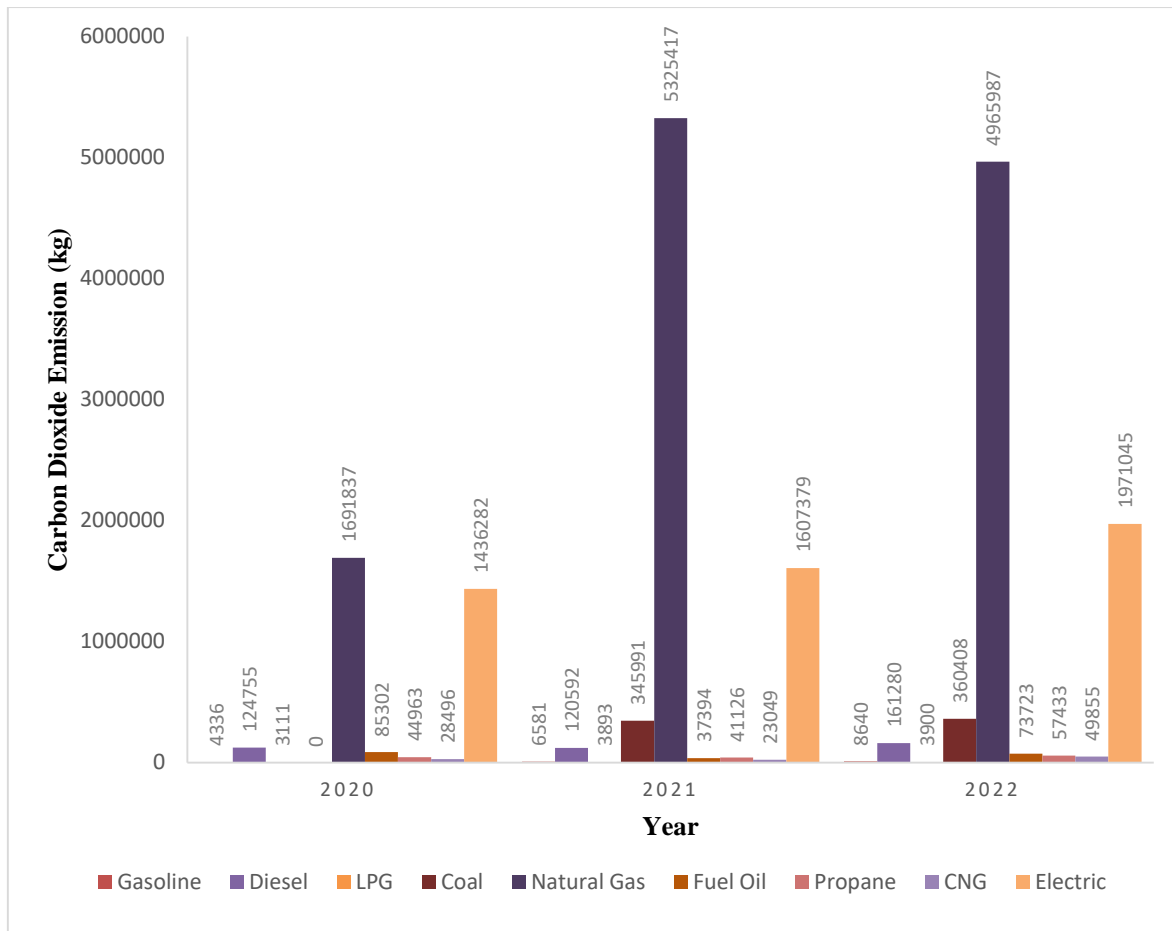
Total equivalent CO<sub>2</sub> emissions for 2020 were calculated as 4 759 803.71 kg CO<sub>2e</sub>. The total equivalent CO<sub>2</sub> emission value for 2021 is calculated as 8 955 635.86 kg CO<sub>2e</sub>. The total equivalent CO<sub>2</sub> emission value for 2022 is calculated as 10 093 960.88 kg CO<sub>2e</sub>. Calculations made using the IPCC Tier 1 method showed that the activity causing the largest CO<sub>2</sub> emissions in 2020, 2021 and 2022 was caused by the use of natural gas and electricity. And while the highest carbon dioxide production in 2020 was caused by electricity consumption, it was observed that the highest carbon dioxide production in 2021 and 2022 was caused by natural gas (See Figure 4).



**Figure 4:** Fuel-based representation of CO<sub>2</sub> emissions at the university in 2020, 2021 and 2022 according to the IPCC Tier 1 approach.

Total equivalent CO<sub>2</sub> emissions in 2020 were calculated as 3 419 082.09 kg CO<sub>2</sub> equivalent. The total equivalent CO<sub>2</sub> emission value for 2021 is calculated as 7 511 422.31 kg CO<sub>2</sub> equivalent. The total equivalent CO<sub>2</sub> emission value for 2022 is calculated as 7 652 269.61 kg CO<sub>2</sub> equivalent. According to the DEFRA approach, when the emission rates of the fuel types that create CO<sub>2</sub> emissions in 2020, 2021 and

2022 are compared, it is seen that the highest CO<sub>2</sub> emissions come from the use of natural gas, followed by electricity (See Figure 5).



**Figure 5:** Fuel-based representation of CO<sub>2</sub> emissions at the university in 2020, 2021 and 2022 according to DEFRA conversion factors.

When the annual total fuel consumption data used by the university for heating is examined, it is seen that natural gas is used. The total amount of natural gas used at the university in 2021 is more than the total amount of natural gas used in 2020 and 2022. When the total amount of electricity consumed by the university in 2020, 2021 and 2022 is examined, it is seen that the total electrical energy consumed in 2022 is higher than the total electrical energy consumed in 2021 and 2020.

When the university's emission amounts resulting from Scope-2 in 2020, 2021 and 2022 were compared according to the method used, it was seen that the result calculated with the IPCC method was much higher than the result calculated with the DEFRA method. The difference between the two methods is due to the different emission factors of the IPCC and DEFRA methods. The university's emission value due to electricity consumption between 2020, 2021 and 2022 were compared with the IPCC and DEFRA methods,

as well as these results and the results of the use of Türkiye's emission factors due to electricity consumption (See Table 10). When the emission values obtained by these three methods were compared, it was seen that the result obtained using the IPCC method gave the highest value and the result obtained using the DEFRA method gave the lowest value. The reason for this difference is due to the use of renewable energy sources in the electricity production of England, the country that prepared the DEFRA conversion factors (GOV.UK, 2023). Since the electrical energy produced in Türkiye is mostly produced from fossil fuels, its emission factor is higher than DEFRA's emission factor (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023). It was observed that the results calculated using Türkiye's data and the IPCC method were similar, but the IPCC method yielded a slightly higher result. The reason for this difference is that the emission value given in the IPCC method is determined as a higher emission value since it is an international value. The reason why Türkiye's data is lower than the value in the IPCC method is that renewable energy is also used in electricity production in Türkiye. In other examined studies, it was observed that the amount of carbon dioxide emissions obtained by the IPCC method gave much higher results than the results obtained using DEFRA conversion factors (Çerçi, 2021).

As a result of all calculations, the amount of Scope-1 emission in 2021 and 2022 is higher than the emission amount of Scope-2. Because the amount of electricity used is low and the amount of fossil fuel used for transportation and heating needs is high. The total amount of emissions in 2020 is lower than the total amount of emissions in 2021 and 2022. Because more fuel was used in 2021 and 2022 than in 2020. When the CO<sub>2</sub> emissions of the university were compared according to Scope-2 in 2020, 2021 and 2022, it was seen that there was a difference between the results obtained using the IPCC Tier 1 approach and the DEFRA method, and this difference was much higher than the difference according to Scope-1. This difference has become more evident, especially in 2021 and 2022. This difference is due to DEFRA conversion factors being lower than the IPCC emission factor. This difference varies in proportion to the carbon emissions created by countries in electricity production. Because the values in DEFRA's catalogue, which is updated every year, are adjusted according to the national data of England, it gave higher values. It has also been seen in other studies that have been examined and previously conducted that the amount of carbon dioxide emissions obtained by the IPCC method gives much higher results than the results obtained using DEFRA conversion factors (Çerçi, 2021). When the university's emission amounts resulting from Scope-2 in 2020, 2021 and 2022 are compared according to the method used, it is seen that the result calculated with the IPCC method is much higher than the result calculated with the DEFRA method. The reason for the big difference in the results is that the emission factor used in the calculation of Scope-2 emissions is different in the IPCC and DEFRA methods. The carbon dioxide emission factor of the UK, which prepares the DEFRA conversion factors, is higher than DEFRA's due to the use of renewable energy sources in electricity production and the high share of fossil fuels in Türkiye's electricity production (Republic of Türkiye

Ministry of Energy and Natural Resources, 2023) (GOV.UK, 2023). As a result of the calculations, it can be seen that the results calculated with Türkiye data and the results obtained with the IPCC method are close to each other. The reason why the value given in the IPCC method is higher than the national data of Türkiye is due to the fact that the emission factor given in the IPCC method was created to calculate carbon dioxide emissions on an international scale and the emission data in Türkiye is a national value. The results were lower than those of the IPCC due to the contribution of renewable energy sources to electricity production in Türkiye. Loss and leakage due to electricity distribution were not taken into account in the calculations. As a result of all calculations, the carbon emissions at Muğla Sıtkı Koçman University cause the highest emissions in Scope-1 values in 2021 and 2022, except for 2020, and the emission amount in 2022 is higher than the emission amounts in 2021 and 2020. This is mainly due to the fact that the amount of fuel used has increased in 2022.

In cases where it is not possible to reduce or eliminate carbon emissions in a region, afforestation can be carried out in that region to compensate the air pollution caused. According to a study, it was found that a tree photosynthesizes with an average of 22.5 kg of CO<sub>2</sub> annually (Bahçeci, 2013). For this purpose, the number of trees required to zero the CO<sub>2</sub> emission value of Muğla Sıtkı Koçman University is found to be 211,515 and 151,959, respectively, according to IPCC and DEFRA methods for 2020. According to IPCC and DEFRA methods for 2021, it is 398 028 and 333 841 respectively. According to IPCC and DEFRA methods for 2022, it is 448 620 and 340 101 respectively (See Table 16).

**Table 16:** MSKU's CO<sub>2</sub> emission values calculated in 2020, 2021 and 2022 with three different methods.

Year		IPCC Methodology	DEFRA Method
2020	CO <sub>2</sub> Emission (kg)	4 759 087.57	3 419 082.09
	Number of Required Trees (Grain)	211 515	151 959
2021	CO <sub>2</sub> Emission (kg)	8 955 635.86	7 511 422.31
	Number of Required Trees (Grain)	398 028	333 841
2022	CO <sub>2</sub> Emission (kg)	10 093 960.88	7 652 269.61
	Number of Required Trees (Grain)	448 620	340 101

The university needs to carry out energy saving and energy management studies in order to reduce its carbon footprint. Thermal insulation has been installed on the exteriors of the buildings within the university to prevent heating losses. However, heat losses can be prevented by repairing areas where thermal insulation is not good. Energy saving methods should be investigated to reduce the amount of energy the university needs for heating. For this purpose, the architectural structure of new buildings should be designed to actively use solar energy for both heating and lighting purposes. Project planning should be done during building construction to meet the ventilation and air conditioning needs of buildings. Energy losses resulting from the need for fresh air during the winter months can be minimized by returning fresh air to the building with recovery systems. Heating systems should be replaced with new systems with higher combustion

efficiency. Solar chimneys can be used for lighting. The efficiency of heating systems should be checked and if there are leaks, they should be repaired or new efficient systems should be purchased. In order to reduce electricity consumption and emissions, technological devices at the university can be replaced with energy-saving equipment and unnecessary electricity can be avoided. In order to reduce carbon emissions created by the university vehicle fleet, it can be replaced with fuel-saving, energy-efficient and low-fuel-consuming models. By implementing aforementioned measures, the university's carbon dioxide emissions can be reduced. Increasing the use of renewable energy resources on campus and reduction of fossil fuel consumption can be achieved. Thanks to the photovoltaic solar panels located on one facade of the Faculty of Education building located on the central campus of the university, part of the electricity need is met by these panels. Muğla province has high solar radiation due to its location. The Solar Energy Facility at Muğla Sıtkı Koçman University produces an average of 198 000 kWh of electricity annually (Muğla Sıtkı Koçman University , 2024). When the number of photovoltaic panels required for the university to meet all its electricity is calculated as a multiple of the current number of panels, it should be 32 times for 2020, 39 times for 2021 and 52 times for 2022. In order to use this advantage, the number of photovoltaic solar collectors at the university can be increased. Newly constructed buildings at the university can be designed as zero energy. By implementing these measures, the carbon emissions can be significantly reduced.

#### **4. CONCLUSION**

In this study, the quantification of Muğla Sıtkı Koçman University's carbon footprint was undertaken via the application of the IPCC Tier 1 methodology and the DEFRA approach. The computations drew upon official datasets provided by the university for determination. In the calculations, the fuel data used by the university in electricity consumption, heating and transportation in 2020, 2021 and 2022 were used. Calculations made using the IPCC methodology showed that carbon dioxide emissions increased by 88% in 2021 compared to 2020 and increased by 13% in 2022 compared to 2021. Calculations made using the DEFRA methodology showed that carbon dioxide emissions increased by 120% in 2021 compared to 2020 and increased by 2% in 2022 compared to 2021. It was observed that carbon dioxide emissions increased with the increase in the amount of natural gas consumed at the university in 2021, and carbon dioxide emissions increased with the increase in compressed natural gas (CNG) consumption in 2022. The increase in emissions during 2021 and 2022 can be attributed to the higher heating demand experienced by the university compared to the preceding year, mainly driven by the prolonged global COVID-19 pandemic, which necessitated the continuation of remote education since March 2020. Therefore, reductions in electricity and fuel consumption resulted in reduced emissions compared to previous years. Furthermore, discrepancies in conversion factors employed in the IPCC and DEFRA methods led to varying outcomes for the university's carbon dioxide emissions in both Scope-1 and Scope-2 categories.

Energy management should be studied at the university in order to reduce the amount of energy the university needs for heating and to save energy. For this purpose, if there is no insulation on the exterior of the buildings, exterior insulation should be provided. If there are leaks in heating systems, they should be checked and old systems should be replaced with new energy-efficient systems. Energy saving methods should be investigated to reduce the amount of energy the university needs for heating. For this purpose, the architectural structure of new buildings should be designed to actively use solar energy for both heating and lighting purposes. Project planning should be done during building construction to meet the ventilation and air conditioning needs of buildings. Fresh air should be returned to the building through recovery systems. In this way, energy loss due to the need for fresh air in winter months is minimized. Heating systems should be replaced with new systems with higher combustion efficiency. Solar chimneys can be used for lighting purposes. Electricity-consuming devices can be replaced with efficient devices. By implementing these measures, emissions can be reduced. By increasing the use of renewable energy sources on campus, the amount of fossil fuel consumed can be reduced by providing the needed energy from clean sources. The university's carbon footprint can be reduced by reducing the energy needs of consumption that will cause carbon emissions by saving energy through measures and suggestions. The biggest change that can reduce the carbon footprint may be the dissemination of efficient technologies by using fuel-saving, energy-efficient systems at universities. In this sense, carbon emissions can be minimized by using renewable energies and choosing energy efficient systems with new systems to be built not only at the university but throughout the country. There are photovoltaic solar panels on the central campus of the university. Since Muğla province has high solar radiation due to its location, an average of 198,000 kWh of electricity is produced annually from these panels (Muğla Sıtkı Koçman University , 2024). The annual electricity amounts needed by the university and the amounts of electrical energy produced from the panels in the university were compared with this study. When the number of photovoltaic panels required to meet all the electricity of the university is calculated as a multiple of the current number of panels, it should be 32 times for 2020, 39 times for 2021 and 52 times for 2022. In order to use this advantage, the number of photovoltaic solar collectors at the university can be increased. The results of this study can be used by the sustainable green campus coordinator to assess our university's place in the emission rankings among other international universities.

Life Cycle Analysis (LCA) has an important place in examining carbon emissions. Life cycle analysis LCA was created according to ISO 14040 and ISO 14044 standards. It is a system that follows and notes all life processes of a product, service or a process, starting from its first acquisition, and includes the calculation of the carbon emissions produced in all steps by noting its final disposal. Since it follows all the steps of a product or service, it is defined by the concept of "cradle to grave" (Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2011). According to the results of the report resulting from the life cycle analysis, the

step and method that cause the most emissions are determined. Carbon emissions caused by this determined method or step can be reduced. At the same time, the amount of natural resources needed in the same process can be reduced by saving energy and reducing emissions by reusing or recycling by-products and waste materials created while producing the product. It is aimed to eliminate all negativities by popularizing sustainable production. The report resulting from the life cycle analysis reveals the damage caused to the environment at all steps of the product or service, allowing the damage to be seen concretely. By raising awareness of the society that suffers this damage, the climate change and extreme meteorological events we experience today can be prevented. By reducing or eliminating the pollution caused by life cycle analysis, negative effects on the ecological system are prevented and all negativities can be prevented. In this way, by ensuring sustainability, reducing the waste that will occur at every step of production and consumption, using sustainable production, and minimizing the damage to the environment by recycling (recycle-recover-reuse) of the products, this damage is completely eliminated. With the calculations made in this study, the amount of carbon dioxide accumulated in the atmosphere can be estimated and sanctions and regulations can be made to reduce the pollution that will occur. Carbon dioxide emissions can be reduced if universities, one of the leading institutions and organizations in society, draw attention to this field. In this way, it is possible to see the pollution caused by all systems whose life cycle analysis has been performed and to reduce pollution with appropriate interventions.

In this study, two different methods, the IPCC Tier 1 method, and the DEFRA method, were compared. At the same time, it was decided that the use of IPCC Tier 1 was appropriate for Türkiye. It is thought that this study will set an example for other studies to be conducted in the future. Energy consumption and emissions, especially from heating, are high all over the world. Calculating emissions is important for monitoring annual energy consumption and reducing carbon dioxide emissions.

## **CONFLICT OF INTEREST STATEMENT**

There is no conflict of interest among the authors.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

I would like to thank Assoc. Prof. Dr. Tolga URAL, Dr. Gülşah KARACA DOLGUN, who supported and advised me while doing this study, and Dr. Hüseyin GÜLLÜCE and Dr. Durmuş KARABACAK, who guided me in my study and helped me complete my deficiencies. I also thank Muğla Sıtkı Koçman University for providing the data used in the calculations in this article.



## CONTRIBUTIONS OF AUTHORS

E.H. : Conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, writing—original draft preparation.

G.K.D. : Validation, review and editing.

T.U. : Validation, review and editing.

H.G. : Validation, review and editing.

D. K. : Validation, review and editing.

## REFERENCES

- Ahmet, B. (2019). *Bursa Bölgesinde Faaliyet Gösteren Bazı Hayvancılık İşletmelerinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi*. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Almufadi, F. A., & Irfan, M. A. (2016). Initial Estimate of the Carbon Footprint of Qassim University, Saudi Arabia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8511-8514.
- Altınöz, E. (2019). *Karayollarında Üstyapı Tipinin Karbon Ayak İzi Etkisinin Araştırılması*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Atabey, T. (2013). *Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği*. Diyarbakır: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Ateş, F. (2021). *Bingöl Atıksu Arıtma Tesisi Karbon Ayak İzinin CCALC2 Ve GPS-X Yöntemine Göre Değerlendirilmesi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Ayan, N. (2019). *Muğla İlinde Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayakizinin Değişimi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Bahadıroğlu, M. (2021). *Life Cycle Assessment of Waste Management and Energy Consumption for a Restaurant*. İstanbul : İstanbul Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences .
- Bahçeci, D. (2013). *Kişisel Karbon Ayak İzi Rehberi*. İstanbul: Yeni İnsan Yayınevi.
- Birkan, İ. (2022, 06 6). *Küresel Isınma ve Karbon Ayak İzimiz*. Retrieved from <https://www.turkishnews.com/tr/content/wp-content/uploads/2014/08/KURESEL-ISINMA-VE-KARBON-AYAK-IZIMIZ.pdf>
- Çelik, H. A. (2020). *Konya İlinde Ulaşımın Kaynaklı Karbon Ayak İzi Ve Çevresel Fayda Maliyet Analizi*. Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Çerçi, M. (2021). *IPCC Tier 1 ve DEFRA Metodları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Örneği*. Erzincan: Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- DEFRA. (2020). *Department of Business, Energy & Industrial State*. Retrieved from GOV.UK: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>
- DEFRA. (2022). *Department of Business, Energy & Industrial State*. Retrieved from GOV.UK: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>
- Demirbaş, F. (2018). *Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi*. Erciyes: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Figueiro, P. S., & Raufflet, E. (2015). Sustainability in higher education: a systematic review with focus on management education. *Journal of Cleaner Production*, 22-33.
- Fındıkçı, H. (2016). *Life Cycle Assessment of Treatment Options for an Industrial Wastewater*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Global Climate Change*. (2023). Retrieved from Vital Signs of the Planet: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- GOV.UK. (2023). Retrieved from <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>
- Güereca, L. P., Torres, N., & Noyola, A. (2013). Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 396-403.

- Güller, S. (2018). *Muğla Eysel Atıksu Arıtma Tesisi Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi*. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Gürbüz, İ. (2019). *Life Cycle Assessment for Quartz Surface Production*. İzmir: Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Hakyemez, G. (2016). *Evaluating Environmental Impacts of a Solvent Recovery Unit in a Chemical Factory by Using Life Cycle Assessment*. Ankara: A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University.
- Hepdurgun, İ. (2019). *Life Cycle Assessment Application for Sustainable Transportation*. İzmir: Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Application Sciences.
- IPCC. (2006). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from IPCC: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Jayamani, E., Jie, T. J., & Bakri, M. K. (2021). Life Cycle Assessment of Sustainable Composites. *Advances in Sustainable Polymer Composites*, 245-265.
- Kumaş, K., Akyüz, A., Zaman, M., & Güngör, A. (2019). Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Ayak İzi Tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu Örneği. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 108-117.
- Kuzu, Ö. K. (2021). Comparison of Incineration and Autoclave Methods in the Treatment of Medical Wastes Through Life Cycle Assessment: A Case Study for Istanbul. *Environmental Research And Technology*, 157 - 164.
- Küçükkaraca, B. (2020). *Life Cycle Assessment in Wind Turbines*. İstanbul: İstanbul Technical University Graduate School of Natural and Applied Science.
- Larsen, H. N., Pettersen, J., Solli, C., & Hertwich, E. G. (2013). Investigating the Carbon Footprint of a University-The Case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 39-47.
- Letete, T. C., Mungwe, N. W., Guma, M., & Marquard, A. (2011). Carbon footprint of the University of Cape Town. *Journal of Energy in Southern Africa*, 2-12.
- Li, X., Tan, H., & Rakes, A. (2015). Carbon Footprint Analysis of Student Behavior for a Sustainable University Campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 97-108.
- Lo-Iacono-Ferreira, V., Torregrosa-López, J. I., & Salvador F. Capuz-Rizo. (2018). The Use Of Carbon Footprint As a Key Performance Indicator in Higher Education Institutions. *22nd International Congress on Project Management and Engineering*, 1291-1303.
- Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2011). *Life Cycle Analysis*. Sustainable Production and Consumption Publications - I.
- Muğla Sıtkı Koçman University . (2024, 01 03). *Muğla Sıtkı Koçman University* . Retrieved from <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/mugla-universitesi-gunes-enerjisi-tesisi.html>
- Official Gazette (Issue:29068). (22.07.2014). *Monitoring and Reporting Greenhouse Gas Emissions*.
- Official Gazette. (14 Mayıs 2018). *Ministry of National Defense Fuel Supply and Nato Pol Facilities Ministry of Operation Fuel Measurement, Stock, Waste Transactions and Fuel Quality Control Regulation*. Prime Ministry.
- Official Gazette. (2011, October 27). Lower Calorific Values of Energy Resources and Conversion Coefficients to Petroleum Equivalents. *Regulation on Increasing Efficiency in the Use of Energy Resources and Energy*. Prime Ministry. Retrieved from Resmi Gazete: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111027-5.htm>
- Our World in Data. (2024, 01 02). *Per capita CO<sub>2</sub> emissions*. Retrieved from Our World in Data: <https://ourworldindata.org/explorers/co2>
- Özçelik, G. (2017). *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü'nün Enerji ve Karbon Ayak İzi Açısından Değerlendirilmesi*. Çanakkale: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Özkaynak, A. (2020). *Ev-İş Yolculuklarına Bağlı Karbon Ayak İzinin Lojistik Model İle İncelenmesi: İstanbul İçin Bir Değerlendirme Çalışması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources. (2023). *Official Website of the Ministry of Energy and Natural Resources of the Republic of Türkiye*. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>
- Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources. (2023). *Official Website of the Ministry of Energy and Natural Resources of the Republic of Türkiye*. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>
- Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2022, 04 01). *Kyoto Protocol*. Retrieved from <https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363>

- Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2022, 04 10). *Paris Agreement*. Retrieved from <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>
- Rüstemoğlu, H. (2023). BRIC Ülkeleri ve Türkiye’de 1992-2018 Dönemi İçin Ekolojik Ayak İzi Dinamikleri: Ekolojik Denge ve Ayırıştırma Faktörü Analizleri. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 137-151.
- Sunturlu, Ö. (2017). *Turizm Sektöründe Faaliyet Gösteren Teknelerin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Fethiye Örneği*. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Sümer, G. Ç. (2014). Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 37-56.
- Şanlı, B., Bayraktar, S., & İncekara, B. (2017). Küresel İklim Değişikliğinin Etkileri ve Bu Etkileri Önlemeye Yönelik Uluslararası Girişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 201-212.
- Tükenmez, E. (2019). *Life Cycle Assessment (LCA) of Different Concrete Mixtures and a Application in a Green Building*. Ankara: A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University .
- Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2015). *Monitoring and Reporting Communiqué Monitoring Plan Guide*. Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Environmental Management, Department of Climate Change.
- Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2015). *Monitoring and Reporting Communiqué Monitoring Plan Guide*. Ankara: Republic of Türkiye Ministry of Environment and Urbanization General Directorate of Environmental Management Climate Change Department.
- Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2015). *Monitoring and Reporting Communiqué Sectoral Calculation Examples*. Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Environmental Management, Department of Climate Change.
- UNITROVE. (2022, 05 06). Retrieved from Natural Gas Density Calculator: <https://www.unitrove.com/engineering/tools/gas/natural-gas-density>
- Üçtüğ, G. (2017). Stakeholder Opinion-Based Comparison of Life Cycle Environmental Impacts of Electricity Generation in Türkiye with Selected European Countries. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislikler*, 178-198.
- Ünalı, G. (2016). *Yeşil Pazarlamada Karbon Ayak İzi Kavramının Değerlendirilmesi: Çorum İli'nin Dünya Üzerindeki Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Üzerine Bir Alan Araştırması*. Çorum: Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Üreden, A. (2019). *Sürdürülebilir Yaşam İçin Karbon Ayak İzi (Çankırı Karatekin Üniversitesi Örneği)*. Çankırı: Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Valls-Val, K., & Bovea, M. D. (2022). Carbon footprint assessment tool for universities: CO2UNV. *Sustainable Production and Consumption*, 791-804.
- Vásquez, L., Iriarte, A., Almeida, M., & Villalobos, P. (2015). Evaluation of Greenhouse Gas Emissions and Proposals for Their Reduction at a University Campus in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 924-930.
- World Wide Fund for Nature [WWF] Türkiye. (n.d.). Yaşayan Gezegen Raporu (2022). Switzerland: WWF International. Retrieved from <https://www.wwf.org.tr/>
- Yavuz, A. B. (2020). *Turizmde Karbon Ayak İzi: Beş Yıldızlı Otel Örneği*. Niğde: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Yüksel, Ş. B. (2017). *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Çalışanlarının Karbon Ayak İzi Saptaması*. Ankara: Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı Tıpta Uzmanlık Tezi.
- Zang, J. W., Martins, K. F., & DaFonseca-Zang, W. A. (2018). Life Cycle Inventory For Biomethane As a Diesel Substitute For The Brazilian Ethanol Industry-Case Study. *Energy Procedia*, 444-449.

## Engelli Bireyler İçin Kentsel Tarihî Alanlarda Erişilebilirliği Arttırmaya Yönelik Peyzaj Tasarım Yaklaşımları: Göbeklitepe Ören Yeri (Şanlıurfa) Örneği

Necmettin GÜR<sup>1</sup>, Özgür KAHRAMAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye*

<sup>2</sup>*Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye*

*Geliş: 07.01.2024, Kabul: 07.03.2024, Yayınlanma: 30.06.2024*

### ÖZ

Engellilik, bir etkinliğin veya fiilin gerçekleştirilmesi için bireyin herhangi bir yönden kısıtlanmış olması durumudur. Kentsel yaşam içerisinde toplumun bütün bireylerinin kamusal veya özel tüm yapı ve alanlara eşit derecede ulaşabilir ve erişebilir olması gerekir. Aynı zamanda kentsel yaşamın önemli birer parçası olan tarihî alanlar da tıpkı kentsel diğer alanlar gibi ulaşılabilir ve erişilebilir olması gerekmektedir. Bundan dolayı kentsel tarihî alanların peyzaj tasarım ve planlamalarında engelsiz peyzaj yaklaşımları ve erişilebilirlik temel esası benimsenmelidir. Bu çalışmada engelli bireyler için kentsel tarihî alanlarda erişilebilirliğini arttırmaya yönelik peyzaj tasarım yaklaşımları sunmak amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak da Göbeklitepe Ören Yeri örnek alan seçilmiş ve engelsiz peyzaj yaklaşımları ve erişilebilirlik açısından incelemiştir. Literatür taraması ile engelsiz peyzaj yaklaşımları ve erişilebilirliğin sağlanması için gerekli standartlar belirlenmiştir. Daha sonrasında ören yeri alanı belirlenen standartlar çerçevesinde yürüyüş yolları ve zemin elemanları, hissedilebilir yürüme yüzeyleri, rampalar, merdivenler, aydınlatma elemanları, oturma elemanları, işaret-bilgilendirme araçları ve çöp kutuları, bitkisel materyal başlıkları altında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme ve incelemelerin ardından ören yerinin GZFT (SWOT) analizi yapılmış ve sonuç olarak alanın erişilebilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımları açısından önemli derecede eksikliklerinin bulunduğu ve bu noktada önlem ve düzeltmelere ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Alan üzerinde belirlenen eksiklikler ve düzeltme ihtiyaçları belirlendikten sonra alan için önlemler sıralanmış, tarihî alanlar için de engelsiz peyzaj yaklaşımları ve erişilebilirlik adına önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Engelli; Erişilebilirlik; Engelsiz Peyzaj Tasarımı; Göbeklitepe; Şanlıurfa

## Landscape Design Approaches to Increase Accessibility in Urban Historic Areas for Disabled Individuals: The Case of Göbeklitepe Ruins (Şanlıurfa)

### ABSTRACT

Disability is a condition in which an individual is restricted in any way for the realization of an activity or act. In urban life, all members of the society should be equally accessible and accessible to all public or private buildings and areas. At the same time, historical areas, which are an important part of urban life, should be accessible and accessible just like other urban areas. Therefore, barrier-free landscape approaches and accessibility should be adopted in landscape design and planning of urban historical areas. In this study,

it is aimed to present landscape design approaches to increase accessibility in urban historical areas for disabled individuals. For this purpose, Göbeklitepe Ruins was selected as a sample area and analysed in terms of barrier-free landscape approaches and accessibility. The standards required for barrier-free landscape approaches and accessibility were determined through literature review. Afterwards, the archaeological site area was evaluated separately under the headings of walkways and ground elements, sensible walking surfaces, ramps, stairs, lighting elements, seating elements, sign-information tools and garbage bins, vegetative material within the framework of the determined standards. After the evaluations and examinations, a SWOT analysis of the archaeological site was made and as a result, it was determined that the site has significant deficiencies in terms of accessibility and barrier-free landscape approaches and needs measures and corrections at this point. After the deficiencies and correction needs were determined, measures were listed for the site and suggestions were made for barrier-free landscape approaches and accessibility for historical sites.

**Keywords:** Disability; Accessibility; Barrier-Free Landscape Design; Göbeklitepe; Şanlıurfa

## 1. GİRİŞ

Engellik, insanların doğuştan gelen veya sonradan edinilen herhangi bir nedene bağlı bedensel, zihinsel, ruhsal, duyuşsal ve sosyal yeteneklerini çeşitli derecelerde kaybetmesiyle ortaya çıkan ve yaşamsal ekinliklerini yerine getirmesini sınırlandıran kısıtlılıklar olarak tanımlanabilir (Işık Afacan, 2023). Engellik durumu ve engelli sınıflandırması vücuttaki engelden ve diğer nedenlerden kaynaklı olarak çeşitlilik gösterebilir. Bunlar; görme engelli, bedensel (ortopedik) engelli, işitme engelli, dil ve konuşma engelli, zihinsel engelli ve diğer engelli (sürekli bakım ve tedaviye ihtiyaç duyan, yaşlılar, hamileler ve geçici engelliler) şeklinde 6 ayrı başlıkta sınıflandırılabilir (Kuru Aktürk ve Ekim, 2023). Kentsel yaşam içerisinde engelli olarak sınıflandırılan insanlar sosyal hayata veya mekân kullanımına uyum sağlamakta zorluk yaşayabilirler. Bu tarz zorlukların yaşanmaması ve toplumun bütün bireylerinin kentsel yaşamda eşit derecede yaşayabilmesi için erişilebilirlik tanımı karşımıza çıkmaktadır. Erişilebilirlik, fiziki açıdan bakıldığında toplumun tüm bireylerinin başkalarının yardımı olmadan toplumsal yaşama dahil olabilmeleri, güvenli olarak kamusal alanlara ve kamu hizmetlerine ulaşabilmeleri şeklinde tanımlanabilir (Marín-Nicolás ve Sáez-Pérez, 2022). Kentsel alanlarda engelli bireylerin toplumun tüm kesimleri ile bu alanların tamamına erişilebilirliğinin eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle kentsel alanlarda engelsiz peyzaj tasarım yaklaşımlarına ve erişilebilirliğine son derece önem verilmesi gerekir (Koç ve Koç, 2022). Kentsel alanlardaki farklı kullanım alanlarında erişilebilirlik, ulaşılabilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımları adına dünyada yoğun çalışmalar olduğu görülmektedir. Feyzioğlu (2012) bedensel engellilere yönelik kentsel peyzaj tasarım ilkeleri ışığında Ankara ili Kızılay meydanı ve ilişkili caddelerini engelsiz peyzaj tasarım standartları ve peyzaj tasarım ilkeleri doğrultusunda incelemiştir. Çalışmasında yaya kullanımlarında yaya yolu genişlikleri ve kaldırım yüksekliklerinin standartlara uymadığını, hissedilebilir yürüme yüzeylerinin yetersizliğini ve otobüs duraklarındaki engelliler için yükseltilmiş platformların olmadığını belirlemiş ve bu konuda öneriler getirmiştir. Çetinkale Demirkan (2019) engelsiz çocuk oyun alanlarının engelli çocuklar tarafından kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmasında; Ankara ve Adana illerinin farklı ilçelerinde yer alan 4 farklı çocuk oyun parkını incelemiştir. Engelsiz park kavramı altında yapılan bu parkların inceleme kriterleri dahilinde yetersiz olduğunu ifade etmiş ve gerekli iyileştirmeler için önermelerde bulunmuştur. Çocuk oyun alanlarının, çocukların gelişim dönemlerinde önemli rol oynadığını ve gerek fiziksel gerekse psikolojik açıdan etkin olduklarını belirtmiştir. Tüm peyzaj alanlarında olduğu gibi yaş veya cinsiyet fark etmeksizin engelli bireylerin bu tarz alanlardan eşit derecede yararlanmasının toplumsal eşitliğin temelini oluşturduğundan bahsetmiştir. Özkaraca ve İnceoğlu (2021) erişilebilirlik standartları dahilinde Düzce Üniversitesi merkez kampüsünü değerlendirdikleri çalışmada rampa ve merdiven tırabzanları, yapı girişleri, işaret ve yönlendirme elemanları gibi alanlardaki eksiklikleri tespit etmişler ve bunların giderilebilmesi için erişilebilirlik planı hazırlayarak, önerilerde bulunmuşlardır. Kentsel alanlardaki farklı kullanım alanlarında

erişilebilirlik, ulaşılabilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımları adına yapılan bu çalışmalara karşın kentsel tarihî alanlar için aynı derece yoğun çalışmaların söz konusu olmadığı görülmektedir (Kejanlı vd., 2023). Kentsel yaşam içerisinde yer alan ve tarihî öneme sahip sit alanları, ören yerleri ve doğal alanlar geçmişten günümüze dek gelen süreçte önemli bilgi, kültür ve gelenek aktarımı sağlayan yapılardır. Bu tarz alanlar etkili birer turizm alanı olması yanında kent yaşamının da bir parçasıdır Kentlerin bir parçası olan tarihî alanlar turizm açısından çok önemlidir. Tarihî alanlar kent içi istihdamın artırılması ve turist sirkülasyonunun geliştirilmesi yönünden ekonomiye ciddi katkılar sunmaktadır. Kentsel tarihî alanların peyzaj düzenlemelerinde engelsiz peyzaj düzenlemeleri ve erişilebilirliğinin uygun yapılması alan ziyaretleri yönünden toplumsal eşitlik sağlarken, ziyaretçi sayısında da artış sağlayabilir. Aynı zamanda tarihî turizm alanlarının kalitesi de artırılabilir (Gür ve Erduran Nemutlu, 2021).

Bu çalışma engelli bireyler için kentsel tarihî alanlarda erişilebilirliğini arttırmaya yönelik peyzaj tasarım yaklaşımları sunmak amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda Göbeklitepe Ören Yeri erişilebilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımları adına belirlenen standartlar ölçeğinde incelenmiş ve eksiklikleri belirlenmiştir. Örnek alan üzerinden tarihî alanlarda erişilebilirliği arttırmaya ve engelsiz peyzaj yaklaşımlarını geliştirmeye yönelik önerilerde bulunulmuştur.

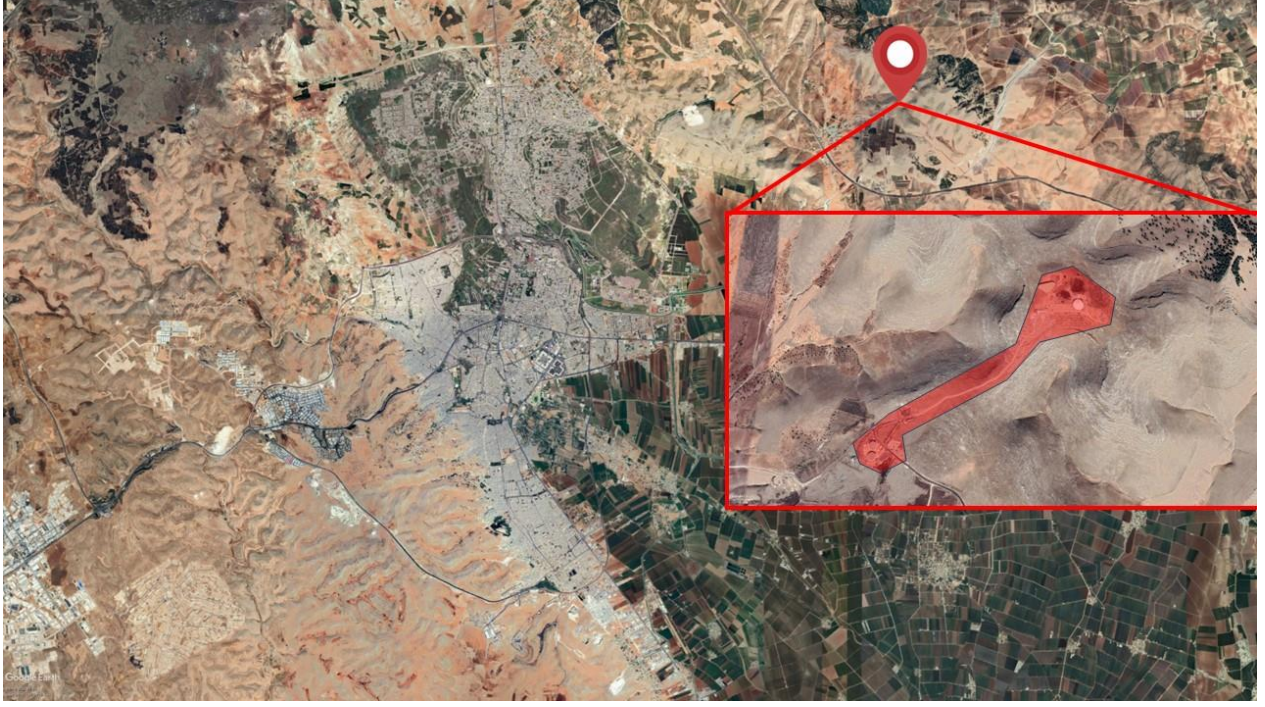
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Şanlıurfa; Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde yer alan, Gaziantep, Adıyaman, Diyarbakır, Mardin illeri ve Suriye ile komşu, tarım alanları ve tarihî mekânları ile önemli tarım ve turizm merkezi kentlerden birisidir (Şekil 1) (Yurddaş, 2022). Kent sınırları içerisinde yer alan Göbeklitepe Ören Yeri tarihî alanı çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1: Şanlıurfa kent merkezi (Google Earth Pro'dan değiştirilerek, 2023; Vikipedi, 2023a; Vikipedi, 2023b; Vikipedi, 2023c)





Şekil 2: Çalışma alanı Göbeklitepe Ören Yeri (Google Earth Pro'dan değiştirilerek, 2023)

Göbeklitepe Ören Yeri; Şanlıurfa ilinin Haliliye merkez ilçesine bağlı Örencik köyü yakınlarında ve deniz seviyesinden yüksekliği 732 m'dir. Göbeklitepe arkeolojik kalıntıları da bu alanda yer almaktadır. Göbeklitepe, geçmişi 12000 yıl öncesine dayanan ve avcı-toplayıcı insanlar tarafından inşa edilmiş bir tapınak olarak tanımlanmaktadır. Göbeklitepe yapı olarak açıklığı 10 ila 30 metre arasında değişen ve toplamda 20 adet dairesel yapıdan oluşmaktadır. Bu dairesel yapıları ilginç kılan özelliği ise çeşitli hayvan ve soyut kavramların yer aldığı kabartmaların olduğu T şekilli sütunlarıdır. Sütunlar dairesel alanların merkezinde iki adet olacak şekilde yaklaşık 200 kadardır (Şekil 3) (Özalp, 2016).



Şekil 3: Göbeklitepe arkeolojik kalıntıları (Orijinal, 2023)



Çalışmanın üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada peyzaj tasarım alanlarında engelsiz tasarım ve erişilebilirlik ile ilgili gerekli standartlar ve uyulması gereken yönergeler için tezler, kitaplar, makaleler, projeler vb. literatür kaynakları taranmıştır. Literatür taraması sonucunda farklı başlıklar altında gerekli tasarım standartları belirlenmiş ve listelenmiştir. İnceleme başlıkları ve standartlar için kullanılan literatür kaynakları Çizelge 1’de belirtilmiştir.

**Çizelge 1.** Engelsiz peyzaj tasarımları ve erişilebilirlik için inceleme başlıkları ve standartlar için kullanılan literatür.

<b>İnceleme Başlıkları</b>	<b>Standart Kaynakları</b>
Yürüyüş Yolu ve Zemin Elemanları	<ul style="list-style-type: none"><li>• TSE-12579, 1999</li><li>• Yüce Eşkil, 2011</li><li>• Arslan, 2020</li></ul>
Hissedilebilir Yürüme Yüzeyleri	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koç, 2021</li><li>• Bolat, 2022</li><li>• Çakar, 2022</li></ul>
Rampalar	<ul style="list-style-type: none"><li>• TSE-9111, 2011</li><li>• Alkan Meşhur, 2013</li><li>• Türkyılmaz ve İskender, 2018</li><li>• Kamer Aksoy ve Köşe, 2022</li></ul>
Merdivenler	<ul style="list-style-type: none"><li>• TSE-9111, 2011</li><li>• Koç, 2020</li><li>• Topraklı, 2020</li></ul>
Aydınlatma Elemanları	<ul style="list-style-type: none"><li>• TCASB, 2011</li><li>• Öter, 2018</li><li>• Gülgün Aslan ve Ünal Ankaya, 2020</li></ul>
Oturma Elemanları	<ul style="list-style-type: none"><li>• TCASB, 2011</li><li>• TSE-7941, 2012</li><li>• Olgun, 2019</li></ul>
İşaret-Bilgilendirme Araçları ve Çöp Kutuları	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mankan, 2019</li><li>• Pouya, 2022</li></ul>
Bitki Materyali	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yılmaz vd., 2013</li><li>• Çelik vd., 2015</li><li>• Öter, 2018</li></ul>

İkinci aşamada, arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanları yerinde incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Arazi çalışması sırasında literatür taraması ile belirlenen standart ve yönergeler alandaki her bir birim ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Karşılaştırma sonrasında standartlara uymayan ve erişilebilirliği kısıtlayan canlı veya cansız materyaller listelenmiştir.

Üçüncü ve son aşamada ise alan için tasarımsal açıdan GZFT (SWOT) analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları ve alanda belirlenen eksiklikler göz önüne alınarak örnek alan da dâhil olmak üzere tarihi alanlarda erişilebilirlik ve engelsiz peyzaj tasarımları için önerilerde bulunulmuştur.

### 3. BULGULAR

Çalışma ilk aşamasında peyzaj alanlarında, uygulama, tasarım ve planlamalarında erişebilirlik ve engelsiz yaklaşımlar için Türkiye'deki ilgili yönetmelik ve standartlar literatür taraması sonucu belirlenmiştir. İlgili standartlar; yürüyüş yolu ve zemin elemanları, hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri, rampalar, merdiven uygulamaları, aydınlatma elemanları, oturma elemanları, işaret-bilgilendirme araçları ve çöp kutuları, bitki materyalleri açısından ayrı ayrı başlıklar altında listelenmiş ve değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Yürüyüş yolu ve zemin elemanları:

Literatür taraması sonucunda yürüyüş yolları ve zemin elemanları kullanımları ile ilgili ülkemizde uyulması gereken standartlar belirlenmiş ve listelenmiştir. Bu standartlar şu şekilde sıralanmaktadır;

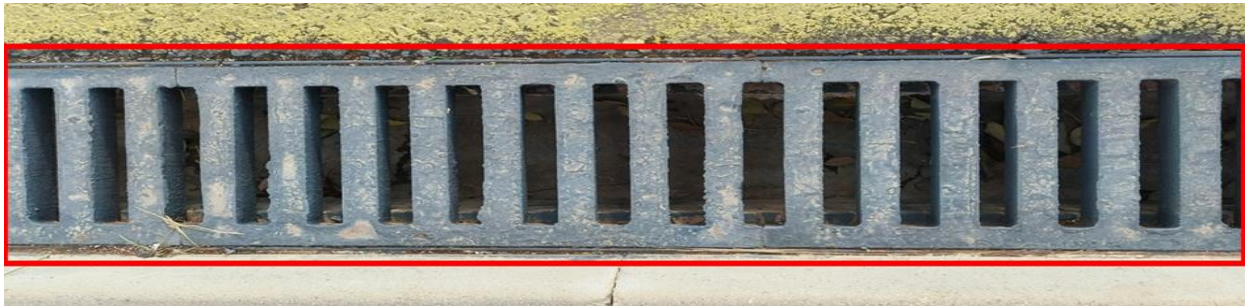
- Yürüyüş yolları ve kaldırımlar 200 cm ve 300 cm arasında olmalıdır.
- Tüm zemin kaplama malzemeleri düz, sabit ve dayanıklı olmalıdır. Ayrıca ıslaklık ve kuruluk durumunda zemin kaplaması kaydırmamalı, ışığı yansıtılmamalı ve hareket kabiliyetini zorlaştırmamalıdır. Eğer parçalı yapıda zemin malzemesi kullanılacaksa derz aralıkları 0.5 cm'den küçük olmalıdır.
- Zemin ile bütünleşik olan ızgara, rögar kapağı gibi alt yapı elemanları; zemin seviyesi ile kot farkı oluşturmamalıdır. Yağmur suları için kullanılan ızgaraların ise ızgara açıklığı 13 mm'yi geçmemelidir.
- Yürüyüş yollarında görme engelli kullanıcılar için yönlendirme amaçlı en az 3 cm yüksekliğinde bordürler kullanılmalıdır.
- Zemin kaplama malzemelerinde veya zemin kot düzeyindeki değişiklikleri belirtmek amacıyla bu tür alanlara yaklaşırken, kaplama malzemelerinde doku değişikliği yapılarak özellikle görme engelli kullanıcılar için uyarıcı hale getirilmelidir.

Zemin elemanları standartları dikkate alınarak Göbeklitepe Ören Yeri incelendiğinde, alandaki yürüyüş yolları ve kaldırımlar standartlara uygun genişliktedir. Ancak zemin kaplamalarında kullanılan malzemelerin tamamı düz yapıya sahip değildir. Ören yeri alanında 8 farklı zemin kaplama materyali kullanıldığı tespit edilmiştir. Tespit edilen zemin kaplama materyalleri Şekil 4'te belirtilmiştir.



**Şekil 4:** Göbeklitepe Ören Yeri'nde tespit edilen zemin kaplama malzemeleri. A) Ahşap travers, B) Asfalt beton, C) Bitümlü sıcak zemin asfalt, D) Geçmeli ahşap, E) Kesme parke taşı, F) Mıdır, G) Microsurfing asfalt, H) Sarı renkli mermer (Gür ve Sağlık, 2024)

Ahşap travers, geçmeli ahşap ve kesme parke taşı zeminler düz yüzeye sahip olmayan zeminlerdir ve bunların içinde sadece geçmeli ahşap zemin standartlarda belirtilen standart derz aralıklarına uygun yapıdadır. Özellikle kesme parke taşı ve ahşap travers zemin kaplamaları standartlara uygun olmamasına rağmen alanda çok sıklıkla kullanıldığı göze çarpmaktadır. Diğer düz yüzeye sahip zemin kaplama materyallerinden sadece sarı renkli mermer zemin yağışlı zamanlarda kayganlık riskinden dolayı standartlara uygun değildir. Alandaki yağmur suyu drenajı yol ve kaldırım kenarlarındaki bordürler, rögar kapakları ve zeminle bütünleşik ızgara yapıları ile sağlanmaktadır. Tüm drenaj elemanları zemin seviyesi kota sahip olduklarından dolayı standartlara bu yönden uymaktadır. Ancak yağmur suları için kullanılan ızgaraların ızgara açıklıkları 13 mm'yi geçmekte ve standartlara uymamaktadır (Şekil 5).



**Şekil 5:** Izgara açıklığı ile standartlara uymayan yağmur suyu drenaj ızgaraları (Orijinal, 2023)

Zemin kaplama malzemelerinde veya zemin kot düzeyindeki değişikliklerin standartlara uygun şekilde olduğu belirlenmiştir.

### **3.2. Hissedilebilir yürüme yüzeyleri:**

Hissedilebilir yürüme yüzeyleri kullanımları ile ilgili ülkemizde uyulması gereken standartlar belirlenmiş ve listelenmiştir. Bu standartlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Öncelikli olarak hissedilebilir yürüme yüzey işaretleri yerine, gerekli koşulların sağlanması halinde bordür taşı kullanılarak takip ve yönlendirme sağlanmalıdır.
- Türkiye’de hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri standartlarında uyarıcı ve kılavuz yüzey olmak üzere iki tip yüzey belirtilmiştir.
  - Kılavuz yüzey; yürüyüş doğrultusunu belirtmek veya iki nokta arasındaki yönlendirmeyi sağlamak amacıyla kullanılır. 30x60 cm ölçülerindedir. Kılavuz çıkıntıları 4-5 mm yüksekliğindedir. Kılavuz yüzeyler ızgara gibi yatayda; tabela, direk, kolon gibi alanlar ile kesintiye uğramamalıdır. Mümkün olan en kısa güzergâh kullanılmalıdır.
  - Uyarıcı yüzey; yalnızca belirli bir karar noktası veya tehlikeye dikkat çekmek için kullanılmalıdır. Uyarıcı yüzeylerin noktasal çıkıntıları 4-5 mm yüksekliğinde olmalıdır. Rampa başlangıcı ve bitişlerinde hissedilebilir yürüme yüzeyi işareti kullanılmamalıdır. Merdivenlerde de merdiven başlangıcı ve bitiminde kullanılmalıdır. Uyarıcı yüzey, merdivenlerin başlangıç noktasından 30 cm önce, sonrasında ise 60 cm derinliğinde olmalıdır. Sahanlıklarda ise derinliği 210 cm’den fazla olanlarında kullanılmalıdır.

Göbeklitepe Ören Yeri alanında hissedilebilir yürüme yüzeyi açısından hiçbir zemin yapısının olmadığı görülmüştür. Bu noktada alanın çok büyük eksikliği olduğu tespit edilmiştir.

### **3.3. Rampalar:**

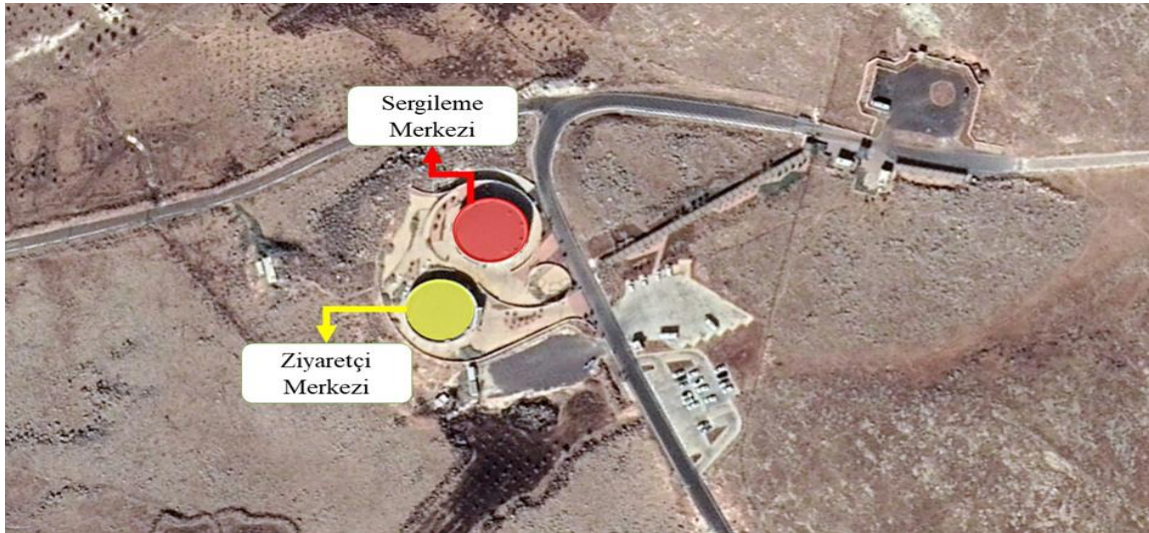
Rampalar ve rampa kullanımları ile ilgili ülkemizde uyulması gereken standartlar belirlenmiş ve listelenmiştir. Bu standartlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Bir alanda iki veya daha fazla zemin arasında 13 mm’den fazla kot farkı için rampa uygulaması yapılmalıdır.
- 15 cm ve aşağısındaki yükseklik için eğim en fazla %8, 16 cm ve 50 cm arasındaki yüksekliklerde en fazla %7, 51 cm ve 100 cm arasındaki yükseklikte %6 ve 101 cm üzerindeki yüksekliklerde eğim en fazla %5 olmalıdır.
- Rampalarda net genişlik; Koruma bordürü ve tirabzan gibi donanımları hariç en az 100 cm ölçüsünde olmalıdır. Rampaların başında ve sonlarında 150x150 cm hareket alanı olmalıdır. Rampalarda, rampa uzunluğunun 9 mm’nin üzerinde olması halinde dinlenme sahanlığı

bulunmalıdır. Dinlenme sahanlığı en az 250 cm ölçüsünde olmalıdır ve bu sahanlıkta bir bank bulunmalıdır.

- Rampalarda ve sahanlıkların kenarlarında koruma bulunmuyorsa, en az 5 cm yükseklikte bordür uygulaması yapılması gerekir.
- Rampa uzunluğunun 2 m'den fazla olması veya rampa ile aşılacak yüksekliğin 15 cm'den fazla olması durumlarında ise rampanın her iki tarafında korkuluk bulunmalıdır. Korkuluk kullanılmayacaksa, korkuluk gerektirmeyecek şekilde duvar veya parapet bulunmalıdır.
- Rampalardan her iki tarafında 90 cm yüksekliğinde birinci düzey ve 70cm yüksekliğinde ikinci düzey küpeşte yer almalıdır. Rampalardaki küpeşte 30 cm önce başlamalı ve rampa bitiminden 30 cm sonrasına kadar devam etmelidir.
- Az görme yetisine sahip engelli bireyler için korkuluklar veya küpeştelerin rengi bulunduğu yüzeyin renginden zıt olacak şekilde farklı olmalıdır.

Ören yeri alanında yüksek derece eğimli bölgelerin bulunmadığı ve peyzaj düzenlemesi yapılmış ziyarete açık alanlarda da rampaya ihtiyaç duyulacak derece kot farklarının çok olmadığı görülmüştür. Fakat bu durum ören yeri alanında rampa uygulaması yapılmasının gerekli olduğu alanların da olmadığı anlamına gelmemektedir. Ören yeri alanının girişinde iki yapı bulunmaktadır. Bunlardan birisi ziyaretçi merkezi binası diğeri ise sergileme merkezi binasıdır (Şekil 6).



Şekil 6: Ören yeri alanı girişindeki Ziyaretçi ve Sergileme Merkezi yapıları

Ziyaretçi merkezi girişi ile diğer ulaşım aksları arasında standartlarda rampa yapılmasını gerektirecek yükseklikte kot farkı bulunmadığından bu alanda rampa uygulaması bulunmamaktadır. Ziyaretçi merkezi yapısı ile sergileme merkezi yapısı arasında kot farkı bulunmaktadır. Sergileme merkezi kot olarak daha



yüksekte bulunmakta ve yapıya giriş merdiven ile sağlanmaktadır. Sergileme merkezi binasına girişi sağlayan bölümde rampa uygulamasının yapıldığı tespit edilmiştir. Burada gözlemlenen rampa uygulamasının eğiminin standartlarda belirtilen ölçülere uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak rampa uygulamasının kenarlarında koruma ve korkuluk bulunmamaktadır. Standartlarda böyle bir durumda rampa uygulamasında bordür uygulaması bulunması gerektiği belirtilmiştir. Buna rağmen sergileme merkezi önündeki rampa uygulamasında bordür uygulamasının da olmadığı görülmüştür. Ayrıca rampa ve sahanlıklardaki zemin malzemesinin kaygan yapıda olmasına karşı eğimli olan bu yüzeylerde kaymayı engelleyecek yapı ve önlemlerinde olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 7).



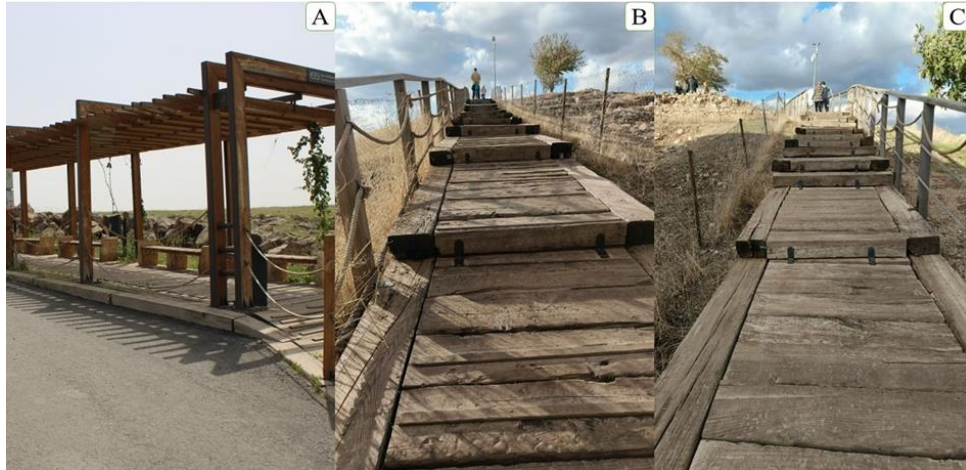
**Şekil 7:** Sergileme merkezi binası önündeki rampa uygulaması (Orijinal, 2023)

Alanda rampa uygulamasına sahip diğer bir mekân ise Göbeklitepe arkeolojik kalıntıların bulunduğu alandır. Geçmeli ahşap zemin kaplama malzemesine sahip bu uygulama Tablo 'de belirtilen standartlara uymakta, gerekli korkuluk yapısına sahip ve kaygan özellikte olmayan zemin kaplama malzemesine sahiptir (Şekil 8).



Şekil 8: Göbeklitepe arkeolojik kalıntılarının bulunduğu alandaki rampa uygulaması (Orijinal, 2023)

Arkeolojik kalıntıların bulunduğu alanın da dış çevresini dolaşan sirkülasyonda ihtiyaç duyulmasına karşın rampa uygulaması gözlemlenmemiştir. Bu sirkülasyonda kazı işlemleri devam eden diğer alanlar ve ören yerinde bulunan bir anıt ağaç alanına ulaşılmaktadır ve ören yeri buradan daha geniş açığa sahip bir manzaraya sahiptir. Dolayısıyla bu sirkülasyon ağında da rampa uygulamasının yapılmış olması gerekmektedir. Ayrıca Ören yeri girişindeki sergileme ve ziyaretçi yapıları ile arkeolojik buluntuların bulunduğu alan arasındaki bağlantıyı sağlayan servis güzergahının bekleme alanında da standartlar dahilinde rampa uygulaması yapılması gerekmektedir. Ancak bu alanda da herhangi bir rampa uygulaması bulunmamaktadır (Şekil 9).



Şekil 9: Rampa uygulaması yapılması gereken ama yapılmayan alanlar A) Servis bekleme alanı, B) Arkeolojik buluntu dış çevresi sirkülasyonu C) Arkeolojik buluntu dış çevresi sirkülasyonu (Orijinal, 2023)

### 3.4. Merdivenler:

Göbeklitepe Ören Yeri yürüyüş yolları ve zemin kaplamaları, hissedilebilir yürüme yüzeyi ve rampa uygulamalarının incelenmesinden sonra merdiven yapıları açısından da incelenmiştir. Merdiven yapıları ve uygulamaları ile ilgili ülkemizde uyulması gereken standartlar belirlenmiş ve listelenmiştir. Bu standartlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Merdivenler yandan yaklaşmayı sağlayabilecek şekilde yürüyüş yönüne dik olacak biçimde tasarlanmalıdır.
- Merdiven uygulamalarında tüm basamakların derinlikleri ve yükseklikleri aynı olmalıdır.
- Dış mekânlardaki merdivenlerde basamak derinliği en az 30 cm basamak yüksekliği ise en fazla 15 cm olmalıdır.
- 180 cm üzerinde kot farklılığı bulunan merdivenlerde 12 basamakta bir sahanlık bulunmalıdır.
- Parklarda uygulanan merdivenlerin genişliği en az 180 cm olmalıdır.
- Merdiven uygulamalarının başlangıcında ve bitiminde görme engelliler için hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri bulunmalıdır.
- Merdivenlerin basamaklarının uçları damlalıksız olmalıdır. Basamak uçlarında, basamak uzunluğu boyunca ve 2.5 cm ene sahip kaydırmaz şerit uygulaması yapılmalıdır.
- Merdiven uygulamalarının her iki tarafında da 90 cm yüksekliğinde birinci düzey ve 70 cm yüksekliğinde ikinci düzey küpeşte bulunmalıdır. Küpeşte tıpkı rampa uygulamalarındaki gibi 30 cm önce başlamalı ve merdiven bitiminden 30cm sonrasına kadar devam etmelidir.
- Az görme yetisine sahip engelliler için korkuluk ve küpeşterin rengi bulunduğu yüzeyin renginden zıt olacak şekilde farklı olmalıdır.

Alandaki tüm merdiven yapıları yaklaşmayı sağlayacak biçimde yürüyüş yoluna dik olacak biçimdedir. Tüm merdivenlerde basamak derinliği en az 30 cm, yüksekliği ise en fazla 15 cm olacak şekilde standart ölçülere uygun biçimdedir. Ören yeri alanındaki merdiven yapılarının basamaklarında sadece sergileme merkezi önündekilerde damlalık bulunmaktadır, geriye kalan merdiven yapılarında damlalık bulunmamakta ve standartlara uygun yapıdadır. Merdivenlerde bulunması gereken kaydırmaz şerit uygulaması da sadece sergileme merkezi binası önündeki merdiven yapısında mevcuttur. Ören yeri alanındaki farklı merdiven yapılarının örnekleri Şekil 10'da belirtilmiştir.





**Şekil 10:** Ören yeri alanındaki farklı merdiven yapılarının örnekleri A) Amfi tiyatro, B) Arkeolojik buluntu dış çevresi sirkülasyonu, C) Sergileme merkezi binası, D) Arkeolojik buluntu alanı (Orijinal,2023)

Standartlarda belirtilen merdivenlerdeki küpeşte uygulaması standartları sadece arkeolojik buluntu alanı ve arkeolojik buluntu dış çevresi sirkülasyonunda bulunan merdiven yapılarında mevcuttur. Bu alanlardaki merdiven sahip oldukları küpeşte uygulamaları ile standartlara uysa da küpeştelerin az görme yetisine sahip bireyler için zeminden farklı renkte ve yapıda olması gerekliliği yönünden standartlara uygun değildir. Tüm ören yeri alanındaki merdiven yapılarının hiçbirinin başlangıç ve bitişinde hissedilebilir yürüme yüzeyi bulunmamaktadır.

### **3.5. Aydınlatma elemanları:**

Aydınlatma elemanlarının yapısal ve kullanım standartları literatür taraması ile belirlenmiştir. Belirlenen standartlar;

- Aydınlatma elemanları yürüyüş yolu ve kaldırımlarda genişlik ve hareket alanını kısıtlamadan geçişi engellemeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Yol üzerinde ve yaya yolunda kullanılan aydınlatma elemanlarının yüksekliği en az 220 cm olmalıdır.
- Engelli kullanıcıların güvenliği açısından rampa ve merdiven girişleri gibi yürüyüş yollarıyla ani şekilde kesilen alanların aydınlatmaları çok önemli olduğu için bu tür alanlardaki aydınlık düzeyi özellikle dikkate alınmalıdır.
- Aydınlatma elemanları; yaya yollarında 3 ila 4 m yüksekliğinde, sokaklarda 4.5 m ila 6 m yüksekliğinde caddelerde 7 ila 9 m yüksekliğinde ve ana yollarda 10 ila 12 m yüksekliğinde olmalıdır.

- Işık şiddetinin ayarlanması az görme yetisine sahip engelli bireylerin çevrelerindeki mekânları rahat bir şekilde algılayabilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle ışık şiddetinin artırılması fayda sağlayacaktır.

Göbeklitepe Ören Yeri alanı akşam kullanıma kapalı olduğu için alandaki aydınlatma elemanları ziyaretçilerden ziyade güvenlik amacıyla kullanılmaktadır. Buna rağmen alandaki aydınlatma elemanları yürüyüş yollarını ve kaldırımları kısıtlamayacak şekilde, geçişi engellemeyecek biçimdedir. Led spotlar kullanılarak aydınlatılan alanda bütün aydınlatmaların yükseklikleri standartlarda belirtilen asgari yüksekliğin üzerinde olup tamamı engelli bireyler için belirtilen standartlara uygundur (Şekil 11).



Şekil 11: Göbeklitepe Ören Yeri aydınlatma elemanı (Orijinal, 2023)

### 3.6. Oturma elemanları:

Oturma elemanlarının yapısal ve kullanım standartları literatür taraması ile belirlenmiştir. Belirlenen standartlar;

- Kentsel dış mekânlarda kullanılan oturma elemanları yayaların serbest geçişine engel teşkil etmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Oturma elemanları her 30 m de bir konumlandırılmalıdır.
- Tekerlekli sandalye kullanıcıları için oturma elemanlarının yanında 120x120 cm olacak şekilde alan bırakılmalıdır.
- Bankların oturma bölümlerinin yerden yüksekliği 40 ila 48 cm, oturma derinliğinin ise 30 ila 45 cm olması gerekmektedir.
- Oturma yüzeylerinde oturma eylemine engel olmayacak türde malzemeler kullanılmalıdır. Oturma yüzeyleri 3 ila 5 derece açığa sahip olmalıdır. Oturma elemanlarının sırt dayama bölümleri gerekli konforu sağlayacak şekilde uygun ergonomide olmalıdır.

- Otururken ya da kalkarken destek sağlaması amacıyla oturma yüzeyinden 21.5 cm ile 22.8 cm yukarıda kol destek elemanı bulunmalıdır.

Alandaki oturma elemanlarının ziyaretçilerin serbest geçişine engel teşkil etmeyecek şekilde olduğu tespit edilmiştir. Oturma elemanlarının tamamı tekerlekli sandalye kullanıcıları için gerekli olan 120x120 cm'lik boş yan alana sahiptir (Şekil 12).



Şekil 12: Ören yeri alanındaki oturma elemanları ve boş yan alanları (Orijinal, 2023).

Oturma elemanları 45 cm yüksekliğe sahip olup standartlarda belirtilen ölçü aralıklarında ve standartlara uygun biçimdedir. Aynı şekilde oturma derinliği ise 30 cm'lik ölçüsü ile standartlara uygundur (Şekil 13).



Şekil 13: Oturma elemanı ölçüleri (Orijinal, 2023).



Oturma elemanlarının oturma yüzeylerinin eğimlerinin standartlara uygun olmasının yanında sırt dayama bölümlerinin olmaması ve kol dayama elemanlarının olmaması yönünden standartlara uygun değildir.

### **3.7. İşaret-bilgilendirme araçları ve çöp kutuları:**

İşaret ve bilgilendirme araçlarının yapısal ve kullanım standartları literatür taraması ile belirlenmiştir.

Belirlenen standartlar;

- İşaret ve bilgilendirme araçları konumlandırılırken görsel erişimi kesmeyecek şekilde olmasına dikkat edilmelidir.
- Alan kullanıcılarının geçişini engellemeyecek şekilde olmalıdır. Yola uzanan veya yol üzerinde yer alan işaret ve bilgi araçlarının çarpma tehlikesi oluşturmayacak şekilde yerden yüksekliği en az 220 cm olmalıdır.
- İşaret ve levhaların içerdiği semboller zıt renkteki zemin üzerinde basit, okunaklı ve açıkça anlaşılır şekilde olmalıdır.
- Uluslararası standartlara göre belirli durumları bildirmek için bazı renkler, belirli alanları göstermek için de bazı semboller belirlenmiştir. İşaret ve bilgilendirme araçları bu renk ve sembollere uygun olarak düzenlenmelidir.
- Yazılı olarak bilgilendirme yapılan araçlarda az görme yetisine sahip bireyler için zemin ile zıt renkte ve büyük puntolu harfler kullanılmalıdır.
- Görme engelli bireyler için bu levhalar aynı şekilde kabartmalı olarak uyarlanmalı ve sesli uyarıcılara da yer verilmelidir.

Ören yeri alanındaki işaret ve yönlendirme araçları, yürüyüş yollarında veya herhangi bir ulaşım aksında sirkülasyona engel teşkil etmeyecek şekildedir. İşaret ve levhalarda kullanılan sembollerin anlaşılır biçimde okunaklı ve büyük puntolarla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu araçlardaki sembol ve yazıların zemin ile zıt renkte kullanılmasının da az görme yetisine sahip ziyaretçiler için uygun olduğu görülmüştür. Ancak tüm bu olumlu yönlerinin yanında işaret ve bilgilendirme araçlarının kabartmalı olmaması, Braille alfabesinin kullanılmaması ve sesli uyarıcıların bulunmaması sebebiyle bu açıdan standartlara uygun olmadığı tespit edilmiştir. Göbeklitepe Ören Yeri alanında tespit edilen işaret ve bilgilendirme araçları Şekil 14'te belirtilmiştir.



Şekil 14: Ören yeri alanında belirlenen işaret ve bilgilendirme araçları (Orijinal, 2023)

Çöp kutularının açık-yeşil alanlarda engelsiz peyzaj tasarım yaklaşımları ve erişilebilirlik yönünde kullanımı ile ilgili belirlenen standartlar;

- Çöp kutuları, bordürlerle belirlenmiş sınırlara en az 40 cm uzaklıkta, yaya hareketini ve tekerlekli sandalye hareketini kısıtlamayacak şekilde konumlandırılmalıdır.
- Çöp kutuları yaralanmalara sebebiyet vermeyecek malzemelerden ve sivri köşelerden uzak durulacak şekilde tasarlanmalıdır. Aynı şekilde bu çöp kutuları tek elle kullanılabilir biçimde kapaklı olmalıdır.
- Yerden yükseklikleri 90 ila 120 cm arasında olmalıdır. Çöp kutuları buldukları zeminden zıt renkli ve kolay fark edilebilir olmalıdır.

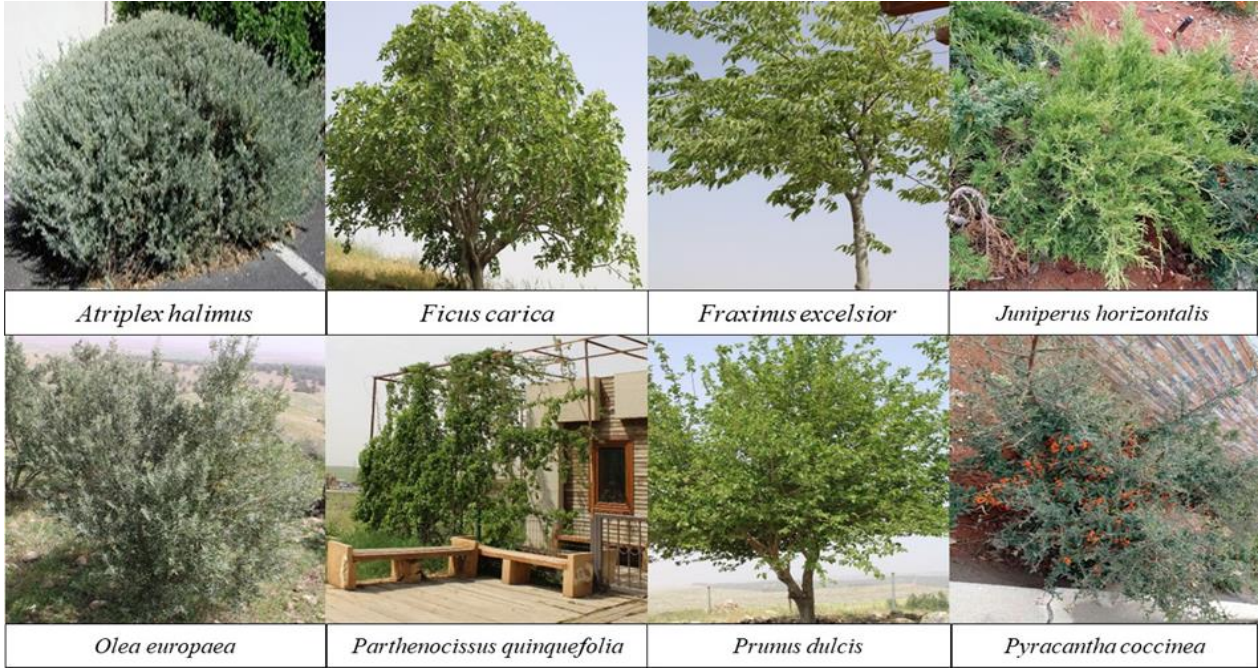
Alanda tek tip çöp kutusu kullanıldığı belirlenmiştir. Çöp kutuları alan içerisinde yaya ve tekerlekli sandalye hareketlerine engel olmayacak şekilde konumlanmış olduğu görülmüştür. Kutular ziyaretçilerin yaralanmasına sebep olmayacak şekilde sivri uçlardan uzak, silindirik biçimdedir. Ayrıca tek elle kullanıma olanak sağlayacak biçimde kapaklı yapıda olduğu da gözlemlenmiştir. Yerden yüksekliklerinin standartlara uygun biçimde ve buldukları zeminlerden farklı renkte, kolay ayırt edilebilir oldukları tespit edilmiştir. Bu yönden bakıldığında Göbeklitepe Ören Yeri içerisinde erişilebilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımları açısından belirlenen standartlara bütünüyle uyan tek kullanımların da çöp kutularının olduğu görülmüştür. Ören yeri alanında kullanılan çöp kutuları Şekil 15’te belirtilmiştir.



Şekil 15: Ören yeri alanında tespit edilen tek tip çöp kutusu (Orijinal, 2023)

### 3.7. Bitki materyali:

Ören yeri alanında yapılan incelemeler sonucunda tüm alanda toplamda 8 farklı bitki türü tespit edilmiştir. Alanda; *Atriplex halimus*, *Ficus carica*, *Fraxinus excelsior*, *Juniperus horizontalis*, *Olea europaea*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Prunus dulcis*, *Pyracantha coccinea* tespit edilen bitki türleridir. Tespit edilen bitki türleri Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16: Ören yeri alanında tespit edilen bitki türleri (Orijinal, 2023)



Literatür taraması ile bitkisel tasarım ve bitki materyali kullanımının engelsiz peyzaj yaklaşımları ve erişilebilirlik için gerekli standartlar belirlenmiştir. Belirlenen standartlar aşağıda belirtildiği gibidir;

- Yol üzerinde bulunan veya dalları yürüyüş yoluna uzanan bitkilerin dal yükseklikleri en az 220 cm olmalıdır.
- Yürüyüş yollarında görme engelli bireyler için tehlike teşkil edebilecek dikenli yapıda yaprak, dal veya gövdeye sahip bitki türleri tercih edilmemelidir. Aynı zamanda kaygan yüzey oluşturabilecek tohum ve meyvelere sahip bitki türleri de bu alanların tasarımlarında tercih edilmemelidir.
- Görme engelli bireyler için bitkilerin bulunduğu alanlar yürüyüş yolu zemininden en az 15 cm yükseklikte bordür uygulaması ile sınırlandırılarak ayırılmalı ya da zemin değişikliği hissini sağlayacak yapı materyalleri ile ayırılmalıdır.
- 200 cm'den dar olan yürüyüş yolu ve kaldırımların bitkisel tasarımlarında ağaç ve ağaççık formunda bitkiler kullanılmamalıdır.
- Az görme yetisine sahip bireyler için bitkisel tasarımlarda güçlü vurgu etkisine sahip gövde, dal veya yaprak yapısı olan bitki türleri tercih edilmelidir.
- Tasarım yapılacak alanlarda çocuk yaşta kullanıcılar için görme, duyma, dokunma ve koklama duyuları ile algılayabilecekleri bitki türleri tercih edilmelidir. Bu bağlamda;
  - Görme duyusu için; soğuk ve soluk (mavi, pembe, gri vb.) renkte çiçeklere sahip türler yerine sıcak renkli (kırmızı, turuncu, sarı vb.) ve iri yapıda çiçekleri olan bitki türleri tercih edilmelidir.
  - Duyma duyusu için; rüzgâr hareketi ile ses çıkaran bitki türleri (*Populus tremula*, *Festuca glauca*, *Carex testacea* vb.) tercih edilmelidir.
  - Dokunma duyusu için; Etlî (*Aeonium arboreum*, *Aloe cliaris* vb.) ya da dokulu yaprak veya gövde özelliklerine sahip bitki türleri tercih edilmelidir.
  - Koklama duyusu için; Yaprakları, çiçekleri veya gövdesi ile güçlü koku etkisine sahip (*Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Lavandula stoechas* vb.) bitki türleri kullanılmalıdır. Bu türler aynı zamanda engelli bireyler için de uyarıcı ve yönlendirici etkiye sahiptir.

Ören yeri alanında yürüyüş yolu düzenlemelerinde bitki materyali olarak sadece *Fraxinus excelsior* türünün kullanıldığı tespit edilmiştir. Düzenlemede kullanılan bütün *Fraxinus excelsior* bitkilerinin boy standartlarına uygun yüksekliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Alanda bitki türü çeşitliliği kısıtlı olsa da dikenli yapı özelliğe sahip tek tür *Pyracantha coccinea*'dır. Bitki bu yönüyle gerekli standartlara uymuyor gibi gözükse de yürüyüş yolları üzerinde, oturma alanları vb. alanlarda bulunmaması ve iç alanda ayrı bir parterdeki kompozisyonda yer etmesinden dolayı bu durum tolere edilebilir düzeydedir. Alandaki tüm bitki materyalleri yürüyüş yollarından ve diğer kullanım alanlarından bordür, çit, duvar gibi sınırlandırma

elemanları vasıtasıyla ayrılmıştır. Böylece bitkilerin yürüyüş yollarına veya diğer hiçbir kullanım alanına engel teşkil etmediği de görülmüştür. Bitki kullanımları bu yönüyle standartlara uymaktadır. Bitki materyallerinin genelini yeşil yapraklı olması tekdüzelik yaratarak az görme yetisine sahip kullanıcılar için gerekli standartlara uymamaktadır. Fakat *Pyracantha coccinea* etkili renklere sahip meyveleriyle, dönemsel olarak yaprakları kızaran *Parthenocissus quinquefolia* türleri diğer türlerden ayrılarak standartları sağlamaktadır.

### 3.7. GZFT (SWOT) analizi:

Erduran Nemutlu (2021), çalışmasında kentsel alanların çok yönlü analizinde tasarımlarda çok yardımcı olduğunu belirttiği GZFT (SWOT) analizi çalışmanın bu aşamasında gerçekleştirilmiştir. Buna göre Göbeklitepe Ören Yeri için gerçekleştirilen GZFT analizi Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2: Göbeklitepe Ören Yeri için gerçekleştirilen GZTF analizi.

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ören yeri alanına özel araç veya şehir içi ulaşım otobüsleri ile kolay ulaşım sağlanabilir olması</li><li>• Ören yeri alanının geniş bir arazi üzerine bulunması</li><li>• Ziyaretçiler açısından her yaştan gruba ve farklı profilde kullanıcılara açık olması</li><li>• Ören yeri alanının insanlık tarihinde bilinen en eski dini ve ritüel alanı olması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alanın engebeli ve yüksek bir arazide kurulu olması</li><li>• Ören yeri alanının çevresinin açık olması ve çevresel faktörlere karşı korunaksız olması</li><li>• Ören yerinin 1. Derece sit alanı olması ve arkeolojik kazı çalışmalarının halen devam ediyor olması</li><li>• Engelli ziyaretçiler için gerekli peyzaj tasarımlarına ve standartlara uygun bir dizayna sahip olmaması</li></ul>
Fırsatlar	Tehditler
<ul style="list-style-type: none"><li>• Göbeklitepe Ören Yeri’nin tarihî açıdan bilinen en eski dini yapı olmasından kaynaklı olarak Şanlıurfa’nın turizm ve turist yoğunluğunun artmasında ciddi derece etki olması</li><li>• Ören yeri yakınlarında kafe, restoran vb. işletmelerin varlığı hem alana yakın Örencik köyü hem de Şanlıurfa için istihdam kaynağı olması</li><li>• Göbeklitepe, tarihsel açıdan sahip olduğu özelliklerden dolayı günümüzde de farklı dini inanişaya sahip bireyler için bir ritüel alanı olarak kullanılması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ziyaretçi profilindeki geniş yelpazeden kaynaklı olarak, ören yeri alanındaki tüm canlı-cansız peyzaj elemanlarının vandalizm riski ile karşı karşıya olması</li><li>• Ören yerinin açık bir çevreye sahip olmasından dolayı ziyaretçilerin ve peyzaj elemanlarının rüzgâr, toz vb. gibi olumsuz etmenlere karşı korunma durumlarının az olması</li><li>• Alanın engebeli yapıda olmasından dolayı engelli ziyaretçiler için alanın dolaşımının zorlaşması</li><li>• Ören yerinin tarihî değere sahip olmasından ve sit alanı olmasından dolayı engelli kullanıcılar için alınacak önlemleri yapısal açıdan kısıtlayabilmesi veya zorlaştırması</li></ul>

GZFT analizi genel olarak değerlendirildiğinde; Ören yerinin geniş yelpazede ziyaretçi potansiyeli, yüksek tanınırlığı ve ulaşımının kolay sağlanabilir olması Göbeklitepe Ören Yeri alanında engelsiz peyzaj tasarım yaklaşımlarının ve erişilebilirliğin alan için ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Göbeklitepe Ören Yeri’nin açık bir çevreye sahip olması ve geniş ziyaretçi profili sebebiyle vandalizm tehlikesiyle de karşı



karşıyadır. Bu nedenle standartlar çerçevesinde uyulması gereken tasarım yaklaşımlarının dayanıklı temeller üzerine oturması gerekmektedir. Engebeli arazi şartları engelli ziyaretçilerin dolaşımını zorlaştıracak halde olmasına karşın bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için yapılacak engelsiz peyzaj tasarım uygulamaları alanın sit alanı niteliği sebebiyle yapısal olarak kısıtlanabilir. Kısıtlamaların önüne geçebilmek için alanda kullanılacak materyallerin taşınabilmesi ve dayanıklılığına fazladan önem verilmelidir.

#### **4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

İnsanlık farklı yaş, büyüklük ve fonksiyonel kapasitelerini bağlı olarak değişkenlik gösterir. Hastalık, geçici veya kalıcı engellilik bir kimsenin hareket yeteneğini, el-kol-ayak koordinasyonunu, dengesini, görme veya işitme yetisini, konuşma, anlama, dokunma gibi duyuşal özelliklerini etkileyebilir. Bu nedenle hasta, yaşlı ve engelli bireylerin toplum ile kaynaşmasının önündeki en büyük engelin erişilebilirlik olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kent içerisindeki genel rekreasyon alanlarının toplumun bütün bireyleri için erişilebilir düzeyde tasarlanması ve planlanması gerekmektedir. Kent içerisindeki tarihî alanlar ve ören yerleri de kentin doğasında yer alan bileşenlerdir. Bu nedenle tarihî alan ve ören yerlerinin peyzaj düzenlemelerinde engelsiz tasarım yaklaşımları benimsenmeli. Alanların erişilebilirliğe uygun olması gerekmektedir.

Ören yerinde yapılan incelemelerde alanda toplam 8 farklı zemin kaplama malzemesi kullanıldığı tespit edilmiştir. Bunlardan düz yüzeye sahip olmayan ahşap travers, geçmeli ahşap ve kesme parke taşları içerisinde sadece geçmeli ahşap malzemelerinde standart derz aralıklarının standartlara uygun olması alan adına önemli bir eksiklik olarak görülmüştür. Yağmur suyu tahliyesi için kullanılan drenaj ızgaralarındaki ızgara açıklıklarının da standartlara uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle alandaki yürüyüş yolu ve zemin uygulamalarında erişilebilirlik yönünden eksikliklerin olduğu belirlenmiştir.

Ören yerinin hiçbir yerinde kullanılmayan hissedilebilir yürüme yüzeyleri görme engelli kullanıcılar için büyük bir zafiyet oluşturmaktadır. Alandan rampa uygulaması gerektirecek çok fazla kot farkına sahip bölümler bulunmamasına karşın uygulama yapılması gereken alanlarda da eksikliklerin olduğu ve standartlara uymayan yapıların bulunduğu tespit edilmiştir.

Yapısal bütünlük olarak merdiven yapıları standartlara uygun olmasına rağmen merdiven başlangıç ve bitiş noktalarındaki hissedilebilir yüzey kullanımlarının eksikliği göze çarpmaktadır. Ayrıca az görme yetisine sahip kullanıcılar için de küpeşte yapılarının merdivenlerde kullanılan zeminden farklı yapı ve renkte olması gerekliliğinin alanda uygulanmadığı belirlenmiştir. Ören yeri ziyaretçilerin kullanımı saat kısıtlamasına tabi olduğu için aydınlatma elemanları yönünden standartlara uygunluğunu sorgulamak pek olası değildir. Fakat bu elemanların alan içindeki konumlanmaları ve erişilebilirliğe engel teşkil edip etmediği incelenebilir durumdadır. Ören yerindeki aydınlatma elemanları yürüyüş yolları ve kaldırımlarda geçişi engelleyecek

biçimde olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca aydınlatma elemanlarının yüksekliği standartlarda belirtilen asgari yükseklik ölçüsünden daha yukarıda olduğu belirlenmiştir.

Oturma elemanları, işaret-bilgilendirme araçları ve çöp kutuları kullanımında çok fazla çeşitliliğin olmadığı görülmüştür. Oturma elemanlarının ölçü ve yapı standartlarına uygun olmasına karşın oturma elemanlarının sırt dayama kısımlarının olmayışı bir eksiklik olarak belirlenmiştir. İşaret-bilgilendirme araçları ve çöp kutularının tamamının standartlara uygun yapıda olduğu gözlemlenmiştir.

Ancak işaret-bilgilendirme araçlarında görme engelli kullanıcılar için Braille alfabesi ve sesli uyarıcıların kullanılmaması önemli bir eksikliktir. Alandaki bitkilerin standartlara uyduğu fakat görsel etki olarak özellikle çocuk yaşta kullanıcılar ve az görme yetisine sahip kullanıcılar için yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Başlıklar halinde yapılan tüm bu incelemelerden elde edilen tespitler ve GZTF analizi sonucuna göre; alanın yüksek kullanıcı potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak yapılan peyzaj düzenlemelerinin erişilebilirlik ve engelsiz peyzaj yaklaşımlarının kısmi uyumlu olduğu belirlenmiştir. Alanın özellikle az görme yetisine sahip ve görme engelli kullanıcılar için hiç uygun olmadığı bu yönden çok fazla eksiğinin olduğu görülmüştür. Tarihi alanların da her ne şekilde olursa olsun bütün kullanıcı profillerine eşit derecede hitap etmesi gerekmektedir. Göbeklitepe Ören Yeri'nin bu anlamda kullanıcılara eşit derece hizmet edemediği tespit edilmiştir. Bu bulgular ışığında Göbeklitepe Ören Yeri örneği üzerinden alınması gereken önlem ve öneriler şu şekilde sıralanabilir;

1. Uygun derz aralıklarına sahip olmayan zemin elemanları onarılabılır durumda ise onarımlarının gerçekleştirilmesi gerekir. Onarım mümkün değil ise yapı bütünü bozulmayacak şekilde değişim sağlanmalıdır.
2. Zeminlerde kayganlıktan kaynaklı kazaların minimuma düşürülebilmesi kaygan zeminlerde kaydırmaz şerit bant uygulaması yapılması gerekmektedir.
3. Alanın en büyük eksikliği olan hissedilebilir yürüme yüzeyleri için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Yapı çevrelerinde ve giriş-çıkışlarında, merdivenlerde, arkeolojik buluntuların dolaşımını sağlayacak sirkülasyonda hissedilebilir yürüme yüzeyi eklemeleri yapılmalıdır.
4. Rampa yapılarında küpeşte elemanları eklenmeli, bu konuda engele sahip kullanıcılar için gerekli kolaylık sağlanmalıdır. Rampa uygulaması yapılması gereken ama yapılmayan yerlerde tarihî yapılara ve alana zarar vermeyecek biçimde modüler yapılar ve malzemeler tercih edilmelidir.
5. Merdiven yapılarında küpeşte elemanları bulunmayan yerlerde uygulamalar yapıp standartlar çerçevesinde erişilebilirlik sağlanmalıdır.
6. Alandaki oturma elemanları çoğu noktada standartları karşılama da sırt dayama bölümleri bulunmamaktadır. Oturma elemanlarına bu bölümlerin eklemeleri yapılmalıdır.

7. İşaret-bilgilendirme levhalarında görme engelli ve az görme yetisine sahip kullanıcılar için standartlarda belirtilen sesli uyarılar ve Braille alfabesi gerekli yerlere eklenmelidir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve önermeler ışığında engelsiz peyzaj tasarım yaklaşımları ve erişilebilirliğin hayatımızdaki bütün alanlarda sağlanması gerekliliği bir kez daha ortaya koyulmuştur. Hastaneler, farklı statüdeki kamu kurum ve kuruluşları, spor alanları ve tesisleri, mesire alanları gibi farklı alanlarda da incelemeler yapıp standartlar dahilinde alanların değerlendirilmesi literatüre katkı sağlayacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKILARI

N.G.: Kavramsallaştırma, yöntem, yazılım, doğrulama, inceleme, araştırma, kaynaklar, yazı yazma- orijinal taslak hazırlama.

Ö.K.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

## KAYNAKLAR

- Alkan Meşhur, H. F. (2013). Accessibility for people with disabilities in urban spaces: a case study of Ankara, Turkey. *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 7(2): 43- 60.
- Arslan, B. (2020). Safranbolu Tarihi Turizm Yapıları ve Turizm Alanlarının Engelli Erişimi Açısından Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi, T. C. Karabük Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Bolat, A. (2022). Kentsel Açık Mekân Olarak Caddelerin Kalite Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi ve Kavramsal Bir Model Önerisi: Van Cumhuriyet Caddesi Örneği. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Çakar, H. (2022). Engelsiz park tasarımında ergonomik yaklaşımlar. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1): 1-14. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.910541>
- Çelik, A., Ender, E., & Akdeniz, N. S. (2015). Engelsiz parklarda peyzaj tasarımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 8(2): 5-11.
- Çetinkale Demirkan, G. (2019). Engelsiz Çocuk Oyun Alanlarının Engelli Çocuklar Tarafından Kullanılabilirliği. Online Journal of Art and Design, 7(5): 46-57.
- Erduran Nemitlu, F. (2021). Çanakkale Kepez Meydanı öneri peyzaj tasarımı. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(2), 419-432. <https://doi.org/10.33202/comuagri.936670>
- Feyzioğlu, G. (2013). Bedensel engellilere yönelik kentsel peyzaj tasarım kriterlerinin Ankara ili Kızılay meydanı ve ilişkili caddelerinde irdelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Gülgün Aslan, B. ve Ünal Ankaya, F. (2020). Kentsel peyzaj kapsamında Türkiye (İzmir/Bornova) Büyük Park'ın engelli standartları açısından değerlendirilmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(3): 110-118.
- Işık Afacan, M. (2023). Engellilik ve spor sosyolojisi. Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi, 6(1-Cumhuriyet'in 100. Yılı Özel Sayısı): 1112-1122. <https://doi.org/10.38021/asbid.1374370>
- Kamer Aksoy, Ö., & Köşe, H. (2022). Kampüs açık alanlarında engelsiz tasarım: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Güney Kampüsü örneği. Journal of Spatial Planning and Design, 2(1): 1-12. <https://doi.org/10.53463/splandes.202200137>
- Kejanlı, T., Koç, C. ve Alkan, M. C. (2023). Tarihi bölgelere erişilebilirliğin engelli bireyler açısından

- değerlendirilmesi: Diyarbakır Suriçi bölgesi örneği. GRID-Architecture Planning and Design Journal, 6(2): 699-724. <https://doi.org/10.37246/grid.1208072>
- Koç, C. ve Koç, A. (2022). Engelsiz parkların erişilebilirliği: Eskişehir ve Diyarbakır örnekleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 13(33): 161-188. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.902987>
- Koç, O. (2020) Erişilebilirlik kılavuzu. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Uzman Matbaacılık, Ankara.
- Koç, C. (2021). Görme engelliler için hissedilebilir yüzey uygulamaları: Diyarbakır örneği. Ufku Ötesi Bilim Dergisi, 21(1): 125-157.
- Kuru Aktürk, N. B. ve Ekim, A. (2023). Toplumda engelli çocuk. Arel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(3): 178-185.
- Mankan, M. (2019). Erişilebilirlik Kavramı ve Erişilebilirliğin Mevzuatlar Açısından Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Marín-Nicolás, J. ve Sáez-Pérez, M. P. (2022). An evaluation tool for physical accessibility of cultural heritage buildings. Sustainability, 14(22): 15251. <https://doi.org/10.3390/su142215251>
- Olgun, R. (2019). Görme engelliler için kent parklarının erişilebilirliğini arttırmaya yönelik peyzaj tasarım yaklaşımları. Turkish Journal of Forest Science, 3(2): 170-181. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.629721>
- Öter, B. (2018). Erişilebilirlik Çalışmalarında Mekân Dizimi Yönteminin Antalya Kent Merkezinde Uygulanması Üzerine Bir Araştırma. (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Özalp, H. (2016). İnsanlığın en eski tapınağı Göbeklitepe teolojik olarak bize ne söyler? Bilimname, 2016(1): 59-74
- Özkaraca, N. ve Inceoğlu, M. (2021). Üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik değerlendirmesi: Düzce Üniversitesi Kampüsü örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(5): 1891-1908. <https://doi.org/10.29130/dubited.866597>
- Pouya, S. (2021). Engelli bireylerin erişilebilirliğinin artırılması ve farkındalığın sağlanması için evrensel donatı tasarımlarının önemi ve buna ilişkin peyzaj alanlarında bazı tasarım önerilerin verilmesi. Sosyal Çalışma Dergisi, 5(2): 209-229.
- T.C. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Özürlü ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü (2011) Yerel yönetimler için ulaşılabilirlik temel bilgiler teknik el kitabı. Anı Matbaacılık, Ankara.
- Topraklı, A. Y. (2020). Yönetmeliklerin merdiven tasarımına yaklaşımı. ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 4(1): 27-32.
- Türk Standartları Enstitüsü- 7941 (2012). Oturma Bankları. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073101068120083071071054120110117081> Erişim Tarihi: 25.12.2023
- Türk Standartları Enstitüsü-9111 (2011). Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097107103081101066102086100073109> Erişim Tarihi: 25.12.2023
- Türk Standartları Enstitüsü-12576 (1999). Şehir İçi Yollar-Özürlü ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073098112067083103084057088117086054> Erişim Tarihi: 25.12.2023
- Türkyılmaz, E. ve İskender, E. (2018). Mimari tasarımda ulaşılabilirlik kavramının tekerlekli sandalye kullanıcıları açısından irdelenmesi. Megaron. 13(2): 297-323. <https://doi.org/10.5505/megaron.2018.26566>
- Yılmaz, T., Olgun, R. ve Kaplan, M. Y. (2013). Engellilere yönelik bitkisel tasarım olanakları. 5. Kongresi Peyzaj Mimarlığı, 14-17 Kasım 2013, Adana, Türkiye.
- Yurddaş, M. (2022). Şanlıurfa İlinin Sanayi Coğrafyası. (Yüksek Lisans Tezi, T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi /Sosyal Bilimler Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Yüce Eşkil, Ö. (2011). Engelliler İçin Dış Mekân Tasarım Özellikleri Bağlamında Ankara Kent Parklarının İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü) Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

## Contact Lens History, Contact Lens Types and Future of Contact Lens

Hülya KURU MUTLU<sup>1\*</sup>, Burak Malik KAYA<sup>1</sup>, Armağan KIRANKABEŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Opticianry, Vocational School of Health Services, Eskişehir Osmangazi University,  
Eskişehir, Türkiye

Received: 06.02.2024, Accepted: 30.04.2024, Published: 30.06.2024

### ABSTRACT

With the rapid development of technology, the use of different materials and device production for sharp vision has accelerated. One of the areas that benefits from developing technology is contact lens technology. In this study, the production-development stages of contact lenses, contact lens types, and materials used in production were investigated. The advantages and disadvantages of using lenses as opposed to glasses have been outlined. In addition, the advantages and disadvantages of the production types of contact lenses compared to each other were examined. In the last stage, studies and expectations for the future of contact lenses are discussed.

**Keywords:** Contact lenses; hard contact lens; contact lens use; production technology; soft contact lens.

## Kontakt Lens Tarihçesi, Kontakt Lens Çeşitleri ve Kontakt Lensin Geleceği

### ÖZ

Teknolojinin hızlı gelişimi ile keskin görüş için farklı malzemelerin kullanımı ve cihaz üretimi hızlanmıştır. Gelişen teknolojinin faydalanan alanlardan biri de kontakt lens teknolojisidir. Bu çalışmada, kontakt lenslerin üretim-geliştirme aşamaları, kontakt lens çeşitleri, üretimde kullanılan malzemeler araştırılmıştır. Gözlüklere kıyasla lens kullanmanın avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Ayrıca, kontakt lenslerin üretim türlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Son aşamada, kontakt lenslerin geleceğine yönelik çalışmalar ve beklentiler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kontakt Lensler; sert kontakt lens; kontakt lens kullanımı; üretim teknolojisi; yumuşak kontakt lens.

## **1. INTRODUCTION**

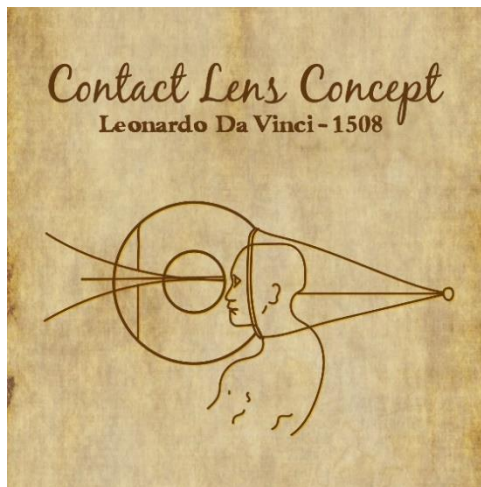
Opticians are eye care health professionals who are trained to fit eyeglass lenses which are prescribed by ophthalmologists to frames and can advise patients to find contact lenses by patients' needs to correct vision problems. They adjust, modify, or align frames with vision-correcting lenses to the face of the customer or patient. Besides being a health care profession, opticianry involves the wholesale and retail trade of eyewear products, including the import and export of items such as frames, contact lenses, solutions for contact lenses, eyeglass lenses, and sunglasses.

Eyeglasses are two parts of special glass or plastic placed in a frame worn in front of the eyes to improve vision. Contact lenses are artificial lenses that are attached to the front of the cornea, which is the outermost region of the eye, allowing people who have refractive errors to see clearly. Contact lenses hold on the cornea owing to the surface tension of the tear film. The tear film is made up of various cells such as conjunctival, corneal, epithelial cells, etc.

The invention of eyeglasses dates back to the 13th century, while contact lenses date back to the 16th century, as we will see in the following section. Production of contact lenses changed drastically from the 15th century up to today. Initially, fluid-filled bowls and/or cups have been utilized then came an era of glass, afterward organic materials have been used, which form the basis of modern wearable contact lenses.

## **2. HISTORY OF CONTACT LENSES**

The history of contact lens development begins in the 15th century with the Codex of the Eye, written in 1508 by Leonardo da Vinci. Da Vinci devised a method that alters corneal power via submerging the eye in a round container that is full of water (Figure 1). However, he did not intend to correct vision — he was concerned about how the accommodation of the eye was achieved (Heitz & Enoch, 1987).



**Figure 1:** Da Vinci's Contact Lens Concept (Aslan, 2021).

Thomas Young, in 1801, constructed a cup which was filled with a liquid that fitted into the orbital rim, but he also did not intend for this device to be used to correct refractive errors, instead he tried to enumerate some dioptrical propositions and described an instrument for calculating the focal length of the eye (Young, 1801).

In the late 1880s, many research activities have been carried out. Physicist Eugene Fick was the first to describe how to fabricate and fit contact lenses to the eye. He manufactured a spherical glass segment for the correction of refractive errors. This glass lens was made from heavy brown glass and was 18-21 mm in diameter (Efron & Pearson, 1988).

The first powered contact lens was produced by August Müller. He reported the alteration of his 14.00 dioptres myopia using a scleral contact lens in 1889. The inability to wear this lens for more than 30 minutes was likely because of limbal pressure, given that the primary optic diameter being too small (Pearson & Efron, 1989).

50 years passed without much improvement regarding contact lens development, Carl Zeiss proposed the production of contact lenses from a plastic material called cellon (cellulose acetate) Manufacturing process was by the process of moulding. The primary advantage of plastic over glass was that they would be unbreakable and maintain ocular protection. Unfortunately, after being used by patients, it was observed that the contact lens made from cellon had many disadvantages (Pearson, 2015):

- It did not have the grade of polish of glass lenses
- It was not stable because of humidity and temperature effects
- It caused extensive corneal erosion

In 1936, Room and Haas Company invented polymethyl methacrylate (PMMA) which is transparent plastic, and also in 1936, Feinbloom devised a scleral lens that includes an opaque plastic touchable part and a pure glass centre. Following that, scleral lenses began to be manufactured from PMMA. These lenses were lighter than glass lenses, quicker to manufacture, and shatterproof. While these lenses were comfortable and didn't cause irritation, they required a polish of their optical zone every six months (Pearson & Efron, 1989).

Optical technician Kevin Tuohy separated haptic portion and corneal portion when lathing a PMMA scleral lens unintentionally. After that, he wondered even if the corneal portion could be worn, so he brightened the edge, placed it in his eye, and observed that the lens could be used. He filed for a patent for his invention in 1948 (Braff, 1983).

In 1960, Wichterle and Lim published that hydrophilic gels could be used in manufacturing contact lenses, and arteries (Wichterle & Lim, 1960). After that, Wichterle began initial attempts to produce soft lenses fabricated from hydroxyethyl methacrylate (HEMA), and manufactured the initial suitable soft contact

lenses in the past few days of 1961 (Wichterle, 1978). Based on the results of this study, companies began to utilize Wichterle's results, and Bausch & Lomb Company of Canada (formerly the USA) acquired a patent to manufacture soft contact lenses. Later, it introduced soft lenses to the world market.

Early HEMA lenses produced by Bausch & Lomb were thick and not comfortable to wear. So much of the research in contact lens technology afterward has been related to the invention of materials and innovative lens construction that aims to increase adaptability, mostly by improving corneal oxygenation and curtailing the absorption of lipids, proteins, and tear components (McMahon & Zadnik, 2000).

After the invention of soft lenses, patients continued to wear the same set of lenses until they caused significant discomfort and serious eye reactions. In 1985, Holden proved the advantages of replacing lenses regularly (Holden et al., 1985). However, there was a big challenge: soft lenses were costly; therefore, not all patients could afford to change these lenses regularly. To solve the cost problem, clinicians and engineers began to work and a group led by Michael Bay developed a molding process to manufacture multiple individual lens packs at a considerable cost. Afterward, Johnson and Johnson Company reworked the polymer formulation and utilized Stabilized Soft Moulding technology to eliminate the shortcomings of Michael Bay's lens and introduced Acuvue lenses (Mertz, 1997).

## ***2.1. Categories Of Contact Lenses And Materials Used***

### ***2.1.1. Soft Contact Lenses***

Soft contact lenses are produced from flexible plastics, their materials can be divided into two groups:

- Hydrogel materials
- Silicone hydrogel materials

As for hydrogel materials poly (hydroxyethyl methacrylate) or pHEMA was invented in 1952 by Drahoslav Lim and Otto Wichterle for biological use (Grant et al., 2022). It was synthesized by polymerization using 2-hydroxyethyl methacrylate as raw material and triethylene glycol dimethacrylate as a cross-linking additive, and the hydrophilic behavior of HEMA is due to the presence of the hydroxyl group at the end of the monomer (Wichterle & Lim, 1960).

As already mentioned in the second section, pHEMA lenses were first produced by the Bausch and Lomb Company and proved to have caused hypoxia and lens spallation. To increase oxygen transmission to the eye, manufacturers decided to develop thin lenses, and soon O3 series lenses were manufactured by Bausch & Lomb. O3 series soft lenses were less than half the thickness of the original thick lenses.



The second type of soft contact lenses is the ones that are made up of silicone hydrogel materials. Silicone hydrogel materials have a major advantage over hydrogel materials in that they have higher oxygen permeability, so that they can be worn for longer periods.

One of the main methods used to manufacture silicone hydrogel materials is using macromers. A macromonomer is a polymer or oligomer with one end-group that acts as a monomer. There are also different methods of obtaining silicone with hydrogel monomers, but they are out of the scope of this article.

### *2.1.2. Hard (Rigid Gas Permeable) Contact Lenses*

A hard (RGP) contact lens is manufactured from a material that allows carbon dioxide and oxygen gas but contains no water. The first hard contact lenses were manufactured from glass. After 1950, plastic materials were selected for replacement of glass lenses. PMMA was a favorite material because it had a glass-like look and was easy to fabricate. However, its largest failure as a contact lens material is its lack of oxygen permeability (Harvey et al., 1990).

In the mid-1960s, scientists began to develop silicone rubber, which is much more permeable to oxygen than PMMA, and they proved clinically that it had little harmful outcome on corneal breathing (Hill & Schoessler, 1967). Nevertheless, the question of how to maintain satisfactory surface properties has never been solved. To address this problem, several flexible thermoplastic materials were studied, best results were achieved with poly(4-methyl-1-pentene), commercially called TPX, and also with cellulose acetate butyrate (CAB). The oxygen permeability of TPX and CAB is approximately 20 times larger than that of PMMA (Refojo et al., 1977).

To further increase oxygen permeability, contact lenses were fabricated using polymers derived from perfluoroalkyl ethyl methacrylates (Tighe, 1997). After the invention of perfluoroalkyl ethyl methacrylates, it became possible to adjust oxygen penetrability and rigidity, which increases processability and wettability. To enhance oxygen penetrability and material strength, original siloxanylstyrene monomers were introduced into the polymer backbone. Menicon Z material was produced. Menicon Z utilizes tris silyl styrene. Menicon Z has outstanding mechanical specifications, permitting the lens to be much slimmer than an ordinary rigid lens which relies on silicone-encompassing methacrylate compounds (Szcotka, 2004). Due to its excellent mechanical properties, it is possible to wear lenses made from Menicon Z for 30 days.

### *2.1.3. Advantages and Disadvantages*

Soft contact lenses are easier to adapt to the eye since they drape over the cornea, and that maintains increased comfort because they do not feel much when wearers blink. Soft contact lenses are wider in diameter, which makes them much more comfortable to wear.

Disadvantages of soft lenses include the risk of tearing and damaging the lens more easily and less oxygen transportation to the cornea than with rigid gas-permeable contact lenses. Soft contact lenses cannot effectively correct astigmatism satisfactorily. Hydrogel absorbs tear fluid and therefore requires sufficient tear production, so patients who do not have sufficient tear production may need to use lubricant eye drops. Proteins and dirt particles may get deposited in the hydrogel of soft contact lenses, which have sponge-like structures.

As for RGPs, they allow more oxygen transportation to the cornea by tear. RGP provides a very clear vision. Nevertheless, RGP is smaller in diameter than soft contact lenses and that makes them vulnerable to being dislocated easily and pushed off to the side more easily than SCL.

#### *2.1.4. Lens Care Systems*

Regardless of type, all contact lenses must be subjected to a maintenance routine after each use. Maintenance routine includes cleaning, disinfection, and safe storage in a suitable environment.

There are three types of sediment deposits on contact lenses: organic, inorganic, and environmental. Major sources of organic deposits are proteins such as lysozyme, lactoferrin, and albumen, lipids, and carbohydrates. Lipids are observed in minor quantities on hydrophilic lenses, but they can deposit on rigid gas permeable lenses, which encompass silicone. This leads to a hydrophobic contact lens. The most observed types of inorganic deposits are jelly bumps which are round, circular deposits made up of cholesterol and calcium. They occur commonly because of long-term wearing of contact lenses. Common environmental deposits are particles from cosmetics (Ghanem, C., & Bailey, M. D., 2004).

To cope with deposits, mostly multipurpose solutions are used. The multipurpose solution is used to clean, sterilize, and store soft contact lenses. The advantage of these solutions lies in the fact that they don't require the use of other auxiliary components. They account for nearly 90% of lens care systems in Australia, Europe, and Canada (Morgan et al., 2016).

Obey the below procedures for the appropriate use of multipurpose solutions:

- Wash your contact lenses and keep them in fresh solution whenever you use them.
- Do not mix a new solution with an old or used one.
- Drain all the remaining solution out of the case and dry it with a clean tissue.

Hydrogen peroxide-based systems can also be used to clean, sterilize, and store contact lenses. They are recommended to be used if the patient is allergic to constituents in a multipurpose solution that causes rubor or irritation of the eye. Hydrogen peroxide-based systems require the use of a customized container that comes with the solution. This customized container reacts with the hydrogen peroxide, converting it to a

non-toxic salty solution over time. However, it is important to keep in mind that if the patient uses colored contact lenses, the color of them may fade. Fading happens when the dye of a colored contact lens is of a type that reacts with hydrogen peroxide. This is due to an oxidative reaction.

### 3. METHODS OF PRODUCTION

#### 3.1. Soft Contact Lens Production

Three methods are employed to manufacture soft contact lenses:

- Spin casting
- Lathe cutting
- Injection molding

In the spin casting process, a spinning mold machine is used. Liquid contact lens monomer is injected into a concave spherical spinning mold. The contact lens front surface is created by the curvature of the Spinning Mould machine. Lens parameters are controlled by the following (Banko, 1976):

- Shape of mold
- Spin speed
- Amount of injected material
- Surface tension

After spinning, the liquid polymer is converted into a solid state by ultraviolet light. The periphery of the lens is edged and furbished to produce an even surface (Figure 2).

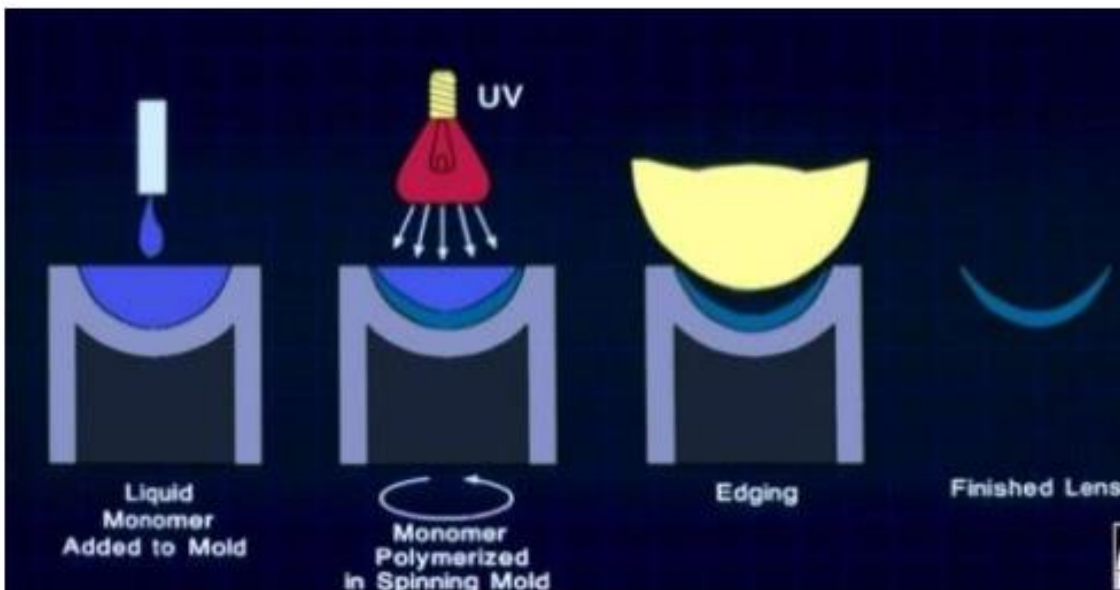


Figure 2: Spin Casting Process (Shah & Chowdhury, 2020).

In the lathe-cutting process, hard disks of contact lens substance are attached on a rotating shaft that revolves 100 revolutions per second and is formed with a cutting tool (Figure 3). It is then polished and hydrated. Even though this process maintains more symmetry and bigger lens accuracy, it requires more advanced technology, more time, and more resources in proportion to cast molding (Shah & Chowdhury, 2020).



Figure 3: Lathe Cutting Tool (Michalek et al., 2022).

In the injection molding process, soft contact material (monomer) is warmed up until it gets into the liquid state, and then it's injected into precise, pressurized molds (Figure 4). After they are shaped, they undergo polishing, hydrating, and quality control testing. Injection molds are prone to thousands of pounds of pressure every cycle. To stand this pressure, these molds should be made from very durable materials that can withstand recurrent use without distorting. While injection molding has a high upfront cost for the molds, at a certain production volume, injected contact lens are cheaper than lathe-cut contact lenses.

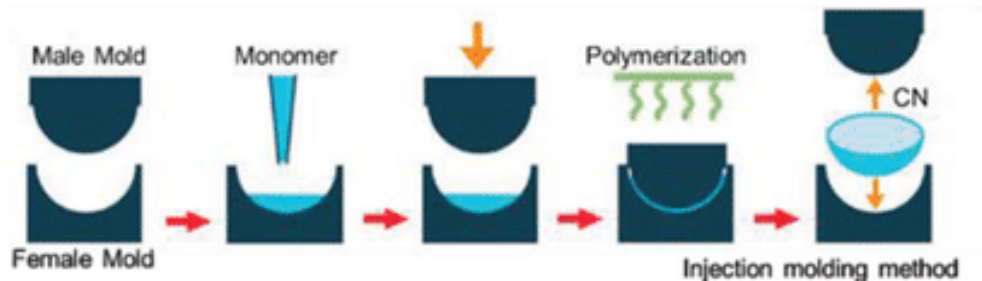


Figure 4: Injection Moulding Process (Zhu et al., 2022).

### 3.2. Hard Contact Lens Production

Conventional lathes cut the back and front lens surfaces from buttons. The buttons are made up of a mixture of approximately 10 liquid monomers, which add a bunch of peculiarities such as oxygen permeability, stability, etc. This mixture is injected into molds and polymerized, using heat, turning the liquid into hard polymer. The hardened material is removed from the mold and annealed. Annealing is a heating process

that allows the molded material to relax and reduce stresses which have occurred from being trapped inside the molded rod. Buttons look very bright in color, but after lathe cutting, most of the material is cut away, and the final product will typically have a soft color at the end. The advantages and disadvantages of the three methods in the contact lens manufacturing process are summarized (Table 1).

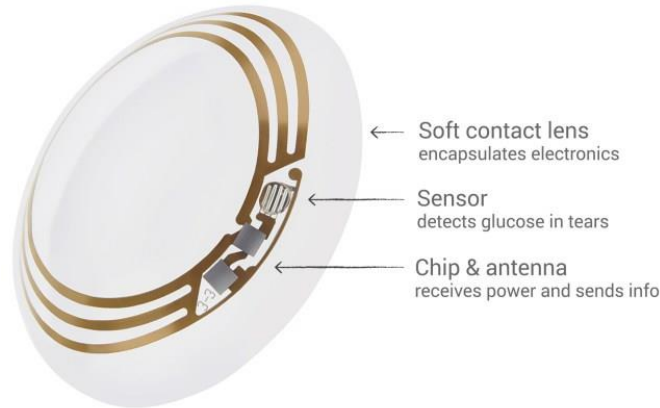
**Table 1:** Pros and Cons of Contact Lens Manufacturing Processes.

<b>Process</b>	<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
<b>Lathe Cutting</b>	Can be used to cut a wide range of materials	Labour intensive
	Can be used to manufacture soft contact lenses and rigid contact lenses	Cleaning and polishing are needed
	More precise dimensioning	Not cost-effective
	Applicable to wide range of designs	Slow to manufacture
<b>Spin Casting</b>	More suitable for mass production	Parameters are few in comparison with lathe-cutting
	Thinner	Waste
<b>Injection Moulding</b>	No need to polish	Parameters are few in comparison with lathe-cutting
	Lowest cost	
	Most suitable for mass production because of the speed of production	
	Highest quality	

#### 4. FUTURE OF CONTACT LENSES

Besides visual enhancement with ordinary contact lenses, there are also smart contact lenses that are enhanced by technology. They have advanced technology designed to enhance human possibilities. Recently, smart contact lenses have been studied and produced for a diversity of purposes, from applications including the substitution of conventional glasses to biomedical applications. Especially smart contact lenses manufactured using pHEMA hydrogels have been widespread for biomedical applications. For example, Ulu manufactured an antibacterial contact lens made up of pHEMA hydrogel loaded with boric acid to treat eye infections (Ulu et al., 2018). Smart contact lenses with integrated circuits have started changing traditional devices to succeed non-invasive and easy physiological measurements. For example, a

prototype smart contact lens produced by Google Company of the USA can measure glucose levels from tear fluid (Figure 5). That said, it is wise to predict that non-invasive observation of the wearer's biomarkers and health indicators could be a big market in the future.



**Figure 5:** Google's Smart Contact Lens (Lardinois, 2014).

The concept of contact lens technology extending beyond its basic use can be seen in Augmented Reality applications. Augmented reality, which allows monitoring the real world complemented with computer-generated content, is getting popular. The technology developed by EP Global Communications in the USA revolves around the production and integration of electronics into modern silicone hydrogel lenses. This innovative technology permits the incorporation of flexible electronics into the contact lens throughout the fabrication process, supplying solutions in the areas of autofocus and optics for augmented reality ("Smartphone Controlled Vision is Coming", 2017).

Mojo Vision, a company in the USA, is in the process of manufacturing a contact lens that offers AR. In January 2022, the company teamed with Adidas and other fitness companies to bring data-tracking eye lenses to market (Heater, 2022).

## 5. CONCLUSION

The purpose of this review article is to raise awareness by providing information about contact lenses to opticianry students, academicians, contact lens wearers, and the general public. Briefly, the purpose of the review article is to raise awareness by providing information about contact lenses. The evolution of contact lenses was a gradual process, initially beginning in Europe and eventually achieving global reach. Both the materials used to produce contact lenses and the methods of manufacturing have changed considerably from the early days of the contact lens era. Initially, contact lenses were made from glass and later from PMMA.

However, these materials had limited oxygen permeability. Advancements in chemistry have enabled the development of hydrogel lenses, which have higher oxygen permeability and improved comfort.

The future of contact lenses is looking bright, especially considering advancements in smart contact lens technology. Smart contact lenses can be among the most popular wearable technologies, enabling important advantages in people's lives. While the potential usage areas for the future of smart contact lenses are not completely realized, it is deemed limitless. In the future, smart lens technology could let the wearer take photographs with their eyes or watch various body parameters to support the early detection and treatment of diseases. There is inspiring and developing potential for this future technology.

## CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare that they have no conflict of interest.

## CONTRIBUTIONS OF AUTHORS

Formal analysis, research, resources, writing-original draft preparation, writing-review and editing HKM, formal analysis, research, resources, writing, writing-review and editing MK, formal analysis, research, resources, writing-original draft preparation, writing-review and editing were done by AK.

## REFERENCES

- Aslan, H. (2021) *Lens Nedir | Lens Nasıl Takılır?* Infreza. Retrieved May 24, 2023, from <https://www.infreza.com/lens-nedir-lens-nasil-takilir/>
- Bailey, J., Kaur, S., Morgan, P., Gleeson, H., Clamp, J., & Jones, J. (2017). Design Considerations for Liquid Crystal Contact lenses. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(48). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa9358>
- Banko, P.E. (1976). Production of Contact Lenses by Spin-Casting. *The Australian Journal of Optometry*, 59(8), 286-289. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.1976.tb01447.x>
- Braff, S. M. (1983). The Max Schapero Lecture: Contact lens horizons. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 60(10), 851–858. <https://doi.org/10.1097/00006324-198310000-00008>
- Efron, N., & Pearson, R. M. (1988). Centenary celebration of Fick's Eine Contactbrille. *Arch. Ophthalmol.*, 106(10), 1370–1377. <https://doi.org/10.1001/archophth.1988.01060140534019>
- Ghanem, C., & Bailey, M. D. (2004) Maintenance and Handling of Contact Lenses. In Mannis, M. J., Zadnik, K., Ghanem, C., & Jose, N. (Eds.), *Contact Lenses in Ophthalmic Practice* (pp. 204-242). [https://doi.org/10.1007/0-387-21758-4\\_21](https://doi.org/10.1007/0-387-21758-4_21)
- Grant, N., Fujimoto, M., Caroline, P., & Norman, C. (2022). The Early Pioneers of Global Soft Contact Lens Development. *Hindsight: Journal of Optometry History*, (52)3, 48-57. <https://doi.org/10.14434/hindsight.v52i3.33501>
- Harvey, T.B., Meyers, W.B., Bowman, L.M. (1990). Contact Lens Materials: Their Properties and Chemistries. In C. G. Gebelein, & R.L. Dunn (Eds.), *Progress in Biomedical Polymers*. (pp. 1–5). Springer.g [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0768-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0768-4_1)
- Heater, B. (2022). *Smart contact lens startup Mojo Vision partners with Adidas and other sports brands*. Techcrunch. Retrieved May 24, 2023, from <https://techcrunch.com/2022/01/04/smart-contact-lens-startup-mojo-vision-partners-with-adidas-and-other-sports-brands>
- Heitz, R. F., & Enoch, J. M. (1987). Leonardo da Vinci: An assessment on his discourses on image formation in the eye. In A. Fiorentini, D. L. Guyton, & I. M. Siegel (Eds.), *Advances in Diagnostic Visual Optics* (pp. 19–26).
- Hill, R. M., & Schoessler, J. (1967). Optical membranes of silicone rubber. *J. Am. Optom. Assoc.*, 38(6), 480–483.



- Holden, B. A., Sweeney, D. F., Vannas, A., Nilsson, K. T., & Efron, N. (1985). Effects of long-term extended contact lens wear on the human cornea. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 26(11), 1489–1501.
- Lardinois, F. (2014). *Google unveils smart contact lens that lets diabetic measure their glucose levels*. Techcrunch. Retrieved May 24, 2023, from <https://techcrunch.com/2014/01/16/google-shows-off-smart-contact-lens-that-lets-diabetics-measure-their-glucose-levels>
- McMahon, T. T., & Zadnik, K. (2000). Twenty- five years of contact lenses – the impact on the cornea and ophthalmic practice. *Cornea*, 19(5), 730–740. <https://doi.org/10.1097/00003226-200009000-00018>
- Mertz, G. W. (1997). Development of contact lenses. Ch. 5, Section II, Contact Lenses. In H. Hamano, & H. Kaufman (Eds.), *Corneal Physiology and Disposable Contact Lenses* (pp. 65–99). Springer.
- Michalek, J., Podesva, J. & Duskova-Smrckova, M. (2022). True Story of Poly(2-Hydroxyethyl Methacrylate) -Based Contact Lenses: How Did It Really Happen. *Substantia*. 6(2), 79-91. <https://doi.org/10.36253/Substantia-1591>
- Morgan, P. B., Woods, C. A., Tranoudis, I. G., et al. (2016). International contact lens prescribing in 2015. *Contact Lens Spectrum*, 31(1), 28–33.
- Pearson, R. M., & Efron, N. (1989). Hundredth anniversary of August Müller’s inaugural dissertation on contact lenses. *Surv. Ophthalmol.*, 34(2), 133–141. [https://doi.org/10.1016/0039-6257\(89\)90041-6](https://doi.org/10.1016/0039-6257(89)90041-6)
- Pearson, R. M. (2015). Comments on Modern scleral contact lenses: a review [van der Worp et al. (2014)]. *Cont. Lens Anterior Eye*, 38(1), 73–74. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2014.09.005>
- Refojo, M. F., Holly, F. J., & Leong, F. L. (1977). Permeability of dissolved oxygen through contact lenses. *Cont. & Intraocular Lens Med.*, 3(4), 27-33
- Shah, B. H., & Chowdhury, P. H. (2020). Manufacturing Process of Contact Lens. *Int. Journal for Research in Health Sciences and Nursing*, 6(5).
- Smartphone Controlled Vision is Coming. (2017, July 17) Retrieved May 24, 2023, from <https://www.globenewswire.com/news-release/2017/07/17/1188290/0/en/Smartphone-%20Controlled-Vision-is-Coming.html>
- Szczotka, L. B. (2004). The future of GP continuous wear. *Contact Lens Spectrum*, 19(2), 21.
- Tighe, B. J. (1997). Contact lens materials. In A. J. Phillips, & I. L. Speedwell (Eds.), *Contact Lenses* (pp. 50–92). Elsevier
- Ulu, A., Balcioğlu, S., Birhanlı, E., Sarımeşeli, A., Keskin, R., Köytepe, S., & Ateş, B., (2018). Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)/boric acid composite hydrogel as soft contact lens material: Thermal, optical, rheological, and enhanced antibacterial properties. *Journal of Applied Polymer Science*, vol.135, no.35. <https://doi.org/10.1002/app.46575>
- Wichterle, O., & Lim, D. (1960). Hydrophilic gels for biological use. *Nature*, 185(4706), 117–118. <https://doi.org/10.1038/185117a0>
- Wichterle, O. (1978). The beginning of the soft lens. Historical development. In M. Ruben (Ed.), *Soft Contact Lenses - Clinical and Applied Technology* (pp. 3–5). Wiley.
- Young. (1801). The Bakerian Lecture. On the mechanism of the eye. *Phil. Trans. R. Soc. Lon.*, vol. 91, 23–88. <https://doi.org/10.1098/rstl.1801.0004>
- Zhu, Y., Li, S., Li, J., Falcone, N., Cui, Q., Shah, S., Hartel, M. C., Yu, N., Young, P., de Barros, N. R., Wu, Z., Haghniaz, R., Ermiş, M., Wang, C., Kang, H., Lee, J., Karamikamkar, S., Ahadian, S., Jucaud, V., Dökmeci, M. R., Kim, H. J., & Khademhosseini, A. (2022). Lab-on-a-Contact Lens: Recent Advances and Future Opportunities in Diagnostics and Therapeutics. *Advanced Materials*, Jun;34(24). <https://doi.org/10.1002/adma.202108389>

## Yapı Malzemelerinde PCM Kullanımının Binaların Isıl Özelliklerine Etkisi

Fatih Selim BAYRAKTAR<sup>1\*</sup>, Ramazan KÖSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Simav Teknoloji Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

Geliş: 01.05.2024, Kabul: 14.06.2024, Yayınlanma: 30.06.2024

### ÖZ

Enerji, modern yaşamın temel itici güçlerinden biridir ve insan hayatında hayati bir öneme sahiptir. Gelişmiş toplumlarda, enerjinin etkin ve verimli kullanımı bireylerin konforunu artırırken, özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin çevresel etkilerini azaltmaktadır. Bu bağlamda, binalarda enerji tasarrufu büyük bir önem taşımaktadır; çünkü yapıların enerji tüketimi toplam enerji kullanımının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yapı malzemelerinde faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı, binaların termal performansını artırmak için etkili bir yol olarak öne çıkmaktadır. FDM'ler, faz değişimi sırasında ısıyı emer ve/veya salarlar, böylece iç mekân sıcaklığını dengeleyerek klima gibi iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimini azaltmaktadır ve bina içinde daha istikrarlı bir ısı ortam sağlamaktadır. Bu da hem enerji maliyetlerinde tasarruf sağlamak hem de çevresel etkileri azaltmaktadır, böylece sürdürülebilir bir yaşam alanı oluşturmaktadır. Bu makalede binalarda FDM kullanımı konusunda çalışılarak son 3 yılda gerçekleştirilen FDM katkılanmış duvar harç malzemelerinin binaların ısı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar faz değiştiren malzeme kullanımının umut verici çıktılar oluşturduğunu yansıtmakta ve yapıların ısı özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Binalarda enerji analizi; Faz değiştiren malzeme; Harç; Isıl performans.

## The Effect of PCM Utilization on the Thermal Properties of Buildings in Construction Materials

### ABSTRACT

Energy stands as one of the fundamental driving forces in modern life, bearing critical significance in human existence. In advanced societies, the efficient and effective utilization of energy enhances individual comfort while notably mitigating the environmental impacts, particularly those stemming from fossil fuel-based energy production. In this context, energy conservation in buildings holds paramount importance, given that the energy consumption of structures constitutes a significant portion of total energy usage. The utilization of phase change materials (PCMs) in building materials emerges as an effective approach to enhance the thermal performance of buildings. PCMs absorb and/or release heat during phase transitions, thereby stabilizing indoor temperatures and reducing the energy consumption of climate control systems such as air conditioning, thus fostering a more stable thermal environment within the building. This not only facilitates savings in energy costs but also mitigates environmental impacts, thereby fostering the creation of sustainable living spaces. This article explores the use of PCMs in buildings, focusing on the investigation of the effects of PCM-enhanced wall mortar materials on the thermal properties of buildings over the past three years. The results reflect promising outcomes of PCM utilization, indicating improvements in the thermal properties of structures.

**Keywords:** Energy analysis in buildings; Phase change materials; Mortar; Thermal performance.

## 1. GİRİŞ

Enerjinin insanoğlunun hayatındaki önemi artan hayat standartları ve ekonomik ilerlemelerin etkisiyle özellikle son dönemde oldukça artmıştır. Enerji talebindeki artışın karşılanması konusu ülkelerin çözmesi gereken önemli bir sorundur. Enerji arzının güvenliği ve enerji bağımsızlığı için yerli ve yenilenebilir kaynaklardan enerji temini kadar enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufu konuları da önemlidir. Enerji tasarrufu, kullanıcıların hayat kalitesini düşürmeden tükettikleri enerji miktarında düşüş yapılmasıdır. Binalarda enerji tasarrufu yöntemlerinden biri de enerji depolama sistemleridir. Mekanik, kimyasal ve ısı ısı depolama sistemleri enerji depolama sistemleri içinde en öne çıkan örneklerdir. Isıl enerji depolama sistemleri, gizli ve duyu ısı depolama olmak üzere iki ana başlıkta toplanmaktadır. Bu çalışmanın da konusu olan gizli ısı depolama sistemleri, belli sıcaklık aralığında faz değiştiren malzemenin ısıyı depoladığı ve daha sonra ihtiyaç halinde kullanıcıların hizmetine verdiği sistemlerdir.

Çalışmalarda FDM katkısının ısı kapasiteyi artırması ve ısı iletkenliği azaltması beklenmektedir. Isıl kapasitenin artışı ani ısı dalgalanmalarını azaltmakta, ısıtma-soğutma yüklerini düşürmekte ve zaman gecikmesine yol açmaktadır. Zaman gecikmesi, elektrik ihtiyacının olması gereken zamandan daha ileriye ötelendiği durumları ifade etmektedir. Üç zamanlı elektrik sistemlerinde elektrik ihtiyacının elektrik fiyatının en yüksek olduğu zaman diliminden daha düşük olan zaman dilimlerine kaydırılması hem pik yük talebini azaltmakta hem de elektrik faturasını düşürmektedir. Isıl iletkenliğin azaltılması ile binanın ısı kütlesi artmakta ve bunun sonucunda dış ortamın olumsuz ısı etkileri iç ortam konforuna daha az sirayet edebilmektedir. Isıl kütle, binanın ısı tutma ve ısı transferini engelleme özelliğidir. Eski zamanlarda taş binaların yazın daha soğuk, kışın daha sıcak olduğu aktarılmaktadır. Bunun sebebi yapının dış ortam koşullarından daha az etkilenmesi ve sıcaklık dalgalanmalarını tolere edebilmesinden kaynaklanmaktadır. Binalarda faz değiştiren malzemelerin modern anlamda kullanımı ilk olarak 1940'lı yılların sonunda bir binanın güneş enerjisi ile pasif olarak ısıtılması çalışması ile Dr. Maria Telkes ve mimar arkadaşı Eleanor Raymond tarafından gerçekleştirilmiştir (Telkes ve Raymond, 1949). Macar kökenli Telkes 1920'li yıllardan beri güneş enerjisinin bina ısıtmada kullanılabilme ihtimalini incelemekteydi. Massachusetts'te bulunan Dover evi isimli yapıda faz değiştiren malzeme olarak Glauber Tuzunu kullanan araştırmacılar sistemin havanın kapalı olduğu on bir gün boyunca evin sıcaklığını koruduğunu gözlemiştir. Özellikle 1980 ve sonrasında daha da önem kazanan bu konu birçok çalışmada tercih edilmiştir.

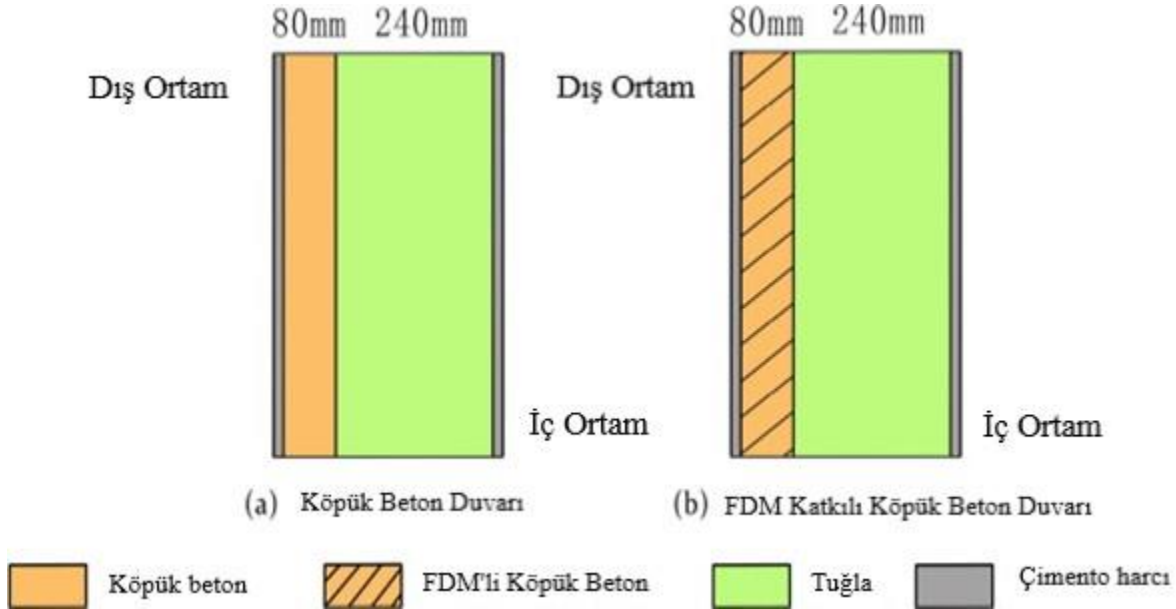
Bu çalışmada en önemli yapı bileşenlerinden biri olan harçta faz değiştiren malzeme kullanımının binaların ısı özelliklerine etkisi üzerine son üç yılda yapılan araştırmalar incelenmiştir. Prof. Dr. Ali Şimşek'in 2018 yılında yazdığı kitap bölümünde aktardığı derin alan yazın (literatür) taraması modelinde güncel doğrudan kaynaklara önem verilmesi gerekliliği göz önüne alınarak tarama yılları 3 sene ile sınırlandırılmıştır. Faz değiştiren malzemeler bu çalışmada FDM olarak kısaltılacaktır. Literatürde baskın şekilde bulunan İngilizce

kaynakların kullandığı PCM kısaltması ise literatüre uyumluluk düşünülerek başlıkta değiştirilmeden bırakılmıştır.

## 2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN HARÇ KARIŞIMINDA KULLANILMASI ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Bu başlıkta faz değiştiren malzeme içeren harç karışımlarının kullanıldığı ve ısıl özelliklerin araştırıldığı deneysel çalışmalar 2021-2024 yılları arasında alfabetik ve yıllara göre sıralanarak okuyucuya aktarılmıştır. Lakshan vd. çalışmalarında (2021) FDM katkılı harcın kullanıldığı duvar panellerinin ısıl özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlara göre FDM eklenmesi sonucu harcın ısıl iletkenliği %8,62 oranında düşürülmüştür. Salgueiro vd. yaptıkları çalışmada (2021) FDM katkılı kilin harç malzemesi olarak kullanımının binalarda iç ortam sıcaklık düzenlemesine etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan malzeme FDM katkısı ile ısıl iletkenlikte %24 düşüş, özgül ısı kapasitesinde ise %17 artış sağlamıştır.

Gencel ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada (2022) cam elyafı ile güçlendirilmiş alçı kompozitine mikrokapsüllenmiş FDM eklenmesi ile üretilen güncel bir ısıl enerji depolama malzemesinin binaların ısıl özelliklerine etkisi incelenmiştir. FDM katkısı ısıl iletkenliği %5 düşürürken binanın ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmada başarılı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1: Çimento ve PCM katkılı çimento duvarların tasarımları (Li vd., 2022).

Li vd. çalışmalarında (2022) Çin'in 5 farklı iklim bölgesindeki binaların duvarlarında FDM katkılı köpük beton kullanımını ısı ve ekonomik performans açısından araştırmıştır. Şekil 1'de araştırmacıların deneylerde kullandıkları tasarımlar gösterilmiştir. FDM kullanımını tüm iklim bölgelerinde iç ve dış sıcaklık arasındaki farkı dengelemiştir. Enerji tasarrufu maksimum olarak %37,2 değerine ulaşmıştır.

Ryms vd. yaptıkları çalışmada (2022) kullanılmış lastiklerden elde edilen yanma sonucu cürufa faz değiştiren malzeme ekleyerek bir çimento kompoziti oluşturmuş ve ısı performansını analiz etmiştir. Sonuçlar incelendiğinde üretilen FDM'li çimentonun ısı enerji depolama kapasitesi yanma sonu cürufuna göre %11 daha yüksek olmuştur.

Al-Yasiri ve Szabo çalışmalarında (2023) çok sıcak iklim şartlarında enerji tasarrufu ve karbon salımını azaltma amacıyla bina dış yüzeylerinde FDM katkılı malzeme kullanımını deneysel olarak incelemiştir. Maksimum ısı yük %8,71 oranında düşürülmüştür. Ayrıca CO<sub>2</sub> salımında azalma ise 1,35 kg/gün olarak gerçekleşmiştir.

Anter vd. yaptıkları çalışmada (2023) faz değiştiren malzemelerin bina duvarlarında kullanılması ile enerji tasarrufu ve binaların ısı performansı analiz edilmiştir. 6 farklı FDM ve 6 farklı FDM kalınlığının kullanıldığı deneylerde iç ve dış yüzeyde 1,5 cm kalınlığında 35°C erime sıcaklığına sahip FDM en iyi sonuçları vermiş ve toplam enerji kazancında %66 düşüş sağlanmıştır.

Cunha, Castro ve Aguiar'ın gerçekleştirdikleri çalışmada (2023) faz değiştiren malzeme katkılı alçı taşı bazlı harcın binalarda etkisi araştırılmıştır. %0, 5, 10 ve 20 oranında FDM katkılarının incelendiği çalışmada ilkbahar ve yaz aylarında deneyler yapılmıştır. Sonuçlara göre yaz aylarında binanın elektrik tüketimindeki azalış %17 olarak gerçekleşirken ilkbahar döneminde bu oran %59 olmuştur.

Frahat vd. çalışmalarında (2023) binalarda enerji tasarrufu sağlamak adına mikrokapsüllenmiş FDM katkılı sürdürülebilir çimento harcı tasarlamıştır. Sonuçlara göre FDM katkısı arttıkça ısı iletkenlik azalmakta ve bunun sonucunda ısı transferi de %18,3'e varan seviyelerde düşmektedir. Ayrıca yaşanan zaman kayması ile pik zamanlarda elektrik yüklerinde düşüşler sağlanmaktadır.

Izadi ve çalışma arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2023) ticari tuğlaların boşluklarına makrokapsüllenmiş FDM ekleyerek oluşturduğu sığınak duvarının ısı performansını araştırmıştır. 3 farklı FDM'nin kullanıldığı çalışmada farklı tuğla çeşitlerinin kullanımı ile oluşturulan kombinasyonların denenmesi sonucu 22°C erime sıcaklığına sahip FDM'nin kullanıldığı sistemdeki ortalama ısı akısı 24 saatlik süreçte normal tuğlaya göre %66,79 düşürülmüştür.

Jiang vd. gerçekleştirdikleri çalışmada (2023) agrega fırın cürufuna parafin-titanyum katkısı ile hazırlanan harcın hazırlanması ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre FDM katkısının en yüksek

olduğu durumda ısı iletkenlik %52,5 oranında düşmektedir. Ayrıca ısı enerji depolanması ile iç ortam sıcaklık dalgalanmaları azaltılmakta ve enerji tüketiminde düşüşler sağlanmaktadır.

Lu vd. çalışmalarında (2023) solar hava ısıtıcı ile havalandırılmalı FDM katkılı duvarı bir araya getirerek yeni bir tasarım geliştirmiş ve sistemin ısı performansını araştırmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en uygun çalışma şartlarında (35-45°C hava sıcaklığı ve 3-4m/s hava hızı) maksimum ısı enerji depolama verimliliği %87,6'ya ulaşmıştır. Kış şartlarında yapılan deneylerde FDM'li odanın sıcaklığı FDM'siz olana göre 6,3-10°C arasında daha yüksek kalmış ve ısı konfor şartlarına daha uygun değerler sunmuştur.

Ma ve çalışma arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2023) çok soğuk bölgelerde FDM-silika aerogel yapısını kış bahçesinde kullanarak kırsal alandaki bir konutun enerji performansını analiz etmiştir. Referans kış bahçesi ve FDM katkılı duvara sahip kış bahçesinin karşılaştırıldığı çalışma sonucunda ısıtmadaki enerji tüketimi %14 oranında azaltılmıştır.

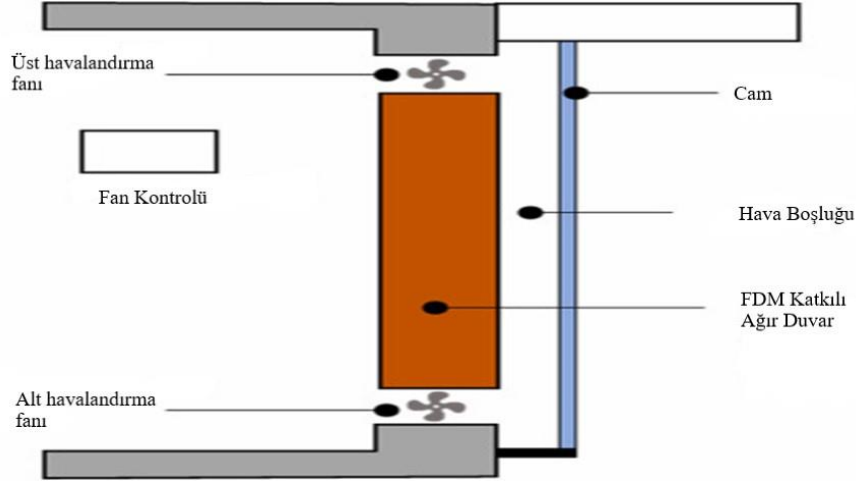
Nandy vd. çalışmalarında (2023) FDM'yi poliüretan köpüğe ekleyerek oluşturdukları paneli kullanarak ısı transferi ve enerji modelleme konusunda araştırma yapmıştır. Deney sonuçları, FDM kullanımının yıllık elektrik tüketimini %15-20 aralığında düşürdüğünü göstermiştir.

Ong vd. gerçekleştirdikleri çalışmada (2023) faz değiştiren malzemelerin ısı yalıtım malzemeleri ile entegre edilmesinin pasif binalar konseptine göre tropik iklimdeki binaların soğutma yüküne etkisini incelemiştir. Yüzey sıcaklığındaki düşüş 3,2°C olarak gerçekleşirken iç ortam sıcaklığındaki düşüş 5-7°C'ler bandında olmuştur.

Sarcinella ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2023) polietilen glikol bazlı FDM'nin eklendiği harcın binalarda enerji verimliliği için kullanılmasını ısı özellikler açısından araştırmıştır. Sonuçlar analiz edildiğinde soğutma yükünde düşüş %8 ve ısıtma yükünde düşüş %13 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca soğutma masrafında yaz aylarında %8, ilkbahar ve sonbahar aylarında ise %12 düşüşler sağlanmıştır.

Tamer vd. çalışmalarında (2023) FDM duvar levhasını gece havalandırması tekniği ile birleştirerek ofis binalarının aşırı ısınma riski ve enerji verimliliği özelliklerini iklim değişikliği etkilerini de göz önünde bulundurarak incelemiştir. 2020 ve 2050 yılları için hazırlanan senaryolarda PCM19 ve PCM25 isimli iki farklı faz değiştiren malzeme ısıtma ve soğutma yüklerini azaltma amacıyla kullanılmıştır. Sadece FDM'lerin kullanıldığı deneylerde PCM19 2020 yılı için %5-7,4 arasında ısıtma talebini azaltırken 2050 yılı için %7,8-9,2 arasında düşüş hesaplanmıştır. PCM25'in performansı ise 2020 yılında %1,9-4,3 arasında düşüş sağlarken 2050 yılı için %0,7-2,4 arasında olması beklenmektedir. Sadece gece havalandırması yapıldığında soğutma yükü 2020'de %23,2-25,7 arasında azalırken 2050'de %13,9-15,7 arasında düşüş gözlenmiştir. PCM25 ile gece havalandırması bir arada kullanıldığında ise 2020 yılında %29,4-30,6 arasında düşüş sağlanırken 2050 yılı için %16,6-17,5 azalma hesaplanmıştır.

Xiao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2023) Şekil 2’de de görüldüğü üzere FDM katkıli Trombe duvarı sisteminin Çin’de sıcak yaz ve soğuk kış iklimine sahip bir binada kullanımının enerji verimliliğini optimize etme potansiyelini incelemiştir. FDM eklenmesinin ısıtma sezonunda enerji talebini %71,53 oranında azalttığı ve ısıl konforu arttırdığı ölçülmüştür.



Şekil 2: FDM katkıli Trombe duvar sistemi tasarımı (Xiao vd., 2023).

Cesari vd. gerçekleştirdikleri çalışmada (2024) alttan ısıtma sisteminde dama tahtası deseninde iki farklı FDM kullanarak ısıtma ve soğutma uygulamalarının etkilerini gerçek boyutlarda bir sistemde gözlemlemiştir. Kış aylarında ısıtma enerjisi talebinde %13 azalma sağlanırken elektrikli iklimlendirme cihazlarının günlük kullanım süreleri %70 düşürülmüştür.



Şekil 3: FDM katkıli tuğlaların üretimi aşaması (Li vd., 2024).



Li, Xu ve Zhang yaptıkları çalışmada (2024) Şekil 3'te gösterildiği gibi FDM'yi çimento cürufuna ekleyerek alttan ısıtma sistemi için %0 ile 15 arasında çeşitli oranlarda harçlar oluşturmuş, bu harçların ısı ve mekanik özelliklerini deneysel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre her %1'lik FDM eklenmesinde ısı iletkenlik %9 düşmektedir.

Pirasaci ve Sunol yaptıkları çalışmada (2024) FDM-kompozit agrega uygulamasının Türkiye'de bina ısı performansını açısından incelenmesini gerçekleştirmiştir. Sonuçlara göre FDM katkılı harcın Erzurum'da ısıtma yükünü %0,22 azalttığı, İzmir'de ise soğutma yükünü %1,7 azalttığı hesaplanmıştır. Böylece FDM katkılı agrega harcın Türkiye'de farklı iklim koşullarında enerji tasarrufu sağlayabildiği anlaşılmıştır.

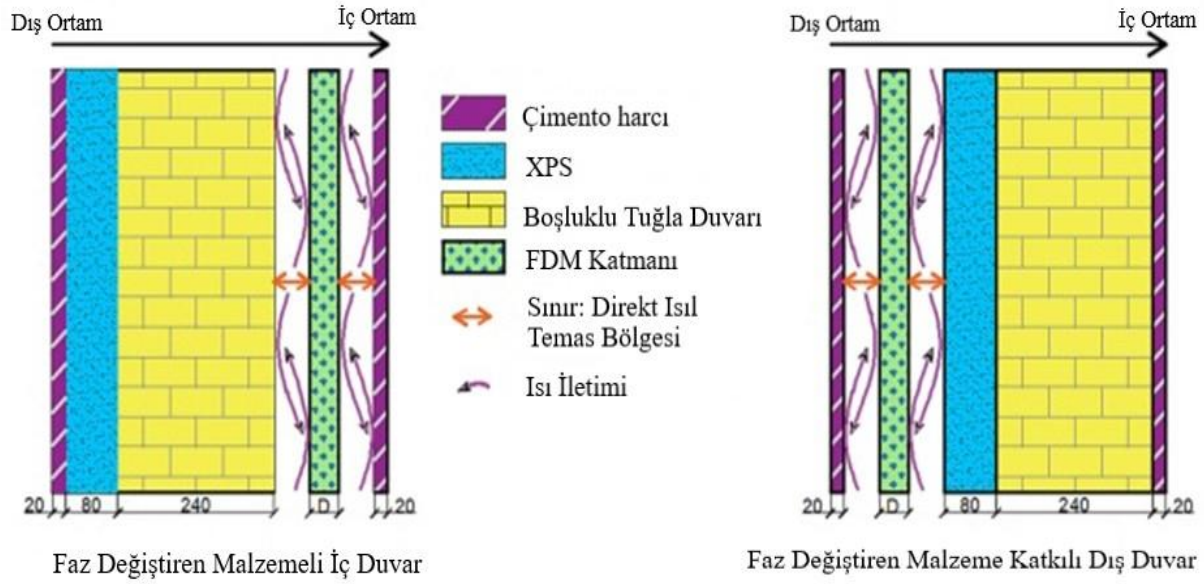
Sarı ve çalışma arkadaşları çalışmalarında (2024) enerji etkin binalarda kullanılmak üzere doğal zeolite dodesil alkol katkılayarak şekil stabileli kompozit FDM oluşturarak yeni bir çimento harcı meydana geliştirmiştir. Pik iç ortam sıcaklığında %10'a varan düşüşler sağlanırken 3 saatlik bir zaman gecikmesi de yaşanmıştır.

Taj ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri çalışmada (2024) kil tuğlaya ötektik FDM eklenmesinin binaların dış yüzeylerinde ısı performans yönetimine etkisini deneysel çalışma ile incelemiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde iç sıcaklıkta 4-5,5°C düşüş sağlanmasını müteakip sıcaklık dalgalanmalarının yaklaşık %32 azaldığı ölçülmüştür. Ayrıca toplam ısı akısındaki düşüş %25-30 bandında gerçekleşmiştir.

Topçu vd. çalışmalarında (2024) sepiolit bazlı şekil stabileli FDM katkılı yenilikçi bir çimento harcı geliştirerek binaların ısı kontrolünü sağlamayı hedeflemiştir. Gerçek zamanlı ısı deneylerinin sonuçlarına göre FDM katkılı harç faz değiştiren malzemenin ısı soğurma ve depolama kapasitesini kullanarak iç ortam sıcaklığını dengelemeyi başarabilmiştir. İç yüzeye yakın bölge ile odanın merkezi arasındaki sıcaklık farkı normal sistemden 1,93°C daha düşük gerçekleşirken maksimum sıcaklık farkı 3,34°C olmuştur.

Vargas vd. yaptıkları çalışmada (2024) ağırlıkça %10-20 oranda mikrokapsüllenmiş parafin bazlı FDM'li çimento harcının enerji depolamasına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Sonuçlara göre FDM oranı arttıkça ısıtma ve soğutma yükleri azalmaktadır. Ayrıca çevre sıcaklığına maruz kalan ile maruz kalmayan duvarlar arasındaki sıcaklık farkları artmaktadır. Faz değişim sıcaklığına yakın sıcaklıklarda FDM'ler daha verimli çalışmaktadır. Faz değişim sıcaklığından 5°C farklı aralıklarda çalışan FDM'ler çimento harcının toplam enerji depolanmasını %238-330 arasında artırırken 15°C farklı aralıklarda bu oranlar %70-88 arasında artmaktadır.

Wang vd. çalışmalarında (2024a) Çin'in soğuk bir bölgesinde ofis binalarında kullanılmak üzere üretilen FDM katkılı harcın pasif tasarım ve iklim etkileri açısından analizini gerçekleştirmiştir. Araştırmacıların tasarımları Şekil 4'te aktarılmıştır. Sonuçlara göre enerji tasarrufu herhangi bir ek CO<sub>2</sub> salımı gerçekleştirilmeden %13'ten fazla olmuştur.



Şekil 4: Faz değıştiren malzeme katkıli duvarın yapısal şeması (Wang vd., 2024a).

Wang ve çalışma arkadaşlarının 2024 yılında gerçekleştirdikleri bir diğerk çalışmada perlit bazlı çimento harcına FDM olarak kaprik-stearik asit karışımı eklenerek ısıl enerji depolama özelliğine sahip yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir. Üretilen malzemenin özgül ısıl kapasitesi normal harca göre %142,68 artarken ısıl iletkenliği %62,35 azalmıştır.

Wang vd. yaptıkları çalışmada (2024c) uçucu küle parafin bazlı FDM ekleyerek alttan ısıtma sistemlerinde enerji depolamayı hedeflemiştir. Üretilen harç ile ısıl iletkenlikte %15,8 düşüş, özgül ısıl kapasitesinde ise %53,5 artış sağlanmıştır. Ayrıca sıcaklık dalgalanmaları düşürülürken konforlu sıcaklık süresi de artırılabilmiştir.

### 3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Literatür araması sonucu konuyla ilgili 28 çalışma tespit edilerek okuyuculara aktarılmıştır. Söz konusu çalışmalardan alınan sonuçlar derlendiğinde;

- 3 farklı çalışmanın ortalamasına göre (Salgueiro vd., 2021; Wang vd., 2024b ve Wang vd., 2024c) FDM'nin özgül ısıl kapasitesini %71,1 artırdığı,
- 7 çalışmanın ortalamasına göre (Lakshan vd., 2021; Salgueiro vd., 2021; Gencel vd., 2022; Jiang vd., 2023; Li vd., 2024; Wang vd., 2024b ve Wang vd., 2024c) ısıl iletkenliği %25,3 azalttığı,
- 3 farklı çalışmanın sonuçlarına göre (Ryms vd., 2022; Al-Yasiri vd., 2023 ve Vargas vd., 2024) ısıl kapasiteyi % 105,1 artırdığı,

- 7 çalışmanın sonuçlarına göre (Anter vd., 2023; Frahat vd., 2023; Izadi vd., 2023; Sarcinella vd., 2023; Tamer vd., 2023; Pırasacı vd., 2024 ve Taj vd., 2024) ısı kazancını ortalama olarak %25,7 azalttığı ve
- 8 farklı çalışmaya göre (Li vd., 2022; Cunha vd., 2023; Ma vd., 2023; Nandy vd., 2023; Tamer vd., 2023; Xiao vd., 2023; Cesari vd., 2024 ve Wang vd., 2024a) %25,2 enerji tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır.

Özetle faz değiştiren malzemeler, binaların ısı özelliklerini iyileştirerek enerji talebini azaltmakta ve elektrik sarfiyatını düşürerek olumlu çıktılar üretmektedir.

Faz değiştiren malzemelerin yapı malzemelerinden harçta kullanılması sonucu elde edilen pozitif veriler gelecek çalışmalar için teşvik edici niteliktedir. Araştırmacıların sonraki çalışmalarda harç dışındaki diğer yapı malzemelerinde faz değiştiren malzeme kullanılmasının ısı özelliklerine etkilerini incelemeleri ile literatürü geliştirmek adına önemli adımlar atılmış olacaktır. Ayrıca FDM katkılı yapı malzemelerinin farklı yapı bileşenlerinde etkisinin araştırılması ve bu etkilerin karşılaştırılması da binalarda FDM'lerin etkisi konusunda diğer araştırmacılara ışık tutacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKILARI

F.S.B.: Kavramsallaştırma, yöntem, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

R.K.: Yöntem, doğrulama, kaynaklar, gözden geçirme ve düzenleme.

## KAYNAKLAR

- Al-Yasiri, Q. & Szabo, M. (2023). Experimental study of PCM-enhanced building envelope towards energy-saving and decarbonisation in a severe hot climate. *Energy & Buildings*, 279, 112680. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112680>
- Anter, A. G., Sultan, A. A., Hegazi, A. A. & El Bouz, M. A. (2023). Thermal performance and energy saving using phase change materials (PCM) integrated in building walls. *Journal of Energy Storage*, 67, 107568. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107568>
- Cesari, S., Baccaga, E., Emmi, G. & Bottarelli, M. (2024). Enhancement of a radiant floor with a checkerboard pattern of two PCMs for heating and cooling: Results of a real-scale monitoring campaign. *Applied Thermal Engineering*, 246, 122887. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122887>
- Cunha, S., Castro, J. & Aguiar, J. B. (2023). Impact of gypsum mortars functionalized with phase change materials in buildings. *Journal of Energy Storage*, 72, 108608. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108608>
- Frahat, N. B., Amin, M., Heniegall, A. M. & Ibrahim, O. M. O. (2023). Optimizing microencapsulated PCM ratios of sustainable cement mortar for energy savings in buildings. *Construction and Building Materials*, 391, 11844. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131844>
- Gencil, O., Hekimoglu, G., Sarı, A., Ustaoglu, A., Subasi, S., Marasli, M., Erdogmus, E. & Memon, S. A. (2022). Glass fiber reinforced gypsum composites with microencapsulated PCM as novel building thermal energy

- storage material. *Construction and Building Materials*, 340, 127788. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127788>
- Izadi, M., Taghavi, S. F., Safavi, S. H. N., Afsharpanah, F. & Yaici, W. (2023). Thermal management of shelter building walls by PCM macro-encapsulation in commercial hollow bricks. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 103081. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103081>
- Jiang, J., Lei, L., Jin, C., Liu, T., Huang, J., Wu, Y., Lv, S., Lu, Z., Zheng, L. & Li, J. (2023). Preparation, microstructure, performance and mortar application of paraffin/titanium-bearing blast furnace slag phase change aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02262. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02262>
- Lakshan, R. R., Rosini, A. M., Sathiyam, K., Gangadharan, D., Sathyan, D. & Mini, K. M. (2021). Study on thermal insulating properties of PCM incorporated wall panels. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5118-5122. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.501>
- Li, Q., Ju, Z., Wang, Z., Ma, L., Jiang, W., Li, D. & Jia, J. (2022). Thermal performance and economy of PCM foamed cement walls for buildings in different climate zones. *Energy & Buildings*, 277, 112470. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112470>
- Li, G., Xu, G. & Zhang, J. (2024). Experimental investigation of thermal and mechanical characteristics of slag cement mortars with PCM for radiant floors. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02958. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02958>
- Lu, S., Zheng, J., Wang, R. & Zhu, J. (2023). Thermal performance research on a novel coupled heating system combined solar air heater with ventilation PCM wall. *Solar Energy*, 265, 112100. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112100>
- Ma, L., Luo, D., Hu, H., Li, Q., Yang, R., Zhang, S. & Li, D. (2023). Energy performance of a rural residential building with PCM-silica aerogel sunspace in severe cold regions. *Energy & Buildings*, 280, 112719. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112719>
- Nandy, A., Houl, Y., Zhao, W. & D'Souza, N. A. (2023). Thermal heat transfer and energy modeling through incorporation of phase change materials (PCMs) into polyurethane foam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113410. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113410>
- Ong, P. J., Lum, Y. Y., Soo, X. Y. D., Wang, S., Wang, P., Chi, D., Liu, H., Kai, D., Lee, C. L. K., Yan, Q., Xu, J., Loh, X. J. & Zhu, Q. (2023). Integration of phase change material and thermal insulation material as a passive strategy for building cooling in the tropics. *Construction and Building Materials*, 386, 131583. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131583>
- Pirasaci, T. & Sunol, A. (2024). Potential of phase change materials (PCM) for building thermal performance enhancement: PCM-composite aggregate application throughout Turkey. *Energy*, 292, 130589. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130589>
- Ryms, M., Januszewicz, K., Haustein, E., Kazimierski, P. & Lewandowski, W. M. (2022). Thermal properties of a cement composite containing phase change materials (PCMs) with post-pyrolytic char obtained from spent tyres as a carrier. *Energy*, 239, 121936. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121936>
- Salgueiro, T., Samagaio, A., Gonçalves, M., Figueiredo, A., Labrincha, J. & Silva, L. (2021). Incorporation of phase change materials in an expanded clay containing mortar for indoor thermal regulation of buildings. *Journal of Energy Storage*, 36, 102385. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102385>
- Sarcinella, A., de Aguiar, J. L. B., Jesus, C. & Frigione, M. (2023). Thermal properties of PEG-based form-stable Phase Change Materials (PCMs) incorporated in mortars for energy efficiency of buildings. *Journal of Energy Storage*, 67, 107545. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107545>
- Sarı, A., Nas, M., Yeşilata, B., Ustaoglu, A., Erdoğmuş, E., Torlaklı, H., Hekimoğlu, G. & Gencil, O. (2024). A novel cement mortar comprising natural zeolite/dodecyl alcohol shape stable composite phase change material for energy effective buildings. *Journal of Energy Storage*, 87, 111266. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111266>
- Şimşek, A. (2018). Alanyazın taraması. Ali ŞİMŞEK (Ed.), *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri* (s. 52-79) Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınevi.
- Taj, S. A., Khalid, W., Nazir, H., Khan, A., Sajid, M., Waqas, A., Hussain, A., Ali, M. & Zaki, S. A. (2024). Experimental investigation of eutectic PCM incorporated clay brick for thermal management of building envelope. *Journal of Energy Storage*, 84, 110838. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110838>
- Tamer, T., Dino, I. G., Baker, D. K. & Akgül, C. M. (2023). Coupling PCM wallboard utilization with night Ventilation: Energy efficiency and overheating risk in office buildings under climate change impact. *Energy & Buildings*, 298, 113482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113482>
- Telkes, M. & Raymond, E. (1949). Storing solar heat in chemicals – a report on the Dover house. *Heating and*

- Ventilating*, 49, 80-86. <https://www.osti.gov/biblio/5118227>
- Topçu, İ. B., Bayram, M., Ustaoglu, A., Hekimoğlu, G., Erdoğan, E., Sarı, A., Gencil, O. & Ozbakkaloglu, T. (2024). Innovative cementitious mortar incorporated with sepiolite based shape-stable phase change material for thermal controlling of buildings. *Construction and Building Materials*, 426, 136124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136124>
- Vargas, V. Z., Claros-Marfil, L. J., Sandoval, G. F. B., Rojas, B. H., Santos, A. G. & Gonzalez, F. J. N. (2024). Experimental assessment of energy storage in microcapsulated paraffin PCM Cement mortars. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02959. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02959>
- Wang, G., Li, X., Chang, C. & Ju, H. (2024a). Multi-objective passive design and climate effects for office buildings integrating phase change material (PCM) in a cold region of China. *Journal of Energy Storage*, 82, 110502. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110502>
- Wang, M., Liu, S., Han, J., Bai, R., Gao, W. & Zhou, M. (2024b). A novel capric-stearic acid/expanded perlite-based cementitious mortar for thermal energy storage. *Solar Energy*, 273, 112501. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112501>
- Wang, F., Qiao, Z., Zheng, W., Li, Y., Gou, Y., Qi, Y. & Li, H. (2024c). Preparing gypsum-based self-levelling energy storage mortar via fly ash cenospheres/paraffin used for floor radiant heating. *Construction and Building Materials*, 423, 135865. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135865>
- Xiao, Y., Zhang, T., Liu, Z., Fei, F. & Fukuda, H. (2023). Optimizing energy efficiency in HSCW buildings in China through temperature-controlled PCM Trombe wall system. *Energy*, 278, 128015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128015>

## Türkiye'nin Trakya Bölgesi'ndeki Sınır Kapıları Yakınlarından Alınan Toprak Örneklerindeki Radyonüklid Miktarının Ölçülmesi ve Doz Hesaplanması: Dereköy ve Pazarkule Örneği

M. Beste ÖZTÜRK<sup>1\*</sup> , Serpil AKÖZCAN PEHLİVANOĞLU<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 13.05.2024, Kabul: 27.06.2024, Yayınlanma: 30.06.2024

### ÖZ

İnsanlar dünyanın var oluşundan beri radyoaktivitenin etkisi altındadır. İnsanların maruz kaldıkları en yaygın radyasyon kaynakları dünya atmosferindeki kozmik ışınların etkileşimi ve yer kabuğundaki uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanan doğal radyoaktivitedir. Topraktaki doğal radyoaktivite U, Th serileri ve <sup>40</sup>K'dan kaynaklanmaktadır. Doğal olarak oluşan radyoaktif çekirdeklere ilaveten birçok radyoaktif çekirdek nükleer silah denemeleri, nükleer güç reaktörleri, araştırma reaktörleri ve nükleer yakıt üretimi gibi yapay yollarla çevreye yayılmaktadır. Bu çalışmada, Dereköy ve Pazarkule sınır kapılarından alınan toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Toprak örneklerindeki radyoaktivite düzeyleri HPGe gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüş olup, <sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U), <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları hesaplanarak belirlenmiştir. Toprak örnekleri için, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs ortalama radyoaktivite değerleri sırasıyla; 37,63; 56,07; 794,47 ve 6,23 Bq kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Toprak örnekleri için radium eşdeğer aktivitesi hesaplanmış ve ortalama değer 178,99 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Ortalama soğurulan doz değeri 84,38 nGy.h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Bölge için ayrıca yıllık etkin doz hızı hesaplanmış olup, bu değer 40,38-124,38 µSv.y<sup>-1</sup> aralığında değiştiği ve ortalamasının 103,48 µSv.y<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Radyoaktivite; Toprak; Gama; HPGe; Doz.

## Measurement of Radionuclide Amount and Dose Calculation in Soil Sample Taken Near from Border Gates in Türkiye's Thrace Region: The Case of Derekoy and Pazarkule

### ABSTRACT

Humans have been under the influence of radioactivity since the creation of the world. The most common sources of radiation to which humans are exposed are the interaction of cosmic rays in the Earth's atmosphere and natural radioactivity from long half-life radioactive nuclei in the Earth's crust. Natural radioactivity in soil comes from the U, Th series and <sup>40</sup>K. In addition to naturally occurring radioactive nuclides, many radioactive nuclides are released into the environment by artificial means such as nuclear weapons testing, nuclear power reactors, research reactors and nuclear fuel production. In this study, it was aimed to determine the radioactivity levels in soil samples taken from Derekoy and Pazarkule border gates.

*Araştırma Makalesi*

DOI: 10.34186/klujes.1483361

The radioactivity levels in the soil samples were determined by calculating the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ),  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and  $^{40}\text{K}$  ( $^{238}\text{U}$ ) using HPGe gamma spectrometer. The average radioactivity values of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  for soil samples were determined as 37,63, 56,07, 794,47 and 6,23 Bq  $\text{kg}^{-1}$ , respectively. Radium equivalent activity was calculated for soil samples and the average value was found to be 178,99 Bq  $\text{kg}^{-1}$ . The average absorbed dose values for soil samples were calculated. It was found between 32,92 – 101,74 nGy.h<sup>-1</sup> respectively and the average was 84,38 nGy.h<sup>-1</sup>. The annual effective dose rate was calculated for the region. It was found that this value varied between 40,38- 124,78  $\mu\text{Sv.y}^{-1}$  and the average was 103,48  $\mu\text{Sv.y}^{-1}$ .

**Keywords:** Radioactivity; Soil; Gamma; HPGe; Dose.



## **1. GİRİŞ**

Radyasyonun keşfedilmesinden sonra, radyasyonun meydana getirdiği zararlı etkilerinden korunmak önemli hale gelmiştir (Akça, 2011). Bunun için çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmaktadır. Çevresel radyoaktivite tayinlerini yapmaktaki en önemli neden, canlıların doğal ya da yapay radyasyon kaynaklarından etkilenmiş oldukları miktarların ve bu miktarların zararlarının belirlenmesidir. Radyasyon doz tayininde toprak, sediment, su, hava ve bina yapı malzemelerindeki radyonüklid dağılımlarının doğal ve yapay radyonüklidler için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir (Gönen, 2012).

Yerkürede bulunan radyonüklidlerin dağılımı farklı konumlarda değişiklik göstermekte olup, bir bölgenin radyasyon düzeylerini etkileyen en önemli etkidir. Doğal radyasyon seviyeleri bir bölgenin bulunduğu yüksekliğe göre değişiklik göstermektedir. Örneğin doğal bir radyasyon kaynağı olan kozmik ışınların deniz seviyesindeki etkisi az miktardaiken deniz seviyesinden daha yukarıda artmaktadır (Gönen, 2012; Özger, 2005).

Çevresel radyoaktivite çalışmaları yaparken bölgedeki radyoaktivitenin saptanması için, temel radyasyon seviyeleri baz alınarak değerlendirme yapılmalıdır. Böylece o bölgenin çevresel radyasyon miktarını bilerek, olası meydana gelebilecek nükleer kaza, nükleer sızıntılar sonrasında ne oranda değişim gösterdiği belirlenmiş olur (Bostancı, 2011).

Bu amaçla bu çalışmada Trakya Bölgesi'nin iki önemli sınır kapısı olan Kırklareli'nde bulunan Dereköy ve Edirne'de bulunan Pazarkule sınır kapıları yakınlarından toprak örnekleme yapılarak bazı doğal ve yapay radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **2. MATERYAL VE METOT**

### ***2.1. Örneklerin Toplanması ve Hazırlanma Süreci***

Bu çalışmada Yunanistan'a açılan Pazarkule sınır kapısı yakınlarından ve Bulgaristan'a açılan Dereköy sınır kapısı yakınlarından olmak üzere 5 farklı koordinat noktasından örnek toplanmıştır. Örnekleme yapılan sınır kapıları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Örnekleme için belirlenen koordinat noktalarındaki toprağın yaklaşık 10 cm altından alınan örnekler, 2 kg'lık plastik saklama poşetlerine konularak her bir örneğe ait koordinat noktaları etiketlere yazılarak poşetlerin üzerine yapıştırılmıştır. Örnekler, hazırlama ve analizlerin yapılacağı Kırklareli Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı'na getirilmiştir. Toprak örnekleri içerisindeki nemin uzaklaştırılması için etüv kullanılarak 105 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Örnekler kurutulduktan sonra içerisinde bulunan ot, yaprak, taş vb. gibi maddelerden arındırılmıştır. Daha sonra örneklerin her biri ayrı

şekilde elekten geçirilerek havanda öğütülerek mümkün olan en küçük hale getirilmiştir. Toprak örnekleri toz haline getirildikten sonra hacimleri 250 ml olan plastik kaplara konulmuştur. Örneklerin hava almaması için plastik kapların etrafları parafin denilen bant ile sarılmıştır. Örneklerin içerisindeki radyonüklidlerin dengeye gelmesi amacıyla yaklaşık  $35 \pm 5$  gün bekletilmiştir. Ayrıca aktivite hesabında kullanılacak olan ağırlık bilgisi her bir örnek için ayrı ayrı tartılarak not alınmıştır.



Şekil 1. Örnekleme yapılan bölgenin haritası.

## 2.2. Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Gama spektrometre sistemi çevresel radyoaktivite analizlerinde en çok kullanılan ölçme yöntemidir. Bu çalışmada örnekleme yapılan toprakların gama spektrometre sistemi analizleri, HPGe (High Purity Germanium) adındaki yüksek saflığa sahip dedektör ile yapılmıştır. Çalışmada, Ortec GEM 70P4-95 HPGe saf germanyum gama dedektörü kullanılmıştır. Dedektör kurşun bir zırh içerisindedir ve %70 relatif verime sahiptir. Radyonüklidler için aktivite konsantrasyonları için aktivite hesabı Denklem 1 kullanılarak yapılmıştır.

$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon.t.I.m} \quad (1)$$

Burada  $A$ , hesaplanan aktivite ( $Bq \text{ kg}^{-1}$ ) değerini,  $N_{net}$  net pik alanı ifadesini,  $\varepsilon$  ilgilenilen pik için dedektör verimini,  $t$  sayım süresini (s),  $m$  numunenin kütlesini (kg),  $I$  gama enerjisinin yayınlanma olasılığını belirtmektedir (Bostancı, 2011).  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu  $^{214}\text{Pb}$ 'a ait 351,9 keV ve  $^{214}\text{Bi}$ 'a ait 609,3 keV değerlerindeki gama pikleri,  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu 1460,8 keV değerindeki gama piki,  $^{232}\text{Th}$  aktivite

konsantrasyonu  $^{228}\text{Ac}$ 'e ait 911,2 keV ve  $^{208}\text{Tl}$ 'e ait 583,1 keV değerlerindeki gama pikleri,  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu ise 661,7 keV değerindeki gama piki kullanılarak elde edilmiştir.

Gama Spektrometre analizi kalibrasyonu  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  pikleri bilinen aktivite seviyelerini içeren, 80 ila 2500 keV enerji aralığına sahip standart bir karışık kaynak (İzotop Ürünleri Laboratuvarları) kullanılarak yapılmıştır (Özden vd., 2023).

### 2.3. Radyolojik Parametreler

Türkiye'nin Trakya Bölgesi'nde bulunan Dereköy ve Pazarkule sınır kapılarından alınan örneklerin analizleri sonucu elde edilen aktivite konsantrasyon değerleri kullanılarak, radyasyonun canlılarda meydana getirdiği etkileri belirleyebilmek için bazı radyolojik parametreler hesaplanmıştır.

#### 2.3.1. Radyum Eşdeğer Aktivitesi ( $R_{eq}$ )

Radyum eşdeğer aktivitesi, toprakta aynı şekilde dağılım göstermeyen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ' un birleşik radyolojik etkilerini bulmak için kullanılmaktadır (Mehra vd., 2012). Radyum eşdeğer aktivitesi hesabı Denklem 2 kullanılarak yapılmaktadır.

$$R_{(eq)} (Bq \cdot kg^{-1}) = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1,43) + (A_K \times 0,077) \quad (2)$$

Bağlantıda bulunan  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını ifade etmektedir.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesinin 1 Bq.kg<sup>-1</sup> değeri ile  $^{232}\text{Th}$  aktivitesinin 0,7 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinin ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin 13 Bq.kg<sup>-1</sup> değerinin aynı gama dozu ürettiği anlamına gelmektedir.

#### 2.3.2. Karasal Soğrulan Gama Doz Hızı (D)

Yaşadığımız çevredeki radyoaktif kaynakların oluşturduğu gama radyasyonunun canlıların sağlığı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bu etki toprağın yüzeyinden 1 m yükseklikte karasal soğrulan gama doz hızının (D) hesaplanmasıyla bulunur (Mehra vd., 2012). Karasal soğrulan gama doz hızı Denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$D (nGy h^{-1}) = 0,462 A_{Ra} + 0,604 A_{Th} + 0,0417 A_K \quad (3)$$

Bağlantıda yer alan  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları anlamına, 0,462, 0,604 ve 0,0417 katsayıları sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin dönüşüm katsayısını ifade etmektedir.

### 2.3.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Dünya üzerinde yaşayan insanların, bir sene boyunca farklı radyasyon kaynaklarının ışınmaları etkisinde kaldıkları radyasyon dozu “yıllık etkin doz eşdeğeri” olarak tanımlanır. Yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$AEDE (\mu Sv y^{-1}) = D (nGy h^{-1}) \times 8760 (h) \times 0,2 \times 0,7 (Sv Gy^{-1}) \times 10^{-3} \quad (4)$$

Bağlantıda bulunan D soğrulan gama doz hızını, 8760 sayısı bir yılın saate çevrilmiş süresini ifade etmektedir. 0,2 katsayısı insanların günlerinin %20'lik kısmını açık havada geçirdikleri düşünülerek kullanılan meşgulliyet faktörüdür. 0,7 katsayısı ise havadan soğrulan doz hızının etkin doza dönüştürülmesi için kullanılan dönüşüm katsayısı anlamına gelmektedir (Özden, 2000; Bozkurt, 2019).

### 2.3.4. Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski (ELCR) insanların ömürleri boyunca maruz kaldıkları radyasyonun sebep olduğu kanser riski olasılığı anlamına gelmektedir. Yaşam boyu kanser riski (ELCR) Denklem 5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF \quad (5)$$

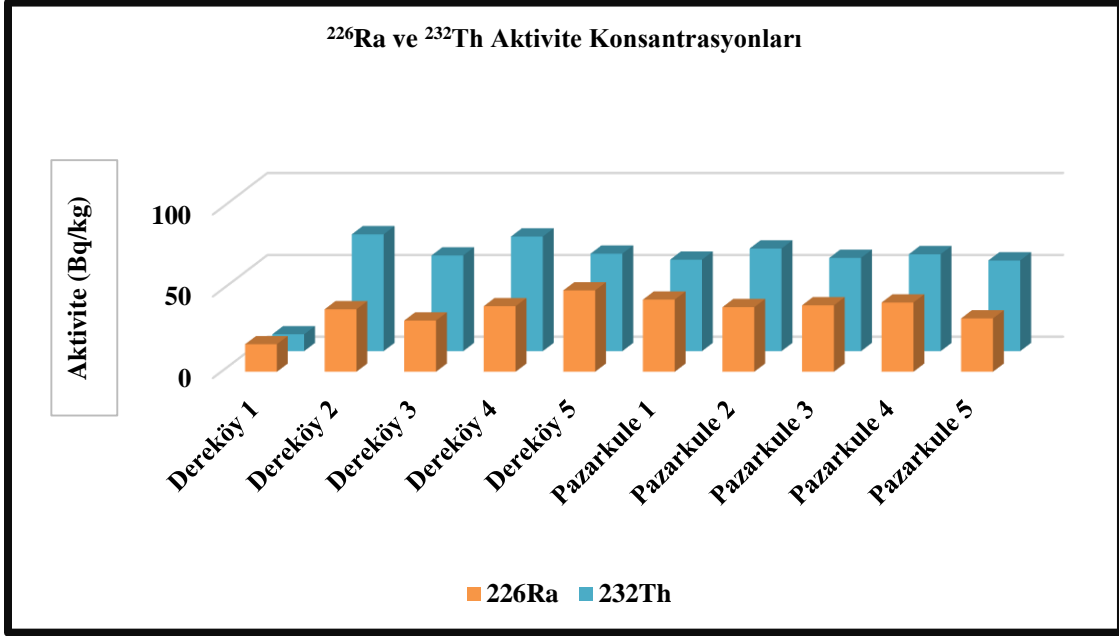
Bu formülde AEDE yıllık etkin doz eşdeğeri, DL yaşam süresi (70 yıl) ve RF risk faktörü ( $Sv^{-1}$ ) anlamına gelmektedir.

## 3. SONUÇLAR

### 3.1. Gama Radyonüklid Konsantrasyonları

Dereköy (DK) ve Pazarkule (PK) sınır kapıları yakınlarından toplanan toprak örneklerin  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{40}K$  ve  $^{137}Cs$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

Toprak örnekleri için yapılan hesaplamalarda  $^{226}Ra$  için aktivite konsantrasyonunun  $16,85 Bq.kg^{-1}$  ile  $49,86 Bq.kg^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $37,63 Bq.kg^{-1}$  olduğu bulunmuştur.  $^{232}Th$  için aktivite konsantrasyonunun  $10,32 Bq.kg^{-1}$  ile  $71,45 Bq.kg^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $56,07 Bq.kg^{-1}$  olduğu bulunmuştur.  $^{226}Ra$  ve  $^{232}Th$  aktivite konsantrasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.



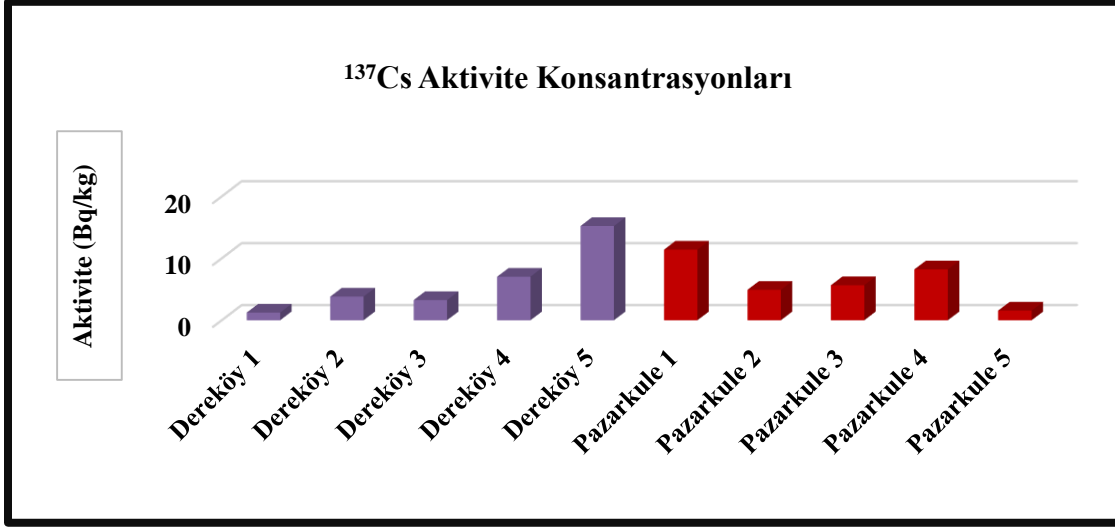
Şekil 2. Toprak örneklerindeki <sup>226</sup>Ra ve <sup>232</sup>Th radyonüklid konsantrasyonları.

Toprak örneklerinde yapılan ölçümlerde <sup>40</sup>K için hesaplanan aktivite konsantrasyonunun 453,51 Bq.kg<sup>-1</sup> ile 980,75 Bq.kg<sup>-1</sup> aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 794,47 Bq.kg<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur. <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Toprak örneklerindeki <sup>40</sup>K konsantrasyonları.

Toprak örnekleri için hesaplanan  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonunun  $1,24 \text{ Bq.kg}^{-1}$  ile  $15,22 \text{ Bq.kg}^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu ve ortalama aktivite konsantrasyonunun  $6,23 \text{ Bq.kg}^{-1}$  olduğu bulunmuştur. Her bir örnekleme noktası için ölçülmüş olan  $^{137}\text{Cs}$  için aktivite konsantrasyonu Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Toprak örneklerindeki  $^{137}\text{C}$  konsantrasyonları.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar UNSCEAR 2000 raporuyla karşılaştırıldığında  $^{226}\text{Ra}$  ortalama aktivite konsantrasyonu UNSCEAR sonucu olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile uyumlu bulunmuştur. Fakat  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonları UNSCEAR tarafından önerilen ortalama konsantrasyonlardan yüksek çıkmıştır (UNSCEAR, 2000). Örnek toplanan bölgelerin tarım arazileri yakınlarında olması ve tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklı olarak  $^{40}\text{K}$  aktivasyonunun yüksek çıkabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Türkiye'de yapılan bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir.

Merdanoğlu ve arkadaşlarının 2006 yılında Çanakkale'de yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri bu çalışmada bulunan ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Keskin'in 2008 yılında Tuz Gölü civarında, Alnashar'ın 2024 yılında Hatay ilinin Reyhanlı ilçesinde ve Kahveci'nin 2019 yılında Trakya Bölgesi Ergene Havzası civarında yaptığı çalışmadan elde ettiği  $^{226}\text{Ra}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksek bulunmuştur.

$^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonu için bu çalışmada bulunan değer, Kahveci'nin 2019 yılında Trakya Bölgesi Ergene Havzası civarında, Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da ve TENMAK'ın 2013 yılında Kırklareli ve Edirne'de yaptığı çalışmalarda bulunduğu  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

$^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonu için bu çalışmada bulunan değer, Aydın'ın 2020 yılında İğneada'da, Yangın'ın 2021 yılında Şanlıurfa'da ve Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da yaptığı çalışmalar sonucu elde edilen ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden yüksektir.

**Tablo 1.** Çalışmada elde edilen sonuçların Türkiye'de yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılması

Bölgeler	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	Referans
Çanakkale	130,92	191,91	1207,12	18,05	Merdanoğlu ve ark., 2006
Bursa	24	30	433	5,60	Akkaya, 2011
Tuz Gölü	28,12	24,35	539,02	9,80	Keskin, 2008
Trakya, Ergene	27,42	35,24	687,59	2,77	Kahveci, 2019
Kocaeli, Dilovası	-	57,96	160	8,57	Doğan, 2019
Isparta	15,69	15,40	210,60	3,44	Kahraman, 2024
Samsun	-	30,01	378,56	8,33	Bozkurt, 2019
Kırklareli, İğneada	19,43	25,05	372,69	6,88	Aydın, 2020
Hatay	15	6,50	146	58,70	ÇNAEM, 2006
Hatay, Reyhanlı	8,66	17,01	373	-	Alnashar, 2024
Şanlıurfa	-	35,23	310,76	7,81	Yangın, 2021
Kırklareli	30,82	35,46	543,84	6,48	TENMAK, 2013
Edirne	25,86	29,07	638,28	7,80	TENMAK, 2013
UNSCEAR	35	30	400	-	UNSCEAR, 2000
<b>Kırklareli-Edirne</b>	<b>37,63</b>	<b>56,07</b>	<b>794,47</b>	<b>6,23</b>	<b>Bu Çalışma</b>

Bu çalışmadan elde edilen  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonu değeri Kahraman'ın 2024 yılında Isparta'da, Kahveci'nin 2019 yılında Ergene Havzası'nda ve Keskin'in Tuz Gölü'nde 2008 yılında yaptığı çalışmalarda elde ettikleri ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden büyükken, 2019 yılında

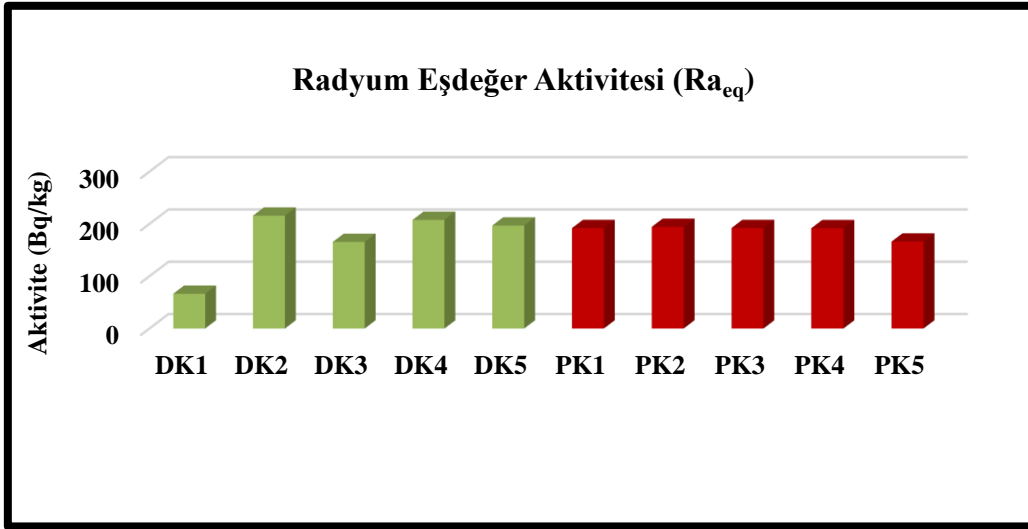


Doğan'ın Kocaeli Dilovası'nda, 2019 yılında Bozkurt'un Samsun'da ve TENMAK'ın 2013 yılında Kırklareli ve Edirne'de yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinden düşüktür.

### 3.2. Radyolojik Tehlike İndeksleri

#### 3.2.1. Radyum Eşdeğer Aktivitesi ( $Ra_{eq}$ )

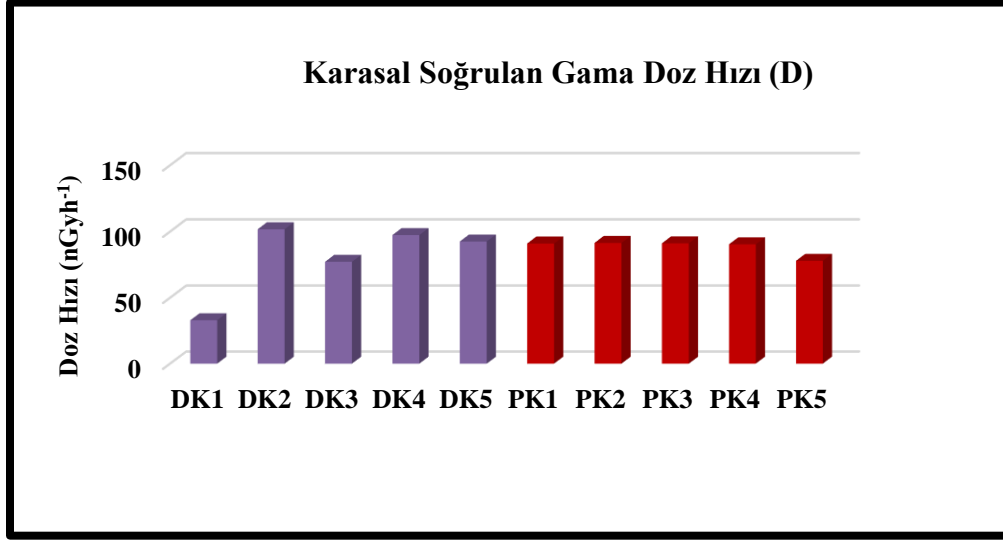
Bu çalışmada toplanan toprak örneklerinden hesaplanmış  $Ra_{eq}$  değeri 66,52 ile 215,99 Bq  $\text{kg}^{-1}$  değerleri arasında değişmektedir ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Ortalama  $Ra_{eq}$  değeri ise 178,99 Bq  $\text{kg}^{-1}$ 'dir. Dünyada kabul edilen değer 370 Bq  $\text{kg}^{-1}$  olup, çalışma sonucunda elde edilen sonuç bu değerden düşük bulunmuştur (UNSCEAR, 2000).



Şekil 5. Yapılan çalışmadaki radyum eşdeğer aktivitesi.

#### 3.2.2. Karasal Soğrulan Gama Doz Hızı (D)

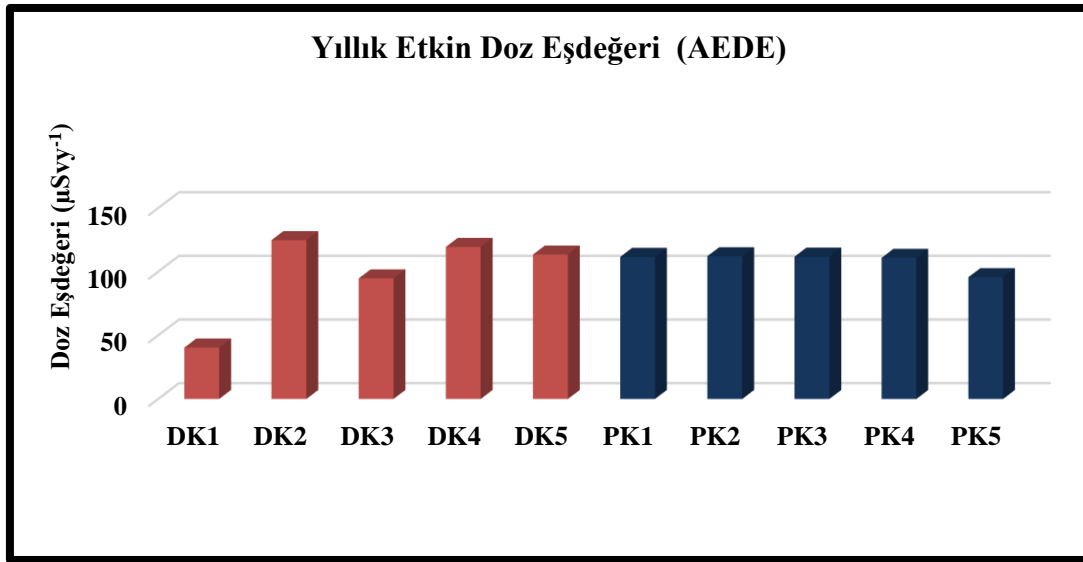
Bu çalışmada yapılan ölçümlerle elde edilen gama doz hızı 32,92 ve 101,74 nGyh<sup>-1</sup> değerleri arasında değişmekte olup ortalama gama doz hızı ise 84,38 nGyh<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Gama doz hızının Dünya ortalamasındaki değeri 59 nGyh<sup>-1</sup> olmakta olup çalışmada elde edilen değer dünya ortalamasından büyük olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 2000).



Şekil 6. Yapılan çalışmadaki soğrulan gama doz hızı.

### 3.2.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Bu çalışmada AEDE değeri 40,38 ile 124,78  $\mu\text{Svy}^{-1}$  arasındadır ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Ortalama yıllık etkin doz değeri 103,48  $\mu\text{Svy}^{-1}$ 'dir. Bu çalışmadaki analiz sonuçlarından hesaplanmış olan ortalama yıllık etkin doz değeri Dünya ortalaması için kabul edilen 70  $\mu\text{Svy}^{-1}$  değerinden büyük bulunmuştur (UNSCEAR, 2000).



Şekil 7. Yapılan çalışmadaki yıllık etkin doz eşdeğeri.

### 3.2.4. Yaşam Boyu Kanseri Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanseri riski için belirlenen dünya ortalaması  $0,29 \times 10^{-3}$ 'tür. Bu çalışmada yaşam boyu kanseri riski  $0,16 \times 10^{-3}$  ve  $0,49 \times 10^{-3}$ , ortalama ise  $0,41 \times 10^{-3}$  bulunmuş olup dünya ortalamasının biraz üzerindedir.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada örnekleme yapılan sınır kapıları, Türkiye'nin Trakya bölgesinde yer alan Kırklareli iline bağlı Dereköy ve Edirne iline bağlı Pazarkule sınır kapılarıdır. Dereköy ve Pazarkule sınır kapıları yakınlarından toplanan toprak örneklerinde HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanılarak  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  doğal ve  $^{137}\text{Cs}$  yapay aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  için bulunan ortalama aktivite konsantrasyonları 37,63; 56,07; 794,47 ve 6,23 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Ayrıca bazı radyolojik parametreler elde edilen sonuçlar kullanılarak radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), havada soğrulan doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ortalama değerleri sırasıyla 178,99 Bqkg<sup>-1</sup>, 84,38 nGyh<sup>-1</sup> ve 103,48 µSvy<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Bu çalışma için hesaplanan radyolojik tehlike indekslerinin, dünya üzerinde yaşayan canlılar için belirlenen sınır değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, toprak örnekleme yapılan yerlerin 1986 yılında yaşanan Chernobyl nükleer felaketinden en çok etkilenen yerlerden biri olan Trakya'da yer almasının olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma bir veri tabanı niteliğinde olup, gelecekte yapılacak olan çalışmalara referans oluşturması hedeflenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKILARI

M.B.Ö.: Araştırma, kaynaklar, derlemenin hazırlanması.

S.A.P: Gözden geçirme ve düzenleme, orijinal taslağın hazırlanması.

## KAYNAKLAR

- Akça, S., (2011). Mantar Çeşitlerinde Elemental Analiz ve Doğal Radyoaktivite Ölçümü (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Akkaya, G., (2011). Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Alnashar, M., S., (2024). Hatay'ın Reyhanlı İlçesi Şehir Merkezinin Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Doktora Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Aydın, S.,Y., (2020). Kırklareli İli İğneada Bölgesi ve Çevresinde Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

- Başaran, H., (2019). Nevşehir İlinde Kanser Yoğunluğu Gözlenen Yerleşim Birimlerinin YüzeY Topraklarının Radyolojik Açından İncelenerek Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması (Yüksek Lisans Tezi). Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Bostancı, S., (2011), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun İl Merkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Bozkurt, G., (2019). Samsun İli Yakakent, Alaçam, Ondokuzmayıs, Bafta İlçelerindeki Toprak Örneklerinde Gama Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi ve Etkin Doz Eşdeğerinin Hesaplanması (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Doğan, S.,D., (2019). Dilovası/Kocaeli Bölgesindeki Toprak Numunelerindeki Doğal ve Yapay Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Gönen, E., (2012). Edirne İlinin Çevresel Radyoaktivitesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Günay, O., (2018). İstanbul-Beykoz'daki Bazı Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Parametre Tayini. *European Journal of Science and Technology*, 12, 9-14, 2018.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP), (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37(2-4). Elsevier Ltd.
- Kahraman, F., Ç., (2024). Isparta İl Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Ölçümleri (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kahveci, Ö., (2019). Ergene Nehir Havzasının Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Kam, E., Yarar, Y., and Bozkurt, A., (2010). A Study of Background Radioactivity Level for Tekirdag, Radiation Protection Dosimetry (vol. 138, pp. 40–44). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp178>.
- Keskin, S., (2008). Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Köse, A., (2006). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), Radyoaktivite Ölçüm Ve Analiz Birimi, Burdur, Gümüşhane, Hatay, Tekirdağ, Uşak, Doğal Radyoaktivite Ölçüm Raporları.
- Mehra, R. Singh, M., (2012). Estimation of radiological risk due to concentration of 238U, 226Ra, 232Th and 40K in soils of different geological origins in northern India. *Turkish Journal of Physics* (vol. 36, pp. 289-297). <https://doi.org/10.3906/fiz-1105-9>.
- Merdanoğlu, B., Altınsoy N., (2006). Radioactivity Concentrations and Dose Assessment for Soil Sample From Kestanol Granite Area, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* (vol. 121, No. 4, pp. 399-405). <https://doi.org/10.1093/rpd/nci055>.
- Oğuz, F.,Yücel, B., ve Arıkan, İ., H., (2013). Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası.
- Ozden, S., Pehlivanoglu, Akozcan, S., and Gunay, O., (2023). Evaluation of natural radioactivity in soils of Konya (Turkey) and estimation of radiological health hazards, *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1523. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12162-0>.
- Özden, S., (2020). Kırklareli ve Çevresinde Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi ve İnsan Sağlığı ile Çevre Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi (Doktora Tezi). Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Özger, A.G., (2005). Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Taşkın, H., (2006). İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), (2000). UNSCEAR 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes.
- Yangın, T., (2021). Şanlıurfa İli Ayaklı Bölgesinde Yapay ve Doğal Radyoaktivite Ölçümleri Yapılarak Çevresel Faktörlerin Radyolojik Yapıya Etkisinin İncelenmesi (Yüksel Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya.

## Ege Üniversitesi Kampüsünde Gama Radyasyonu Ölçümü ve Haritalanması

Beyzanur ÖZKAN<sup>1</sup>, Buket CANBAZ ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye

Geliş: 08.05.2024, Kabul: 28.06.2024, Yayınlanma: 30.06.2024

### ÖZ

Gelişen teknoloji ile birlikte artan radyoaktif kirlenme, doğal background radyasyonunun belirlenmesini gerekli kılmıştır. Yerkabuğunda bulunan radyoaktif elementlerin bozunması sonucunda yayımlanan karasal gama radyasyonu düzeyinin belirlenmesi, doğal radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve çevresel etkileri minimize etmek açısından oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesi olarak da bilinen Bornova Kampüsü'nde doğal background seviyesini belirlemek ve değerlendirmek amacı ile yerinde karasal gama radyasyonu ölçümü yapılmıştır. Ölçümler 1"×1" NaI(Tl) kristale sahip bir düşük enerjili gama sintilasyon sayacı içeren, yerinde anlık ölçüm yapabilen, taşınabilir, Ludlum marka Survey Meter cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülen gama sayım hızları  $29,09 \pm 6,75$  cps ortalama ile 16 - 60 cps aralığında değişmiştir. Elde edilen sonuçlar IBM SPSS Statistics 20.00 yazılımı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, elde edilen sayısal verinin mekânsal bilgiye dayanarak görsel olarak sunulabilmesi için jeostatistik yöntemler kullanılarak ilk kez Ege Üniversitesi Bornova Kampüsüne ait Karasal Gama Radyasyonu dağılım haritası ESRI ArcGIS 10.3 yazılımı ile oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyasyon; Sintilasyon Dedektörü; Gama Ölçümü; Jeostatistik Analiz.

## Gamma Radiation Measurement and Mapping at Ege University Campus

### ABSTRACT

The increase in radioactive contamination due to developing technology necessitates the determination of natural background radiation in our environment. Determining the level of terrestrial gamma radiation released as a result of the decay of radioactive elements in the earth's crust is very important in terms of evaluating the effects of natural radiation on human health and minimizing environmental effects. In this direction, in-situ terrestrial gamma radiation measurements were carried out at the Bornova Campus, also known as the Ege University Central Campus, in order to determine and evaluate the natural background level. Measurements were carried out using a portable Ludlum brand Survey Meter device, which includes a low-energy gamma scintillation counter with a 1"×1" NaI(Tl) crystal and can make instant in-situ measurements. Measured gamma count rates ranged from 16 - 60 cps, with an average of  $29.09 \pm 6.75$  cps. The results obtained were statistically evaluated using IBM SPSS Statistics 20.00 software. In addition, in order to visually present the numerical data obtained based on spatial information, the Terrestrial Gamma Radiation distribution map of Ege University Bornova Campus was created for the first time with ESRI ArcGIS 10.3 software, using Geostatistical Methods.

**Keywords:** Natural Radiation; Scintillation Detector; Gamma Measurement; Geostatistical Analysis.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu dünya varoluşundan itibaren var olan uzun yarı ömürlü doğal radyonüklitler sebebi ile sürekli ve kaçınılmaz bir şekilde doğal radyasyona maruz kalmıştır (Aközcan, 2020; Karataşlı, 2018). Doğal radyasyon, yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif çekirdeklerin ve bunların bozunum ürünlerinin yanı sıra kozmik ışıklardan kaynaklanan bir radyasyon türüdür. Doğal radyasyona maruz kalmanın iki temel bileşeni vardır: içsel maruz kalma ve dışsal maruz kalma. Solunan havadaki radon gazı ve vücuda alınan radyonüklitler içsel maruz kalmaya neden olurken, dışsal maruz kalmanın kaynağı kozmik ışınlar, kozmojenik radyonüklitler ve karasal radyasyondur (UNSCEAR, 1982, 1988).

Karasal orijinli doğal radyasyon, yer kabuğunda bulunan ve dünya varoluşundan beri ( $4,5 \times 10^9$  yıl) mevcut olan primordial radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır. Radyolojik risk açısından en önemli primordial radyonüklitler; gama yayınlıyıcı  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve her iki doğal radyoaktif serinin bozunum ürünleridir (Canbaz, Çam, Yaprak, & Candan, 2010; Canbaz Öztürk, Çam, & Yaprak, 2013; Canbaz Öztürk, Yaprak, Çam, & Candan, 2015; Özden & Aközcan, 2020). Doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin dozun (2,4 mSv) önemli bir kısmını bu gama yayınlıyıcı radyonüklitlerinden kaynaklanan içsel ve dışsal dozlar oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Açık alanlarda insanlar, yer yüzeyindeki toprak veya diğer katmanlar üzerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan karasal dışsal radyasyona maruz kalmaktadır (UNSCEAR, 1993). Bu bakımdan insanların yaşadığı çevrenin doğal radyasyon açısından izlenmesi ve değerlendirilmesi doğal radyasyonun insanlar üzerindeki etkisi hakkında daha fazla bilgi edinmek, toplum sağlığını korumak ve radyasyonla ilişkili riskleri en aza indirmek için son derece önemlidir. Düzenli olarak yapılan radyolojik gözlem çalışmaları, doğal radyasyon kaynaklarının izlenmesi, maruziyet düzeylerinin değerlendirilmesi ve uygun önlemlerin alınması açısından büyük önem taşımaktadır (Canbaz Öztürk, 2022; Öztürk, 2021; Yörük, Çam, & Canbaz, 2021).

Bu doğrultuda bu çalışmada Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesi olarak bilinen Bornova Kampüsü'nde yerinde karasal gama radyasyonu ölçümü yapılmış, elde edilen veriler ile coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla jeostatistik analiz kullanılarak ilk kez Ege Üniversitesi Bornova Kampüsü'ne ait doğal gama radyasyonu dağılım haritası oluşturulmuştur.

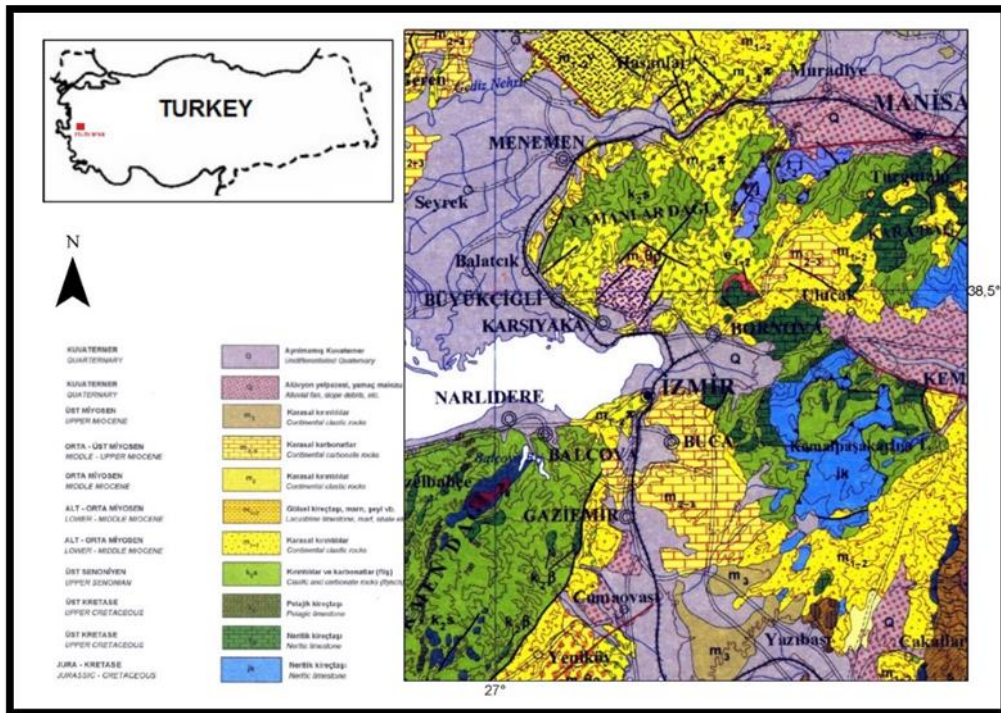
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışma bölgesinin jeolojik yapısı

Ege Üniversitesi, İzmir'in en büyük ilçelerinden Bornova'da yer almaktadır. Bornova'daki ana kampüs, 3.450 dekarlık bir alana yayılmış olup eğitim, kültür, spor ve sosyal hizmetler için kullanılan çeşitli

binalardan oluşmaktadır (www.ege.edu.tr). Bornova ilçesi, deniz seviyesinden yüksekliği 20 m ile 200 m arasında değişmektedir ve bu yükseklik, dağlık bölgelerde 600 m'ye kadar çıkmaktadır. Bornova, su kaynakları bakımından oldukça zengin bir ovadır ve yerleşim alanı dereler tarafından getirilen alüvyonlar nedeniyle yakın çevrelerdeki yüksek bölgelere kaymıştır. Yüzölçümü 220 km<sup>2</sup> olan bu ilçede Akdeniz iklimi hâkim olup, yaz ayları sıcak ve kurak iken, kış mevsimi ılık ve bol yağışlıdır.

Batı Anadolu'nun yapısal temelini oluşturan birimler, Menderes Masifi ve İzmir-Ankara Zonu (Bornova Fliş Zonu) tarafından temsil edilen kayalardır. Bu temel kayalar üzerinde, Neojen ve Kuvaterner dönemlerinde oluşmuş havzalarda biriken dolgular ise genç yapısal birimleri meydana getirir. İzmir-Ankara Zonu'na ait flişler, Ege Üniversitesi kampüsünün bulunduğu Bornova Ovası ve çevresinde geniş alanlarda yer alır ve bölgenin en eski kayalarını oluşturur. Doğuda Kemalpaşa Dağı ve Belkahve Eşiği ile kuzeyde Yamanlar Dağı'nın yüksek kesimlerini içine alacak şekilde yayılmıştır (Şekil 1). Bornova flişi, Menderes Masifi'nin batısından kuzeydoğuya doğru uzanan bir okyanusta Üst Kretase döneminde birikmiş unsurlardan oluşur. Bu nedenle, birimin alt kısımları genellikle kırıntılı, üst kısımları ise karbonatlı sedimanlarla karakterizedir. Bornova Ovası ve çevresindeki flişler, metaçakıltası, metakumtaşı, kireçtaşı ve denizaltı volkanizması ürünlerini içeren karmaşık bir yapıya sahiptir (Karadaş, 2012).



Şekil 1: Ege Üniversitesi kampüsünün bulunduğu Bornova ve çevresinin jeolojik yapısı.





### 3. SONUÇLAR

Ege Üniversitesi Kampüsünde sistematik olarak toplam 105 noktada 1"×1" NaI(Tl) kristale sahip bir düşük enerjili gama sintilasyon sayacı ile yerinde karasal gama radyasyonu ölçülmüştür. Yerinde doğal background radyasyonunu veren ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistik analizleri IBM SPSS Statistics 20.00 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen ortalama, medyan, çarpıklık, basıklık ve yüzde dağılım gibi parametrelere ait sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Ege Üniversitesi Merkez yerleşkesinde ölçülen gama sayım hızı  $29,09 \pm 6,75$  cps ortalama ile 16 - 60 cps aralığında değişmiştir.

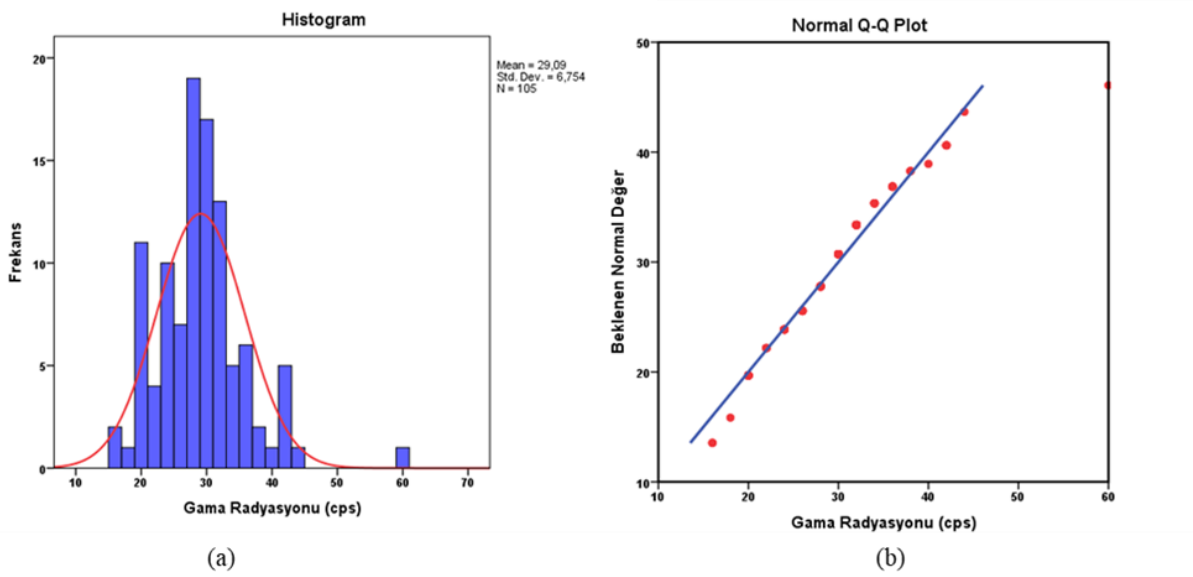
**Çizelge 1:** Yerinde gama ölçümü sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik.

<b>Gama Radyasyonu Ölçümü</b>	
	<b>(cps)</b>
<b>Ölçüm Sayısı</b>	105
<b>Aritmetik Ortalama</b>	29,09
<b>Standart Sapma (SD)</b>	6,75
<b>Geometrik Ortalama</b>	28,35
<b>Min.</b>	16
<b>25’nci Yüzdeler</b>	24
<b>Medyan</b>	28
<b>75’nci Yüzdeler</b>	32
<b>Max.</b>	60
<b>Çarpıklık</b>	1,024
<b>Basıklık</b>	3,336
<b>Kolmogorov-Smirnov Test Sig.</b>	0,05
<b>Frekans Dağılımı</b>	Normal

Hatalar  $1\sigma$  standart sapma ile ifade edilmiştir.

Bir dağılımın normal dağılıma uyup uymadığını anlamamanın çeşitli yöntemleri vardır. Bunu tek bir yöntem ile anlamak yerine, farklı farklı yöntemlerle analiz etmek ve elde edilen sonuçları birlikte değerlendirmek dağılım hakkında en doğru kararı vermemizi sağlar. Bu nedenle Ege Üniversitesi kampüsünde karasal gama radyasyonu frekans dağılımını belirlemek için i) tanımlayıcı istatistik sonuçları değerlendirilmiş, ii) Kolmogorov-Smirnov normallik testi uygulanıp anlamlılık (significance) değerine bakılmış ve son olarak iii) görsel olarak dağılım grafikleri incelenmiştir. Çizelge 1’de verilen aritmetik ortalama, medyan, geometrik ortalama değerlerinin birbirine yakın olması elde edilen dağılımın normal dağılım fonksiyonuna uyduğunu göstermektedir. Çarpıklık ve basıklık, bir dağılımın normal dağılıma kıyasla ne kadar çarpık ya da ne kadar basık olduğunun bir göstergesidir. Medyan ve aritmetik ortalama değerleri birbirine yaklaştıkça çarpıklık değeri de sifıra yaklaşır. Aritmetik ortalama medyan değerinden küçük ise negatif çarpıklık, büyük ise pozitif çarpıklık söz konusudur. Basıklıkta ise basıklık değeri pozitif ise eğri daha dik/sivri, negatif ise daha basıktır. Bir dağılımın normal dağılım olarak kabul edilebilmesi için çarpıklık ve basıklık değerlerinin -3 ve +3 arasında olması gerekmektedir. Ancak tek başına çarpıklık ve basıklık değerlerinin belirli aralıklar içerisinde değerlendirilmesi doğru değildir. Bu nedenle parametrik olmayan

Kolmogorov-Smirnov normalite testi uygulanmıştır. Bu test sonucu elde edilen anlamlılık değerinin istatistiksel hesaplamalarda sınır değeri kabul edilen 0,05'ten büyük olması ( $p \geq 0,05$ ) dağılımların normal olduğunu göstermektedir (Öztürk, 2021). Son olarak, bu sonuçları görsel olarak da doğrulamak için, sayısal analiz sonuçlarına ek olarak dağılımın histogram ve Q-Q grafikleri çizilmiştir (Şekil 3). Şekil 3'ten de açıkça görüldüğü gibi, histogram grafiği dağılımın ortalama etrafında yoğunlaştığını, Q-Q grafiği ise bizim ölçümlerimizi temsil eden kırmızı noktaların mavi referans çizgisi üzerinde veya çok yakın olduğunu, yani Ege Üniversitesi kampüsünde karasal gama radyasyonu frekans dağılımının normal dağılıma uyduğunu göstermektedir.



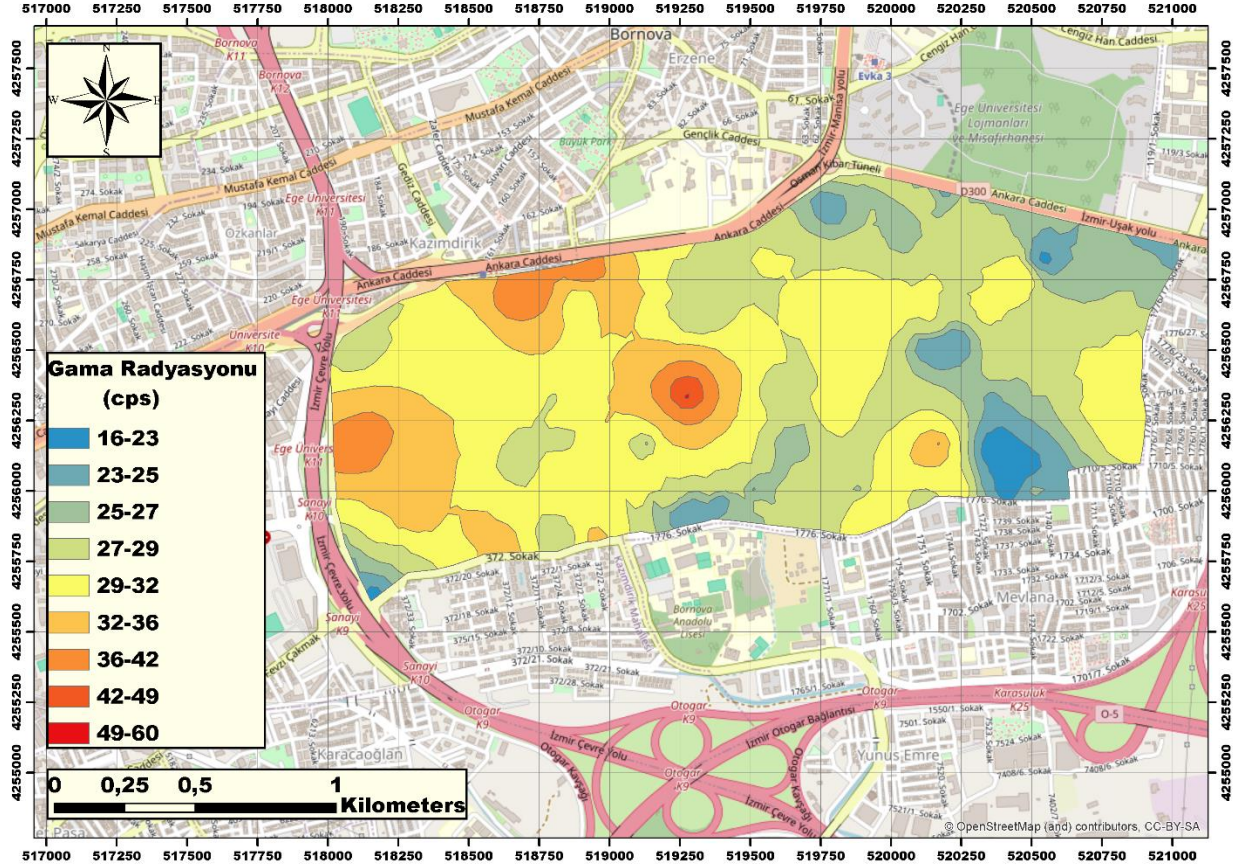
Şekil 3: E.Ü. kampüsünde yerinde gama ölçümü sonuçlarına ait (a) histogram (b) Q-Q grafiği.

Elde edilen sonuçları lokasyona bağlı bir şekilde görselleştirmek amacıyla, Ege Üniversitesi Bornova kampüsünde karasal gama radyasyonu dağılım haritası ESRI ArcGIS 10.3 yazılımı ile ArcGIS Jeostatistik Analiz modülü kullanılarak çizilmiştir. İnterpolasyon tekniği olarak Kriging yöntemi; Kriging yöntemleri arasında ise çevresel çalışmalarda daha uygun olduğu için normal kriging (ordinary kriging) yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4).

Elde edilen jeostatistik analiz sonuçlarına göre, Ege Üniversitesi kampüsünde gama radyasyonu dağılımı normal backgroundlu ortamlar için verilen 30 cps ortalama değeri ile uyumludur. İnsan aktivitelerinin az, doğal ağaçlı arazinin yoğun olduğu kampüsün doğu kısımlarında ölçümler en fazla 32 cps iken, araç trafiğinin, binaların ve insan yoğunluğunun çok olduğu kampüsün batı kesimlerinde ölçülen gama radyasyonu sayım hızı 60 cps'e kadar çıkmıştır. Dedektör tipine göre küçük farklılık gösterebilmekle birlikte, normal backgroundlu alanlar için radyasyon sayım hızı tipik olarak 25 - 75 cps aralığında olup



uyarı seviyesi 100 cps'dır (Dhami, Bhatt, Khadayat, & Joshi, 2020; Ludlum, 2018). Bir başka deyişle, E.Ü. kampüs genelinde normal alanlar için üst sınır olan 100 cps değeri aşılmamıştır.



Şekil 4: Ege Üniversitesi kampüsünde ölçülen gama radyasyonu dağılımı.

#### 4. TARTIŞMA

Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesi olarak bilinen Bornova kampüsüne ait doğal background seviyesini belirlemek ve haritalamak amacıyla 105 noktada yerinde karasal gama radyasyonu ölçümü yapılmış, gama sayım hızının  $29,09 \pm 6,75$  cps ortalama ile 16-60 cps aralığında değiştiği gözlenmiştir. Ölçüm sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş, elde edilen tanımlayıcı istatistik verileri, Kolmogorov-Smirnov normalite testi sonucu ve oluşturulan histogram ve Q-Q grafikler Ege Üniversitesi Bornova kampüsünde gama radyasyonu frekans dağılımının normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Normal dağılıma uyması E.Ü. Bornova kampüsünün tek bir jeolojik yapı üzerinde yayılmış olmasından dolayı beklenen bir sonuçtur ve kampüs genelinde normalliği bozan herhangi bir yapay bir kirliliğin olmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Ayrıca, elde edilen sonuçlar coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla jeostatistik analiz

kullanılarak lokasyona bağlı bir şekilde görselleştirilmiş, Ege Üniversitesi Bornova kampüsüne ait ilk karasal gama radyasyonu dağılım haritası oluşturulmuştur.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2023/1 başvuru döneminde 1919B012304540 başvuru numaralı proje ile TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

## YAZARLARIN KATKILARI

B.Ö.: Kavramsallaştırma, yöntem, araştırma, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

B.C.Ö.: Yöntem, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - orijinal taslak hazırlama.

## KAYNAKLAR

- Aközcan, S. (2020). Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve Radyasyon Tehlikelerinin Değerlendirilmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(1), 12–20. <https://doi.org/10.34186/klujes.741933>
- Canbaz, B., Çam, F., Yaprak, G., & Candan, O. (2010). Natural radioactivity ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ ) and assessment of radiological hazards in the Kestanbol Granitoid, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 141(2), 192–198.
- Canbaz Öztürk, B. (2022). Radon Exhalation Rate and Annual Effective Dose for Different Rock Types and Excess Lifetime Cancer Risk from Radon Exposure. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 6(3), 884–890.
- Canbaz Öztürk, B., Çam, N. F., & Yaprak, G. (2013). Reference levels of natural radioactivity and  $^{137}\text{Cs}$  in and around the surface soils of Kestanbol pluton in Ezine region of Çanakkale province, Turkey. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 48(12), 1522–1532. <https://doi.org/10.1080/10934529.2013.797242>
- Canbaz Öztürk, B., Yaprak, G., Çam, N. F., & Candan, O. (2015). A radiological survey of the Eğrigöz granitoid, Western Anatolia/Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv327>
- Dhami, G. B., Bhatt, M. R., Khadayat, J., & Joshi, B. D. (2020). Comparison of the Background Radiation Level within Kanchanpur District, Nepal. *Journal of Nepal Physical Society*, 6(2), 34–40. <https://doi.org/10.3126/jnphysoc.v6i2.34854>
- Karadaş, A. (2012). *Bornova Ovası ve Çevresinin Fiziki Coğrafyası*. Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi.
- Karataşlı, M. (2018). Measurement of Environmental Gamma Radiation in and Around The Hatay Province, Turkey. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 18(3), 780–785. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67766>
- Ludlum. (2018). LUDLUM MODEL 44-3 LOW ENERGY GAMMA SCINTILLATOR.
- Özden, S., & Aközcan, S. (2020). Kırklareli Tarım Arazilerindeki Ayçiçeğinde Radyonüklid Transferinin Belirlenmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(2), 153–164. <https://doi.org/10.34186/klujes.821036>
- Öztürk, B. C. (2021). Mapping of Selected Trace Metals and Associated Risk in Coastal Sediments Along the Northwest Anatolia Coasts of Turkey. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(12), 1999–2012.
- UNSCEAR. (1982). *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*, United Nations, New York.
- UNSCEAR. (1988). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations, New York.

- UNSCEAR. (1993). Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex A: Exposures from natural sources of radiation, United Nations, New York.
- UNSCEAR. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex B: Exposures from natural radiation sources, United Nations, New York.
- Ege Üniversitesi (2023, Haziran 4). *Ege Üniversitesi Hakkında*.  
[https://ege.edu.tr/tr-7/ege\\_universitesi\\_hakkinda.html](https://ege.edu.tr/tr-7/ege_universitesi_hakkinda.html)
- Yörük, E., Çam, F., & Canbaz, B. (2021). Güvenli Çalışma Ortamları İçin Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 23(68), 357–367.