

PAPER DETAILS

TITLE: Karbon ayak izi tespiti: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi örneği

AUTHORS: Ali Burak Yavuz, Osman Kara, Bülent Yaniktepe

PAGES: 1523-1530

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3264496>



Karbon ayak izi tespiti: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi örneği

Determination of carbon footprint: The case of Osmaniye Korkut Ata University

Ali Burak Yavuz¹ , Osman Kara² , Bülent Yanıktepe^{3,*}

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, 80750, Osmaniye, Türkiye

^{2,3} Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye

Öz

Dünya nüfusunun artması ve teknolojik gelişmelerin hızlanması ile günlük tüketim ihtiyaçlarımız değişiklik göstermeye başlamıştır. Özellikle fosil yakıt ve elektrik tüketimine doğru yönelim artmıştır. Artan enerji tüketimleri sonucunda dünyamızda küresel ısınma ve iklim değişikliği konuları bir tehdit haline gelmiştir. Bu kapsamda birçok hükümet sera gazı ile mücadele etmek ve zararlı etkilerini en aza indirmek için tedbirler almaya başlamıştır. Bu çalışmada Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Karacaoğlan yerleşkesinin karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalar 14064-1 standardı ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Ulusal Sera Gazı Envanteri Yönergelerinden elde edilen emisyon faktörleri baz alınarak yapılmıştır. Hesaplamalarda 2019, 2020 ve 2021 yıllarındaki tüketim verileri kullanılmıştır. 2019 yılında kapsam-1 ve kapsam-2 emisyonları toplamı 2955.30 ton CO_{2e}, 2020 yılında 1913.96 ton CO_{2e} ve 2021 yılında ise 2659.14 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. COVID-19 tedbirleri sonucunda 2020 yılında uzaktan eğitime geçiş dönemiyle özellikle fosil yakıtlardan kaynaklı emisyon oranlarında önemli bir azalış olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, Sera gazı emisyonları, IPCC

1 Giriş

Dünya nüfusunun artması ve teknolojik gelişmeleriyle günümüzde bireylerin tüketim miktarları ve yönelimleri değişmektedir. Tüketimdeki bu hızlı değişim küresel ısınma, iklim değişikliği ve karbon ayak izi gibi kavramların ortaya çıkmasında büyük bir etken olmuştur. İklim değişikliği ve karbon ayak izini azaltmaya yönelik çalışmalarda ise genellikle enerji verimliliği uygulamaları üzerinde durulmaya başlanmıştır [1]. Ülkemizde dahil olmak üzere birçok ülke iklim değişikliğine karşı tepki oluşturmak ve küresel emisyonları azaltmak için Paris İklim Anlaşmasını kabul etmiştir [2]. Paris İklim Anlaşmasına göre birçok ülke küresel emisyonların azaltılması hususunda ulusal ve uluslararası ölçekte önemli tedbirler alarak 2050 yılına kadar sıfır emisyonu hedeflemektedir [3]. Bu kapsamda ülkemizde 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını azaltma, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gibi önlemler alınarak 2053 için sıfır emisyon hedefini belirlediğini açıklamıştır [4]. Türkiye'nin sera gazı emisyon miktarı

Abstract

The increase in global population and the acceleration of technological advancements have led to changes in our daily consumption needs. In recent years, there has been an increase in fossil fuel use and electricity consumption. As a result of increasing energy consumption, global warming and climate change problems have become a threat in our world. In this context, many governments have begun taking measures to combat greenhouse gases and minimize their harmful effects. In this study, the carbon footprint of the Osmaniye Korkut Ata University Karacaoğlan settlement was calculated. The calculations are based on emission factors from Standard 14064-1 and the National Guidelines for Greenhouse Gas Inventories of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The calculations used consumption data for 2019, 2020 and 2021. The sum of scope-1 and scope-2 emissions in 2019 was calculated as 2955.70 tons of CO_{2e}, 1913.96 tons of CO_{2e} in 2020 and 2659.14 tons of CO_{2e} in 2021. As a result of COVID-19 measures, a significant decrease in emissions from fossil fuels has been observed in 2020, with the transition period to distance education.

Keywords: Carbon footprint, Greenhouse gas emission, IPCC

düzenli olarak T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı tarafından hesaplanmaktadır [5]. Hesaplama verileri ve sonuçları ulusal sera gazı envanter raporunda yayınlanmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumunun en son yayınladığı rapora göre Türkiye'nin 2020 yılı karbon ayak izi 523.9 Mt CO_{2e} olarak hesaplanmıştır [6]. Türkiye'nin sera gazı emisyonları 2000'li yıllardan sonra hızlı bir oranla artmaya başlamıştır. Türkiye'nin 1990-2020 yılları arasındaki hesaplanan sera gazı emisyonları Şekil 1'de gösterilmiştir [7].

Sera gazı emisyonlarının hızlı bir oranla artması sonucu ve sıfır emisyon hedefine ulaşmak için birçok kurum ve kuruluşlarda küresel emisyonları azaltmak için gerekli tedbirler almaya başlamıştır. Bu kapsamda kurum ve kuruluşlar sera gazı emisyonlarını değerlendirmek amacı ile karbon salınımlarını hesaplayarak sera gazı envanter raporlarını hazırlamaktadır [8].

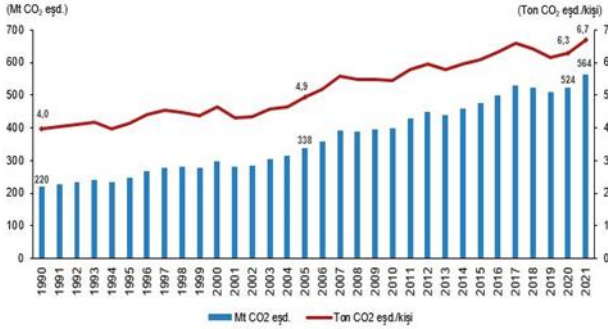
Karbon ayak izi doğrudan karbon emisyonları ve dolaylı karbon emisyonları olmak üzere iki grupta incelenmektedir

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: byaniktepe@osmaniye.edu.tr (B. Yanıktepe)

Geliş / Received: 14.07.2023 Kabul / Accepted: 16.08.2023 Yayımlanma / Published: 15.10.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1327500

[9]. Doğrudan karbon emisyonları fosil yakıt tüketiminden kaynaklı emisyonları ve enerji tüketiminden kaynaklı emisyonları kapsamaktadır. Doğrudan emisyonlar kapsam 1 ve kapsam 2 emisyonları olarak iki kategoride bulunmaktadır. Kapsam 1 emisyonları fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonları, iklimlendirme ve yangın tesisatı sistemlerinde oluşan kaçak gazlardan meydana gelen emisyonları, ürün ve atık su kaynaklı emisyonları kapsarken kapsam 2 emisyonları elektrik tüketiminden kaynaklı emisyonları kapsamaktadır [10].



Şekil 1. Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu [7]

Dolaylı karbon emisyonları ise ürün, mal veya hizmetin tüm yaşam döngüsü boyunca yaptığı emisyonları ele almaktadır [11]. Karbon ayak izi ton karbondioksit eşdeğeri olarak veya birim başına düşen karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmaktadır. Doğru bir sera gazı envanter raporu sürdürülebilir kalkınmaya yönelik ilerleme miktarını tespit etmek için kilit unsurlardan biridir [12]. Çevresel endişelerin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmaya doğru adımlar ile ilerlemek için özellikle yükseköğretim kurumlarına çok önemli görevler düşmektedir [13]. Yüksek öğretim kurumlarında öğrenci, personel ve akademisyenlerin sürdürülebilirlik ilkelerinin “örnek olma” entegrasyonu sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır [14]. Bu durum yükseköğretim kurumlarının üstlenmesi gereken sorumluluklar üzerinde daha kapsamlı bir beklentiye neden olmaktadır [15]. Ancak yükseköğretim kurumları sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için kolaylaştırıcı etken olarak gözüke de kişi başına düşen emisyon miktarları ciddi bir seviyede yer almaktadır [16]. Özellikle ulaşım amaçlı kullanılan araçların petrol bazlı yakıtlar olması ve bu yakıtların yanması sonucu oluşan emisyonlar toplam sera gazı emisyonlarında önemli bir paya sahiptir [17]. Bu yüzden üniversitelerin karbon etkilerine yönelik araştırmalar hızla yapılmaya başlanmıştır [18]. Üniversitelerde karbon emisyonlarının hesaplanması, raporlanması ve karbon emisyonunu azaltmaya yönelik çalışmalar birçok kurum üzerinde hesaplamalardaki şeffaflığın artırılması ve alınacak tedbirler açısından farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır [19].

Literatürde sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği hakkında birçok araştırma yapıldığı görülmektedir. Fouladvand vd. [20] yaptıkları çalışmada, bir haber kuruluşunun karbon emisyonlarını incelemiştir. Haber yayın kuruluşunun yıllık emisyonunun 235.28 ton CO_{2e} olduğunu hesaplamışlardır. Yıllık emisyon dağılımında en

büyük paya sahip etkenin ulaşımdan kaynaklı olduğunu ve dağılımın yüzde 64.6'sını oluşturduğunu, bu yüzden karbon emisyonlarının azaltılması için evden çalışma saatlerinin arttırılması ve dış kaynak kullanımının azaltılması gibi önlemlerin alınması gerektiğini tespit etmişlerdir. Coopera vd. [21] yaptıkları çalışmada, Imperial College London Kimya Mühendisliği Bölümünün karbon ayak izini kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 emisyonları olarak üç grupta incelemiştir. Karbon ayak izinin 2019 yılında 7620 ton CO_{2e} ve 2020 yılında ise 8330 ton CO_{2e} olduğunu hesaplamışlardır. Toplam emisyonların %46'sını kapsam 3 emisyonların, %46'sının ise kapsam 1 ve kapsam 2 emisyonlarının oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Syafrudin vd. [22] yaptıkları çalışmada Diponegoro Üniversitesinin karbon ayak izini hesaplamışlardır. Üniversitenin toplam karbon ayak izinin 16345.83 ton CO_{2e} olduğunu tespit etmişlerdir. Ologun ve Wara [23] yaptıkları çalışmada Federal Tarım Abeokuta Üniversitesinin 2011-2012 yılları arasında gerçekleşen karbon ayak izini incelemiştir. Üniversitenin karbon ayak izini yaklaşık 5935 ton CO₂ olarak hesaplamışlardır. Enerji tüketiminin karbon ayak izine etkisinin %65 ile en yüksek paya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yanez vd. [24] yaptıkları çalışmada Talca Üniversitesinin 2016 yılına ait karbon ayak izi miktarını üç kapsamda incelemiştir. Kapsam 1 kişi başına düşen yıllık emisyonu 20.03 ton CO_{2e}, kapsam 2 kişi başına düşen yıllık emisyonu 0.25 ton CO_{2e} ve kapsam 3 kişi başına düşen yıllık emisyonun ise 0.41 ton CO_{2e} olduğunu tespit etmişlerdir. Kiehle vd. [8] yaptıkları çalışmada, Oulu Üniversitesinin karbon ayak izi hesaplamasında girdi-çıkı analizi ve yaşam döngüsü değerlendirilmesi yaklaşımlarını içeren bir hibrit model kullanımını araştırmıştır. Oululu Üniversitesinin 2019 yılında toplam sera gazı emisyonunun 19.072 ton CO_{2e} olduğunu ve en yüksek emisyon payının kampüsteki ısı kullanımından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Utaraskul [25] yaptığı çalışmada, Suan Sunandha Rajabhat Üniversitesi Çevre Bilimleri Programında bulunan 35 öğrencinin karbon ayak izini araştırmıştır. Sera gazı emisyonunun 2.16 ton CO_{2e}/yıl olduğunu hesaplamıştır. Öğrencilerin karbon ayak izinin 1.05 CO_{2e}/yıl elektrikli cihaz kullanımından, 0.7 ton CO_{2e}/yıl gıda tüketiminden, 0.4 ton CO_{2e}/yıl ulaşımdan kaynaklı olduğunu tespit etmiştir. Seyhan vd. [26] yaptıkları çalışmada, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesinin 2019 ve 2020 yılına ait karbon ayak izini incelemiştir. Tier-1 yaklaşımına göre 2019 yılına ait karbon ayak izinin 2753.2 ton CO_{2e} ve 2020 yılına ait karbon ayak izinin 2383.74 ton CO_{2e} olduğunu, DEFRA emisyon faktörleriyle yapılan hesaplamalarda ise 2019 yılına ait karbon ayak izinin 2314.53 ton CO_{2e}, 2020 yılına ait karbon ayak izinin ise 1826.54 ton CO_{2e} olduğunu hesaplamışlardır. İki hesaplama yöntemi arasında farklılıkların oluşmasında karbon emisyon faktörlerinin etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Güğül vd. [27] yaptıkları çalışmada, uzaktan eğitim ile örgün eğitimin karbon ayak izine etkilerini incelemiştir. Yüksek lisans öğrencilerinin tüketim verileri baz alınmıştır. Hesaplama sonucunda örgün eğitim döneminde öğrencilerin karbon ayak izinin 132.48 kg CO_{2e}, uzaktan eğitim döneminde ise öğrencilerin karbon ayak izinin 50.72 kg CO_{2e} olduğunu hesaplamışlardır. Yaka vd.

[28] yaptıkları çalışmada, Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulunun karbon ayak izini incelemişlerdir. Annex 2014 hesaplama kriterleri kullanılarak okulun karbon ayak izinin 98.3 ton CO_{2e} olduğunu hesaplamışlardır. Binboğa vd. [29] yaptıkları çalışmada, Manisa Celal Bayar Üniversitesinin karbon ayak izini incelemişlerdir. Üniversitenin karbon ayak izini IPCC tier 1 yaklaşımı ile hesaplamışlardır. Üniversitenin 2016 yılı karbon ayak izinin 8953.96 ton CO_{2e} olduğunu tespit etmişlerdir. Kumaş vd. [30] yaptıkları çalışmada Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak yerleşkesi yükseköğretim birimlerinin karbon ayak izini incelemişlerdir. Doğalgaz, elektrik, öğrenci ve personel ulaşımından kaynaklı karbon ayak izinin 217503 kg/yıl olduğunu tespit etmişlerdir. Kıyılmaz vd. [31] yaptıkları çalışmada gıda sektöründe dondurma üretimi yapan büyük ölçekli bir tesiste enerji tasarrufu konusunda verimlilik artırıcı uygulama ve projeler ile alınacak önlemleri araştırmışlardır. 2019 yılı için tesiste yapılacak basit müdahaleler ile yıllık 929555 kWh enerji tasarruf edilebileceğini ve bu tasarrufa karşılık 1200733 kg CO₂ salınımının azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Akhan [32] yaptığı çalışmada sanayide pompa ve fan sistemlerinde enerji verimliliğini arttırmaya yönelik enerji yönetim uygulamalarını analiz etmiştir. Pompa debisinin büyük seçilip pompayı düşük debide çalıştırmanın tasarruf sağladığını tespit etmiştir. Ayrıca analiz sonucunda enerji verimliliği uygulamaları ile %60 enerji tasarruf sağlandığını hesaplamıştır.

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi (OKÜ) Karacaoğlan yerleşkesinin 2019,2020 ve 2021 yıllarına ait fosil yakıt tüketimi ve elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır.

2 Materyal ve metot

OKÜ Karacaoğlan yerleşkesi karbon ayak izi Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) standartlarına göre hesaplanmıştır. OKÜ Karacaoğlan Yerleşkesi 471381.42 m² alan üzerinde bulunmakta olup 144938 m² kapalı alana ve 150000 m² yeşil alana sahiptir. OKÜ Karacaoğlan yerleşkesi Şekil 2’de gösterilmiştir [33].



Şekil 2. OKÜ Karacaoğlan yerleşkesi

Üniversite 2 adet Enstitü, 8 adet fakülte, 2 adet yüksekokul, 5 adet meslek yüksekokulu ve 9 adet araştırma merkezi ile eğitim-öğretim yapmayı sürdürmektedir [34]. OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinde bulunan enstitü, fakülte, yüksekokul ve meslek yüksekokulunda bulunan öğrenci sayıları, akademik personel sayıları ve idari personel sayıları yıllara göre detaylı olarak Tablo 1’de gösterilmiştir [33,35,36].

Tablo 1. OKÜ Karacaoğlan yerleşkesi kişi sayıları

Yıllar	Öğrenci Sayıları	Akademik Personel Sayıları	İdari Personel Sayıları
2019	11271	494	341
2020	10837	542	347
2021	10929	556	352

Yerleşke içerisinde elektrik enerjisi yoğun olarak kullanılmaktadır. Sınıflar, ortak alanlar, çevre aydınlatması, teknolojik aletler ve özellikle iklimlendirme sistemlerinde elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. İdari binalar ve kütüphanede bulunan veri bilgi sistemlerinde iklimlendirme sistemleri tüm gün boyunca aktif olarak çalışmaktadır. Yaz aylarında Osmaniye ilinin sıcak ikliminden kaynaklı iklimlendirme sistemlerinde elektrik tüketimi artmaktadır. Ayrıca kampüsün bazı bölgelerinde de ısınma amaçlı iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Yıllara göre elektrik tüketimi ve elektrik kullanım alanları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elektrik tüketim miktarı ve kullanım alanları

Yıllar	Elektrik Tüketim Miktarı (kWh)	Elektrik Kullanım Alanları (m ²)
2019	5531593	209944
2020	3963707	144464
2021	5389514	172624

Yerleşke içerisinde doğalgaz ısınma amaçlı, kapalı havuzda ve yemekhanede kullanılmaktadır. Bazı sınıflarda, idari binalarda ve ortak alanlarda doğalgaz kullanımı mevcut olmasına rağmen Osmaniye ilinin iklim koşullarından dolayı çok fazla kullanılmamaktadır. Yıllara göre doğalgaz tüketimi ve kullanım alanları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Doğalgaz tüketim miktarı ve kullanım alanları

Yıllar	Doğalgaz Tüketim Miktarı (m ³)	Doğalgaz Kullanım Alanları (m ²)
2019	164120	209944
2020	33043	144464
2021	77155	172624

Yerleşke içerisinde ısınma ve yakma amaçlı Fuel-oil kullanımı mevcuttur. Fuel-oil tüketimi idari binalarda, yemekhanede ve atölyelerde yılın belli dönemlerinde kullanılmaktadır. Yıllara göre fuel-oil tüketimi ve kullanım alanları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Motorin ve benzin tüketimi üniversiteye ait iş makinaları, ulaşım araçları ve jeneratörler tarafından kullanılmaktadır. Üniversiteye ait ulaşım araçları ve iş makinaları sayıları Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Fuel-oil tüketim miktarı ve kullanım alanları

Yıllar	Fuel-oil Tüketim Miktarı (lt)	Fuel-oil Kullanım Alanları (m ²)
2019	28100	4750
2020	6300	1215
2021	28000	8380

Tablo 5. Taşıt cinsi ve taşıt sayıları

Taşıt Cinsi	2019 Yılına Ait Taşıt Sayısı	2020 Yılına Ait Taşıt Sayısı	2021 Yılına Ait Taşıt Sayısı
Otomobil	6	6	10
Otobüs	4	4	4
Kamyonet	1	1	2
Kepçe	1	1	1
Traktör	6	6	7
Römork	3	3	3
İş Makineleri	15	15	24
Diğer	5	6	7

Yerleşke içerisinde 150000 m²'lik yeşil alan bulunmaktadır. Yeşil alanların bakım çalışmalarında iş makineleri aktif olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden iş makineleri motorin ve benzin tüketimindeki en fazla payı üstlenmektedir. Ayrıca Osmaniye ilinde kış aylarındaki yağış yoğunluğundan dolayı elektrik kesintileri meydana gelmektedir. Hem bilgi işlem sistemlerinin hem de eğitimin aksamaması için jeneratörlerde aktif olarak kullanılmaktadır. **Tablo 6**'da motorin ve benzin tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 6. Motorin ve benzin tüketim miktarları

Yıllar	Motorin Tüketim Miktarı (lt)	Benzin Tüketim Miktarı (lt)
2019	30901	4976
2020	24100	2200
2021	10972	1114

Bu çalışma kapsamında OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinin karbon ayak izi ISO 14064-1 standardı göz önüne alınarak IPCC standartlarına göre hesaplanmıştır. Fosil yakıt tüketimi ve iklimlendirme sistemlerinden kaynaklı karbon ayak izi kapsam 1'de, elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi kapsam 2'de değerlendirilmiştir. Hesaplamalar her bir sera gazı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplama formülleri aşağıda belirtilmiştir [10, 37].

$$CO_2 = \sum_{k=1}^n F_k * NCV_k * EF_k * (1 - BR)_k * YF_k \quad (1)$$

$$CH_4 = \sum_{k=1}^n F_k * NCV_k * EF_k * (1 - BR)_k * YF_k \quad (2)$$

$$N_2O = \sum_{k=1}^n F_k * NCV_k * EF_k * (1 - BR)_k * YF_k \quad (3)$$

$$CO_{2e} = (CO_2 + CH_4 + N_2O)_{\text{emisyonları}} \quad (4)$$

Burada, F_k; faaliyet verisini, NCV_k; net kalorifik değeri, EF_k; emisyon faktörünü, BR_k; biyokütle oranını, YF_k; yükseltgenme faktörünü tanımlamaktadır. Emisyon

faktörleri IPCC'nin yayınladığı Ulusal Sera Gazı Envanteri Yönergelerinden elde edilmiştir [38, 39].

3 Bulgular ve tartışma

OKÜ ilgili birimlerinden alınan tüketim verileri ve IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Yönergelerinden elde edilen emisyon faktörleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Her bir sera gazı (CO₂, CH₄, N₂O ve CO_{2e}) emisyon miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Fosil yakıt kaynaklı emisyonlar kapsam 1'de değerlendirilirken elektrik tüketiminden kaynaklı emisyonlar kapsam 2 'de değerlendirilmiştir.

OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinde doğalgaz tüketiminden kaynaklı toplam karbon emisyon miktarı 2019 yılında 319142.43 kg CO_{2e}, 2020 yılında 64254.43 kg CO_{2e}, 2021 yılında ise 150033.32 kg CO_{2e} olarak gerçekleşmiştir. **Tablo 7**'de doğalgaz tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları ayrı ayrı gösterilmiştir. 2020 ve 2021 yıllarının bazı dönemlerinde örgün eğitimden uzaktan eğitime geçiş olmuştur. Uzaktan eğitime geçişi ile havuz kullanımı ve yemekhane kullanımı kapanmıştır. Ortak alanlarda ve ısınma amaçlı doğalgaz kullanımı da önemli bir ölçüde azalmıştır.

Tablo 7. Doğalgaz tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları

Yıllar	CO ₂ Salınımı (kg)	CH ₄ Salınımı (kg)	N ₂ O Salınımı (kg)	CO _{2e} Salınımı (kg)
2019	318198.48	794.08	150.31	319142.43
2020	64064.30	159.88	30.26	64254.43
2021	149589.35	373.31	70.66	150033.32

OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinde motorin tüketiminden kaynaklı toplam karbon emisyon miktarı 2019 yılında 84481.59 kg CO_{2e}, 2020 yılında 65614.64 kg CO_{2e}, 2021 yılında ise 29996.83 kg CO_{2e} olarak gerçekleşmiştir. **Tablo 8**'de motorin tüketiminden kaynaklı emisyon miktarları ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 8. Motorin tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları

Yıllar	CO ₂ Salınımı (kg)	CH ₄ Salınımı (kg)	N ₂ O Salınımı (kg)	CO _{2e} Salınımı (kg)
2019	83198.58	122.61	1160.40	84481.59
2020	64618.16	95.23	901.25	65614.64
2021	29541.27	43.53	412.02	29996.83

OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinde benzin tüketiminden kaynaklı toplam karbon emisyon miktarı 2019 yılında 12320.87 kg CO_{2e}, 2020 yılında 5447.33 kg CO_{2e}, 2021 yılında ise 2758.33 kg CO_{2e} olarak gerçekleşmiştir. **Tablo 9**'da benzin tüketiminden kaynaklı emisyon miktarları ayrı ayrı gösterilmiştir. 2020 ve 2021 yıllarında uzaktan eğitime geçiş ile personellerde kısmi çalışmaya başlamıştır. Personel sayısının azalması ile hem ulaşım kaynaklı hem de bakım onarım, bahçe düzenlemesi gibi iş makinelerinin kullanım oranı azalmıştır. Üniversitede motorin ve benzin yakıtları daha çok iş makineleri tarafından tüketilmektedir. İş makinelerinin kullanım oranının azalması ile 2019 yılı ile

2021 yılları karşılaştırıldığı zaman hem motorin hem de benzin tüketiminde önemli bir azalma gerçekleşmiştir.

Tablo 9. Benzin tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları

Yıllar	CO ₂ Salınımı (kg)	CH ₄ Salınımı (kg)	N ₂ O Salınımı (kg)	CO _{2e} Salınımı (kg)
2019	11839.11	119.59	362.18	12320.87
2020	5234.33	52.87	160.13	5447.33
2021	2650.48	26.77	81.08	2758.33

OKÜ Karacaoğlan yerleşkesinde fuel-oil tüketiminden kaynaklı toplam karbon emisyon miktarı 2019 yılında 83474.20 kg CO_{2e}, 2020 yılında 18714.86 kg CO_{2e}, 2021 yılında ise 83177.14 kg CO_{2e} olarak gerçekleşmiştir. **Tablo 10**'da fuel-oil tüketiminden kaynaklı emisyon miktarları ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 10. Fuel-oil tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları

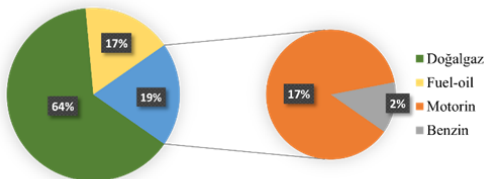
Yıllar	CO ₂ Salınımı (kg)	CH ₄ Salınımı (kg)	N ₂ O Salınımı (kg)	CO _{2e} Salınımı (kg)
2019	83474.20	90.59	171.48	83736.27
2020	18714.86	20.31	38.45	18773.61
2021	83177.14	90.27	170.87	83438.27

Kapsam-1 fosil yakıtlardan kaynaklı 2019 yılına ait karbon ayak izi 499.67 ton CO_{2e}, 2020 yılına ait karbon ayak izi 154.07 ton CO_{2e}, 2021 yılına ait karbon ayak izi 266.2 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. **Tablo 11**'de Kapsam-1 karbon ayak izi gösterilmiştir.

Tablo 11. Kapsam-1 karbon ayak izi

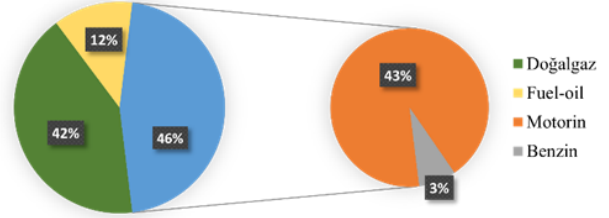
Yıllar	Kapsam-1			
	Doğalgaz Tüketiminden Kaynaklı CO _{2e} Salınımı (ton)	Motorin Tüketiminden Kaynaklı CO _{2e} Salınımı (ton)	Benzin Tüketiminden Kaynaklı CO _{2e} Salınımı (ton)	Fuel-oil Tüketiminden Kaynaklı CO _{2e} Salınımı (ton)
2019	319.14	84.48	12.32	83.73
2020	64.25	65.61	5.44	18.77
2021	150.03	29.99	2.75	83.43
Toplam	533.42	180.08	20.51	185.93

2019 yılı kapsam 1 emisyonları incelenirse, ısınma ve yakma amaçlı kullanılan fosil yakıtlar toplam emisyonların %81'ini oluştururken, ulaşımdan kaynaklı emisyonlar toplam emisyonların %19'unu oluşturmaktadır. **Şekil 3**'te 2019 yılına ait kapsam 1 emisyonlarından kaynaklı karbon ayak izinin dağılımları gösterilmiştir.



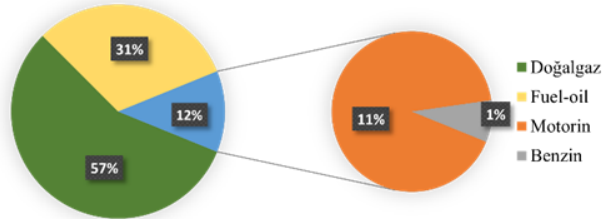
Şekil 3. 2019 yılı kapsam 1 emisyonlarının dağılımı

2020 yılı kapsam 1 emisyonlarında ısınma ve yakma amaçlı kullanılan fosil yakıtlar toplam emisyonların %54'ünü oluştururken, ulaşımdan kaynaklı emisyonlar %46'sını oluşturmaktadır. **Şekil 4**'te 2020 yılına ait kapsam 1 emisyonlarının karbon ayak izi dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 4. 2020 yılı kapsam 1 emisyonlarının dağılımı

2021 yılında ise kapsam 1 emisyonlarında ısınma ve yakma amaçlı kullanılan fosil yakıtlar toplam emisyonların %88'ini oluştururken, ulaşımdan kaynaklı emisyonlar %12'sini oluşturmaktadır. **Şekil 5**'te 2021 yılına ait kapsam 1 emisyonlarının karbon ayak izi dağılımları gösterilmiştir.

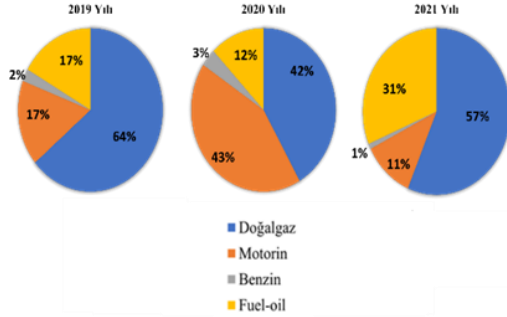


Şekil 5. 2021 yılı kapsam 1 emisyonlarının dağılımı

2019, 2020 ve 2021 yılları birlikte incelendiği zaman Karbon ayak izinin 2020 ve 2021 yıllarında azaldığı aşikardır. 2020 ve 2021 yıllarında karbon ayak izinin azalmasında COVID-19 tedbirleri kapsamında uzaktan eğitime geçişin rolü büyüktür. Isınma ve yakma yerleşke içerisinde öğrenci sayısının azalması ile birlikte ısınma için gerekli tüketimde azalmıştır. Bu yüzden özellikle doğalgaz ve fuel-oil tüketiminden kaynaklı karbon ayak izinin 2020 yılında yaklaşık %80 azaldığı tespit edilmiştir. Kapsam 1 fosil yakıtlardan kaynaklı karbon ayak izinin 2019 ve 2021 yıllarında en fazla doğalgaz tüketiminden kaynaklı iken 2020 yılında en fazla motorin tüketiminden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. **Şekil 6**'da 2019, 2020 ve 2021 yıllarında gerçekleşen emisyon oranları gösterilmiştir.

Kapsam-1 emisyonları fosil yakıt tüketiminden kaynaklı emisyonları içermektedir. Bu çalışmada elektrik tüketimin den kaynaklı emisyon kapsam-2'de değerlendirilmiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi 2019 yılında 2456.03 ton CO_{2e}, 2020 yılında 1759.89 ton CO_{2e} ve 2021 yılında 2392.84 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. **Tablo 12**'de elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı

gösterilmiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon faktörü T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayınladığı Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Bilgi Formundan elde edilmiştir [40].

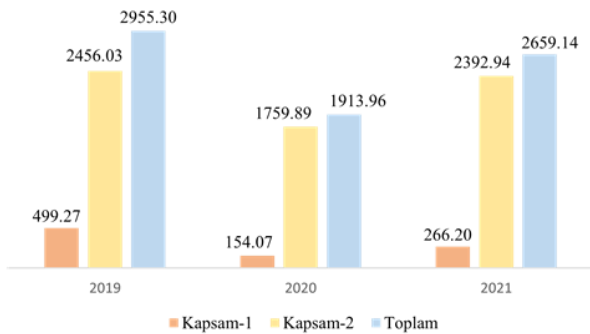


Şekil 6. 2019, 2020 ve 2021 yıllarında gerçekleşen emisyon oranları

Tablo 12. Elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi

Kapsam-2		
Yıllar	Elektrik Tüketiminden Kaynaklı CO _{2e} Salınımı (ton)	Elektrik Kullanım Alanları (m ²)
2019	2456.03	209944
2020	1759.89	144464
2021	2392.94	172624

Osmaniye ilinin iklim şartlarından dolayı iklimlendirme sistemlerinin aktif olarak kullanılması, ortak alan ve çevre aydınlatmalarının gün boyu kullanımı elektrik tüketiminden kaynaklı karbon emisyonunun kapsam-1 emisyonlarına göre çok yüksek olmasına sebep olmaktadır. 2019 yılında kapsam-1 ve kapsam-2 emisyonları toplamı 2955.70 ton CO_{2e}, 2020 yılında 1913.96 ton CO_{2e} ve 2021 yılında 2659.14 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Şekil 7’de kapsam 1 ve kapsam 2 emisyonları gösterilmiştir.



Şekil 7. Kapsam 1, kapsam 2 ve toplam karbon ayak izi

4 Sonuçlar

Tüm bireyler küresel ısınma ve iklim değişikliğinden olumsuz yönde etkilenmektedir. Buna rağmen sera gazlarının atmosfere salınmasında ağırlıklı olarak insan faaliyetleri neden olmaktadır. Dünyamız iklim değişikliğinin yol açtığı önemli etkenler ile karşı karşıya kalmaktadır [41].

Karbon emisyonlarının ölçümü ve bireysel sera gazı emisyonlarının miktarlarını azaltarak iklim değişikliğinin zararlı etkilerinden kaçınmak mümkündür [42]. Bu yüzden hava sıcaklığının artması, mevsim değişikliği ve yağışların azalması gibi olumsuz etkenlerden dolayı küresel ısınma konusunda hızlı bir şekilde önlemler almamız önem teşkil etmektedir. Küresel ısınma dengesinin sağlanabilmesi amacıyla sera gazı emisyon sınırlarının detaylı olarak belirlenmesi karbon emisyonlarının azaltmak için yapılması gereken en önemli çalışmalardan biridir. Günümüzde bir üniversite yerleşkesinin sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesi ve hesaplanması kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir. Bu nedenle özellikle üniversitenin bakım ve işletme birimlerinin sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak tüm parametreler için doğru ve güncel bilgiye sahip olması gerekmektedir [43].

Bu çalışma da Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Karacaoğlan Yerleşkesinin fosil yakıtlar ve elektrik tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi hesaplanmıştır. Üniversitenin karbon ayak izi ISO 14064-1 standardı göz önüne alınarak, IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Yönergeleri ve Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Bilgi Formundan elde edilen emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır. Kapsam-1 emisyonları 2019 yılında toplamda 499.67 ton CO_{2e}, 2020 yılında 154.07 ton CO_{2e}, 2021 yılında 266.20 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Kapsam-2 emisyonu ise 2019 yılında 2456.03 ton CO_{2e}, 2020 yılında 1759.89 ton CO_{2e}, 2021 yılında 2392.94 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında fosil yakıt tüketiminden kaynaklı emisyonlar toplam emisyonların %17’sini, 2020 yılında %8’ini, 2021 yılında ise %10’unu oluşturmaktadır. 2020 ve 2021 yıllarında örgün eğitimden uzaktan eğitime geçilmiş olsa bile kapsam-2 emisyonunda önemli bir düşüş olmamıştır. Bunun sebebi kampüs içerisinde iklimlendirme sistemlerinin aktif olarak kullanılması, çevre aydınlatması ve bilgi işlem sistemlerinin aktif olarak çalışmasından kaynaklanmaktadır. 2019 yılında elektrik tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları toplam emisyonların %83’ünü, 2020 yılında %91’ini ve 2021 yılında ise %89’unu oluşturmaktadır. Bu yüzden OKÜ’nün sera gazı emisyonları ile mücadelede öncelik olarak elektrik tüketimine karşı öncelik vermesi gerekmektedir. Bu kapsamda elektrik tüketiminin azaltılmasına yönelik hem personel hem de öğrenciler bilinçlendirilmelidir. Gereksiz enerji tüketiminden kaçınılmalıdır. Gerekli olan enerji ihtiyacına karşı üniversitenin güneş enerjisi sistemleri uygulamalarını kullanmaları gerekmektedir. Üniversite içerisinde iklimlendirme sistemlerinin aktif olarak kullanılmasından kaynaklı yenilenebilir enerji kaynakları ile kullanılabilen absorpsiyonlu soğutma sistemlerine öncelik verilmelidir. Ayrıca Üniversite içerisinde kullanılan split klimalar yerine merkezi VRF sistemlerinin sayılarının artırılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmek için gerekli verilerin temininde yardımlarını esirgemeyen OKÜ ilgili tüm birimlerine teşekkür ederiz.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %13

Kaynaklar

- [1] S. Karyeyen, M. H. Aksoy, M. Özgören ve S. Koçak, Konya sanayisinde enerji verimliliği. Bölgesel Araştırma Raporları Serisi, 5, 2012.
- [2] S. Li, J.C. Faura, B. Talbi, M. Sadiq, K.S. Mohammed and M.F. Bashir, Dynamic correlated effects of electricity prices, biomass energy and technological innovation in Tunisia's energy transition. Utilities Policy, 82, 101521, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101521>
- [3] H. Dong and L. Zhang, Transition towards carbon neutrality: Forecasting Hong Kong's buildings carbon footprint by 2050 using a machine learning approach. Sustainable Production and Consumption, 35, 633-642, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.014>
- [4] A. Demir, Paris Anlaşması ve 26. Taraflar Konferansı (cop26)'nda Türkiye değerlendirmesi: yükümlülükler ve sorumluluklar. Biological Diversity and Conservation, 15(2), 162-170, 2022.
- [5] A. Kocaman, Sanayi şehri karabük ilindeki fosil yakıt kaynaklı karbon ayak izinin belirlenmesi ve orman varlıklarının emisyonu azaltmadaki etkisi. İzlek Akademik Dergi, 3(1), 44-55, 2020.
- [6] Türkiye İstatistik Kurumu, Sera gazı emisyon istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862/>, Accessed 9 June 2023.
- [7] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Sera Gazı Envanter Raporu. <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-ulusal-sera-gazi-emisyon-envanteri/>, Accessed 9 June 2023.
- [8] J. Kiehle, M.S. Savolainen, M. Hilli and E. Pongracz, Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. Journal of Environmental Management, 329, 117056, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056>
- [9] Y. Bıyık ve G. Civelekoğlu, Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin tespiti. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 4(2), 78-87, 2020.
- [10] Greenhouse Gas Protocol, <https://ghgprotocol.org/>, Accessed 20 June 2023.
- [11] N.C. Onat, Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izinin analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 529-545, 2018.
- [12] B. Ma, M.F. Bashir, X. Peng, W. Strielkowski and D. Kirikkaleli, Analyzing research trends of universities' carbon footprint: An integrated review. Gondwana Research, 121, 259-275, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.05.008>
- [13] P.S. Figueiro and E. Raufflet, Sustainability in higher education: a systematic review with focus on management education. Journal of Cleaner Production, 106, 22-33, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.118>
- [14] F. Findler, N. Schönherr, R. Lozano and B. Stacherl, assessing the impacts of higher education institutions on sustainable development—an analysis of tools and indicators. Sustainability, 11(1), 59, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11010059>
- [15] V. Filimonau, D. Archer, L. Bellamy, N. Smith and R. Wintrip, The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown. Science of the Total Environment, 756, 143964, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>
- [16] O.J. Robinson, A. Tewkesbury, S. Kemp and L. D. Williams, Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. Journal of Cleaner Production, 172, 4435-4455, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>
- [17] S. Ozer and B. Dogan, Thermodynamic analyzes in a compression ignition engine using fuel oil diesel fuel blends. Thermal Science, 26, 3079-3088, 2022
- [18] B. Gökçek, A. Bozdağ ve H. Demirbağ, Niğde ömer halisdemir üniversitesi örneğinde karbon ayak izinin belirlenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 721-730, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.514438>
- [19] R. Clabeaux, M. Carbajales, D. Ladner and T. Walker, Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach. Journal of Cleaner Production, 273, 122600, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122600>
- [20] J. Fouladvand, R. Oudendijk, M. Hooimeijer, R. Dersk and S. Berndsen, Carbon footprint of a news broadcasting organization. Sustainable Production and Consumption, 39, 257-268, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.004>
- [21] J. Cooper, M. Bird, S. Acha, P. Amrit, B. Chachuat, N. Shah and O. Matar, The carbon footprint of a uk chemical engineering department – The case of Imperial College London. Procedia CIRP, 116, 444-449, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.075>
- [22] S. Syafrudin, B. Zaman, M. A. Budihardjo, S. Yumaroh, D. I. Gita and D. S. Lantip, Carbon footprint of academic activities: A case study in Diponegoro University. Earth and Environmental Science, 448, 012008, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012008>
- [23] O. O. Ologun and S. T. Wara, Carbon footprint evaluation and reduction as a climate change mitigation tool - case study of Federal University of Agriculture Abeokuta Nigeria. International Journal of Renewable Energy Research, 4, 176-181, 2014.
- [24] P. Yanez, A. Sinha and M. Vasquez, Carbon footprint estimation in a university campus: evaluation and insights. Sustainability, 12, 181, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010181>
- [25] T. Utaraskul, Carbon footprint of environmental science students in Suan Sunandha Rajabhat University Thailand. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 197, 1156-1160, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.371>

- [26] A. Kurnuç Seyhan ve M. Çerçi, IPCC tier 1 ve defra metotları ile karbon ayak izinin belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi'nin yakıt ve elektrik tüketimi örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(3), 386-397, 2022. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1061021>
- [27] G. N. Güğül ve N. Kılınç, Uzaktan eğitim ile örgün eğitimin karbon ayak izine etkilerinin karşılaştırılması. Canakkale 18 Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 8, 124-131, 2022. <https://doi.org/10.28979/jarnas.944816>
- [28] İ.F. Yaka, A. Koçer ve A. Güngör, Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu karbon ayak izinin tespiti. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 12(3), 37-45, 2015.
- [29] G. Binboğa ve A. Ünal, Sürdürülebilirlik ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin karbon ayak izinin hesaplanmasına yönelik bir araştırma. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 21, 187-202, 2018. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.323532>
- [30] K. Kumaş, A. Akyüz ve A. Güngör, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Yerleşkesi yükseköğretim birimlerinin karbon ayak izi tespiti. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 1277-1291, 2019.
- [31] M. B. Kırıılmaz, A. Keçebaş ve M. Ertürk, Sanayi Enerji Yönetimi Sistemi için bir gıda tesisinin enerji verimliliğinin incelenmesi. International Journal of Pure and Applied Sciences, 7(1), 51-62, 2021.
- [32] H. Akhan, Sanayide enerji yönetimi: pompa ve fan sistemlerinde verimlilik artırıcı uygulamalar. Trakya University Journal of Engineering Sciences, 23(1), 11-23, 2022.
- [33] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2019 yılı idari faaliyet raporu. 2019 yılı idare faaliyet raporu (osmaniye.edu.tr)/, Accessed 15 June 2023.
- [34] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi. <https://www.osmaniye.edu.tr/anasayfa/>, 15 June 2023.
- [35] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2020 yılı idari faaliyet raporu. 2020 yılı idare faaliyet raporu (osmaniye.edu.tr)/, Accessed 15 June 2023.
- [36] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2020 yılı idari faaliyet raporu. 2021 yılı idare faaliyet raporu (osmaniye.edu.tr)/, Accessed 15 June 2023.
- [37] IPCC, Task force on National Greenhouse Gas inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, Accessed 20 June 2023.
- [38] IPCC, Guidelines for national greenhouse gas inventories, general guidance and reporting. Publications - IPCC-TFI (iges.or.jp), Accessed 20 June 2023.
- [39] IPCC, Guidelines for national greenhouse gas inventories, energy. Publications - IPCC-TFI (iges.or.jp), Accessed 22 June 2023.
- [40] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye ulusal elektrik şebekesi emisyon faktörü bilgi formu. <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru/>, Accessed 22 June 2023.
- [41] R. Sreng and M. G. Yiğit, Carbon footprint studies on Esentepe Campus of Sakarya University. Sakarya University Journal of Science, 21, 1095-1099, 2017.
- [42] T. Boguski, Life cycle carbon footprint of the National Geographic magazine. International Journal of Life Cycle Assessment, 15, 635-643, 2010.
- [43] Y. A. Adenle and H. M. Alshuwaikhat, Spatial estimation and visualization of co2 emissions for campus sustainability: the case of King Abdullah University of Science and Technology. Sustainability, 9(11), 2124, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9112124>

