

## Karbon Ayak İzi Hesaplamalarında Enerji Tüketiminin Örnek Bir Çalışma ile İncelenmesi

Gözde TOSUN<sup>1</sup> , Özlem TUNÇ DEDE<sup>2\*</sup> 

### Öz

Karbon ayak izi, antropojenik etki sonucu çevreye verilen zararın sera gazı miktarı açısından bir ölçüsüdür. İnsanlık tarihinde çevreye verilen zararın miladı diyebileceğimiz Sanayi Devrimi sonrası artan enerji ihtiyacı ve doğru orantılı olarak artan enerji tüketimi birkaç yüzyıllık süreçte küresel ısınmaya sebep olmuştur. Bu nedenle karbon salımı, etkileri gözle görülebilir hale gelen iklim değişikliğinin ana sebeplerinden biridir. İklim değişikliğinin önüne geçilmesi, karbon salımının azaltılması, sürdürülebilirliğin sağlanması ve enerjinin yönetilebilir hale gelmesi için öncelikle kaybedilen enerji miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesinde bulunan Mühendislik Fakültesi binasının enerji tüketimleri belirlenerek açığa çıkan karbon emisyonları yıllık olarak hesaplanmıştır. Karbon emisyonları, Greenhouse Gas Protocol (GHG) Standartları çerçevesinde ve TSE EN ISO 14064 Sera Gazlarının Hesaplanmasına Dair Kılavuzları kullanılarak ton karbon dioksit eşdeğeri (tCO<sub>2</sub>e) cinsinden; karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) gazları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu, Mühendislik Fakültesinin karbon salım miktarları; 2020 yılında 307,2 tCO<sub>2</sub>e, 2021 yılında 240,97 tCO<sub>2</sub>e ve 2022 yılında ise 233,4 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Ulusal kalkınma, sürdürülebilirlik ve insan yaşamının iyileştirilmesi hedeflenerek, yapılan değerlendirmeler ve kıyaslamalar sonucu ortaya çıkan karbon miktarlarının azaltılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon ayak izi, enerji tüketimi, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik.

## Investigation of Energy Consumption in Carbon Footprint Calculations with a Case Study

### Abstract

Carbon footprint is a measure of the damage caused to the environment as a result of anthropogenic impact in terms of the amount of greenhouse gases. After the Industrial Revolution, which we can call the milestone of environmental damage in human history, the increasing need for energy and the directly proportional increase in energy consumption have caused global warming in a few centuries. Therefore, carbon emission is one of the main causes of climate change, the effects of which have become visible. In order to prevent climate change, reduce carbon emissions, ensure sustainability and make energy manageable, the amount of energy lost must first be determined. In this study, the energy consumption of the Faculty of Engineering building located in Giresun University Güre Campus was determined and the carbon emissions released were calculated annually. Carbon emissions are calculated in tons of carbon dioxide equivalent (tCO<sub>2</sub>e) in accordance with the Greenhouse Gas Protocol (GHG) Standards and TSE EN ISO 14064 Guidelines for the Calculation of Greenhouse Gases, taking into account carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and diazotmonoxide (N<sub>2</sub>O) gases. As a result of the calculations, the carbon emission amounts of the Faculty of Engineering were found to be 307,2 tCO<sub>2</sub>e in 2020, 240,97 tCO<sub>2</sub>e in 2021 and 233,4 tCO<sub>2</sub>e in 2022. With the aim of national development, sustainability and improvement of human life, recommendations have been made to reduce the carbon amounts resulting from the evaluations and comparisons made.

**Keywords:** Carbon footprint, energy consumption, climate change, sustainability.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [gzdetsn@gmail.com](mailto:gzdetsn@gmail.com)

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [ozlem.dede@giresun.edu.tr](mailto:ozlem.dede@giresun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Giriş

Ülkelerin refah seviyelerini belirleyebilecek güçte olan enerji, büyük bir ihtiyaç haline gelerek üretim-tüketim dengesinde, ulaşımdan uluslararası ticarete pek çok farklı alanda önemli bir rol üstlenmektedir. Enerjiye duyulan bu yoğun ihtiyaç doğru orantılı olarak enerji tüketiminin de artmasına neden olmuştur. Enerjinin hem üretiminin hem de tüketiminin çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Bu çerçeveden bakıldığında sanayileşmenin getirdiği kentleşme, nüfus artışı, üretim-tüketim dengesinin artışı ve teknolojik ilerlemeler çevreyi doğrudan etkilemektedir. Birbirine endekli bu kavramlar aslında sorunun ne kadar basit kaynaklı olduğunu ve bir yandan da nasıl bir sarmal içinde olduğunu göstermektedir.

Enerji kaynakları genel olarak yenilenemez enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz vb. yakıtlar) ve yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, dalga ve su gibi) olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Enerji kaynaklarını ayrıca, herhangi bir değişime uğramadan yani dönüştürülmeden kullanılan birincil enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz, hidrolik, rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjileri gibi) ve birincil enerji kaynaklarının değişime uğrayarak başka bir forma dönüşmesiyle oluşan ikincil enerji kaynakları (elektrik, benzin, mazot, motorin, ikincil kömür, petrokok, LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) gibi) olarak iki ayrı kategoride de incelemek mümkündür (Koç ve ark., 2018).

Enerjiye olan yoğun ihtiyaç, özellikle kömür ve petrol gibi yenilenemez enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesine sebep olurken, bir yandan da çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ülkelerin coğrafi konumuna, nüfusuna, şehirleşme planlarına, gelişmişlik düzeylerine ve ekonomik gücüne bağlı olarak değişmekle birlikte, bu olumsuz etkiler arasında, çevre kirliliği, salgın hastalıklar, tarım alanlarının zarar görmesi ve doğal afetler sayılabilir (URL-1). Son yıllarda gündemde yer bulan küresel ısınma ve iklim değişikliği özellikle fosil yakıt tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. Küresel ısınma, ortalama dünya sıcaklığının insan faktörüyle veya doğal bir şekilde artması olarak ifade edilmektedir. Dünyanın aldığı ve yansıttığı güneş miktarları ve aradaki sıcaklığın bir kısmının atmosferdeki sera gazları tarafından tutulması ile önce atmosferin buna bağlı olarak da yerkürenin sıcaklığında artış meydana gelmektedir (Aksay ve ark., 2005). Bu sıcaklık artışına bağlı olarak dünyada bölgesel değişimler gözlemlenmektedir. Özellikle son yıllarda görülen büyük yangınlar, seller ve salgın hastalıklar küresel olarak tehditler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşanan bu olaylar ise iklim değişikliği kavramını beraberinde getirmiştir. İklim değişikliği "*belli bir bölgede yağış oranı ve sıcaklık seviyesi gibi hava olaylarında uzun bir süre boyunca görülen ve istatistiksel olarak anlamlı değişimler*" olarak tanımlanabilir (Uysal, 2022). Bu sorunları çözüme kavuşturmak için ise soruna neden olan enerji tüketimlerinin miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yapılan hesaplamalar ile alternatif çözüm önerileri sunulabilir ve etkileri azaltılabilir.

Karbon ayak izi, insanların küresel ısınmaya neden olduğu olumsuz katkıların ölçülmesi amacıyla kullanılan; ulaşım, ısınma, satın alınan ürünler ve tüketilen enerji sonucu atmosfere yayılan karbon miktarını gösteren bir kavramdır (Kaypak, 2013). İnsan faaliyetleri sonucu çevreye verilen zararın sera gazı miktarı açısından bir ölçüsü olarak tanımlanan karbon ayak izi ayrıca bütün karbon emisyonlarının toplamı olarak da ifade edilebilir. Tüm sera gazları, karbondioksit eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır (Carfi, 2022). Karbon ayak izi iki kategoride değerlendirilebilir (Binboğa ve Ünal, 2018):

- Birincil karbon ayak izi, doğrudan etkili olmak üzere enerji tüketimi ve ulaştırma sonucu ortaya çıkan emisyonların ölçüsüdür.
- İkincil karbon ayak izi ise dolaylı olarak örneğin kullandığımız, satın aldığımız ürünlerden dolayı ortaya çıkan emisyonlardır.

Karbon ayak izi hesaplamalarında, 2006 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) rehberlerine göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve florlu gazlar (F-gazları) doğrudan sera gazları olarak kapsama dahil edilmektedir (URL-2). Dolaylı olan sera gazlarının ise azot oksitler (NO<sub>x</sub>), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), karbon monoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) oldukları bilinmektedir (TSE, 2022).

Literatürde özellikle üniversiteler özelinde yürütülen karbon ayak izi hesaplama çalışmalarında ise; bina ve ulaşım tüketimleri belirlenerek elde edilen verilerin genellikle GHG protokolü ve ISO 14064-1 standartı çerçevesinde, IPCC Tier-1 metodolojisi, ANNEX DEFRA gibi dönüşüm faktörleri kullanılarak değerlendirildiği görülmektedir. Erciyes Üniversitesi'ndeki karbon emisyonlarının belirlenmesi için yürütülen bir çalışmada, Endonezya Üniversitesi (UI) tarafından duyurulan UI GreenMetricPlatformu ve IPCC Tier-1 ve Tier-2 olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak üniversitenin elektrik tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Gürsoy, 2023). Hesaplama değerlerine göre, 2017 yılında 27.304 tCO<sub>2</sub>e, 2018 yılında 25.243 tCO<sub>2</sub>e ve 2019 yılında 25.721 tCO<sub>2</sub>e salım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kumaş ve ark. (2019) tarafından Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Sağlık Yüksekokulu'nun yıllık karbon ayak izi miktarı DEFRA Annex metodu ile hesaplamıştır (Kumaş ve ark., 2019). 2017 yılına ait karbon salım miktarı 217,5 tCO<sub>2</sub>e olarak elde edilmiştir. En çok salınının ısınma (doğalgaz) kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Başoğul (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki akademik ve idari personelin karbon ve ekolojik ayak izleri hesaplanmıştır (Başoğul, 2018). Verilerin gıda, ulaşım, barınma ve tüketim hizmetlerini kapsayan bir anket uygulaması sonucu elde edildiği çalışmada, Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) tarafından geliştirilen ekolojik ayak izi hesaplama motoru kullanılmıştır. Genel olarak elde edilen sonuçların

dünya ve Türkiye ortalamasının altında olduğu ifade edilen çalışmada, fakültenin ortalama ekolojik ayak izi kişi başına 2,53 kha ve karbon ayak izi 15,55 tCO<sub>2e</sub> olarak tespit edildiği görülmüştür. Binboğa ve ark. (2018) ise Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin karbon ayak izini IPCC Tier 1 metodu kullanılarak hesaplamıştır ve 2016 yılı için hesaplanan emisyon değerini 8.953,906 tCO<sub>2e</sub> olarak bulmuştur (Binboğa ve ark., 2018). Emisyon oluşumunda en büyük payın elektrik kaynaklı tüketimlerin olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesinde yer alan Mühendislik Fakültesi binası için enerji tüketim verileri kullanılarak karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, Sera Gazı Envanterinin belirlenmesinde kabul görmüş olan GHG Protokolü ve TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartlarından faydalanılmıştır (URL-2 ve 4, TSE, 2019a,b,c). Bu çalışma ile fakülte binasının sadece enerji tüketimi kaynaklı karbon salımı belirlenerek, enerji tasarrufu konusunun ne kadar önemli olduğu, sürdürülebilirlik adına neler yapılabileceği konularına vurgu yapılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, 2020, 2021 ve 2022 yılları için Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi'nde yer alan Mühendislik Fakültesi binasının enerji tüketim verileri kullanılarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartlarından ve GHG Protokolü'nden faydalanılmıştır (TSE 2019a,b,c, URL-2 ve 4). Enerji tüketimi kapsamına sadece doğalgaz ve elektrik tüketimleri dahil edilmiştir. Dolaylı sera gazı bileşenleri önemsiz kabul edilmiştir.

GHG Protokolü, sera gazı envanteri hesaplamalarında ölçüm ve raporlamalarının ana çerçevesini oluşturan bir uygulama olup, genellikle üç kapsamda incelenmektedir:

- Kapsam 1: Doğrudan Oluşan Emisyonlar (örn. fosil yakıt)
- Kapsam 2: Enerji Kaynaklı Dolaylı Emisyonlar (örn. elektrik)
- Kapsam 3: Diğer Dolaylı Emisyonlar

TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartları ise ulusal standartlar olarak kabul görmüş olup, sera gazı envanteri hesaplama ve iyileştirme çalışmalarında kullanılmakta olup, 3 ana kılavuzdan oluşmaktadır:

- ISO 14064-1: Sera gazı salımlarının ve uzaklaştırmalarının kuruluş seviyesinde hesaplanmasına ve raporlandırılmasına dair kılavuz (TSE, 2019a).
- ISO 14064-2: Sera gazının azaltılması veya giderilmesi iyileştirmelerinin miktarının belirlenmesi, izlenmesi ve raporlandırılması (TSE, 2019b).

- ISO 14064-3: Sera gazı beyanlarının doğrulanması ve geçerli kılınmasına dair özellikler ve kılavuz (TSE, 2019c).

Bu üç kılavuz, sera gazının hesaplanması adına yapılacak çalışmaların sınırlarına, sera gazlarının azaltılması için neler yapılması gerektiğine ve bunların kabul edilebilirliğini belirleyen şartları içermektedir. TSE tarafından verilen önerilerde, raporlandırılan her verinin kanıtlanabilir olması ve kuruluşun yapısına uygun şekilde detaylandırılması tavsiye edilmektedir (TSE, 2019a)

Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplamasında, GHG Protokolü ve TS ISO 14064 standartları kapsamında, yakıt girdisi sonucu oluşan ürünler veya atıklardan dolayı açığa çıkan emisyonun hesap edilmesini temel alan Standart Yöntem kullanılmıştır. Matematiksel ifadesi Eşitlik 1'de gösterilmiştir:

$$E = FV \times EF \times YF \quad (1)$$

Burada;

E: Emisyonlar (tCO<sub>2</sub>)

FV: Faaliyet verisi

EF: Emisyon faktörü (kg/TJ)

YF: Yükseltgenme faktörüdür (birimsizdir ve yakıtlar için 1 olarak kabul edilmektedir).

Eşitlik 1'de yer alan FV, eşitlik 2 kullanılarak hesaplanabilir:

$$FV = \text{Yakıt Miktarı} \times NKD \quad (2)$$

Burada,

NKD: Net kalorifik değerdir (TJ/Gg).

Aksi bir durum yoksa gaz ve sıvı yakıtlar için faaliyet verisi Eşitlik 3 kullanılarak kütleyle çevrilir. NKD değeri ise IPCC raporlarından elde edilir.

$$d = m / v \quad (3)$$

Burada,

d: Yoğunluk (g/L)

m: kütle (g)

V: Hacim (L)'dir.

Hesaplamalarda kullanılan kütle, hacim, enerji gibi faaliyet verileri, emisyon faktörü, kalorifik değer, küresel ısınma potansiyeli, yoğunluk ve oksitlenen karbon yüzdesi faktörleri ve bu faktörlerin tüketilen yakıt türüne göre değişkenleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan eşitlikler ve emisyon faktörleri değerleri

Emisyon Kaynakları	Açıklama												
Tüketim Verileri: Isınma ve elektrik kaynaklı tüketimler sonucu oluşan emisyonlar dahil edilmiştir.	Kapsam 1 (doğrudan oluşan emisyonlar): Isınma ve Doğalgaz Kapsam 2 (dolaylı oluşan emisyonlar): Elektrik												
Emisyon Faktörü: IPCC verileri kullanılarak, yakıt türüne göre emisyon faktörleri seçilmiştir (URL-3).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>CO<sub>2</sub> (kg/TJ)</th> <th>CH<sub>4</sub> (kg/TJ)</th> <th>N<sub>2</sub>O (kg/TJ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doğalgaz</td> <td>56100</td> <td>1</td> <td>0,1</td> </tr> <tr> <td>Elektrik</td> <td colspan="3">0,484 (kg/kWh)</td> </tr> </tbody> </table>		CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)	Doğalgaz	56100	1	0,1	Elektrik	0,484 (kg/kWh)		
	CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)										
Doğalgaz	56100	1	0,1										
Elektrik	0,484 (kg/kWh)												
Net Kalorifik Değer (NKD): Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden NKD değeri, IPCC raporlarından elde edilmiştir (URL -3).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NKD (TJ/Gg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doğalgaz</td> <td>48,0</td> </tr> </tbody> </table>		NKD (TJ/Gg)	Doğalgaz	48,0								
	NKD (TJ/Gg)												
Doğalgaz	48,0												
Küresel Isınma Potansiyeli (KIP): Karbondioksitin etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örneğin 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki göreceli etkisini gösteren bir değer olup, GHG Protokolü’nde verilen tablodan belirlenmiştir (URL-2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>KIP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO<sub>2</sub></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CH<sub>4</sub></td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>N<sub>2</sub>O</td> <td>310</td> </tr> </tbody> </table>		KIP	CO <sub>2</sub>	1	CH <sub>4</sub>	21	N <sub>2</sub> O	310				
	KIP												
CO <sub>2</sub>	1												
CH <sub>4</sub>	21												
N <sub>2</sub> O	310												
Yoğunluk (URL-5)	Doğalgaz: 0,67 kg/m <sup>3</sup>												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığının hesaplanması neticesinde belirlenen değer olup, IPCC Tier-1 yaklaşımlarında genellikle 1 olarak kabul edilir (URL-3).	Doğalgaz: 0,995=1												

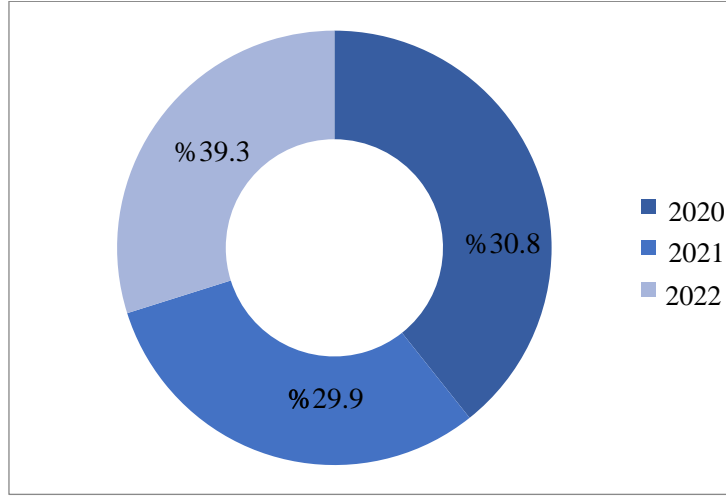
### 3. Bulgular ve Tartışma

Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi’nde yer alan Mühendislik Fakültesi binası temel alınarak yürütülen bu çalışmada, fakültesinin 2020, 2021 ve 2022 yılları için enerji tüketim verileri kullanılmış ve karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan faktörlerin değerleri ve ayrıca 2020, 2021 ve 2022 yılları için hesaplanan karbon emisyon değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 7.** Mühendislik Fakültesinin Emisyon Hesaplamaları

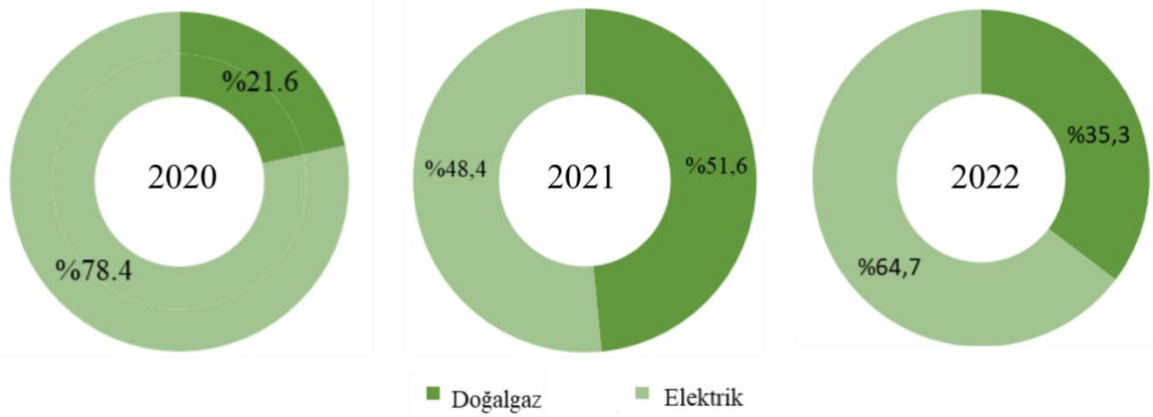
Sera Gazı	Enerji Türü	Tüketim	Yoğunluk (kg/l)	Tüketim (ton)	NKD (TJ/Gg)	Enerji Tüketimi (TJ)	Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Emisyon (ton)	Oksitlenen Karbon Yüzdesi	KİP	CO <sub>2</sub> Emisyonu (t CO <sub>2</sub> e)
<b>2020</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	56.100	66,39	1	1	66.,9
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	1	0,0000118	1	21	0,0002478
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	0,1	0,00000001	1	310	0,000031
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	497.573					0,484				240,83
<b>2020 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>307,21</b>
<b>2021</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	56.100	116,68	1	1	116,68
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	1	0,00208	1	21	0,0437
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	0,1	0,000208	1	310	0,0645
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	256.579					0,484				124,18
<b>2021 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>240,97</b>
<b>2022</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	56.100	82,308	1	1	82.308
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	1	0,00147	1	21	0,0308
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	0,1	0,000147	1	310	0,0455
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	312.042					0,484				151,02
<b>2022 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>233,40</b>

Tablo 7’de verilen değerler incelendiğinde, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası için üç yıllık toplam karbon salımı 781,58 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Şekil 1’de karbon emisyonlarının yıllara göre dağılımı verilmektedir. Elde edilen veriler, 3 yıl boyunca fakülte binasının karbon salımının birbirine yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Emisyon Değerlerinin Yıllara Göre Dağılımı

Yıllara göre emisyon değerlerinin enerji türüne göre dağılımları Şekil 2’de sunulmuştur. 2020 yılı temel alındığında toplam emisyon miktarı 307,2 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Şekil 2’de 2020 yılı toplam emisyonların enerji türüne göre dağılımı verilmiş olup, 2020 yılı toplam emisyonların oluşmasında en fazla elektrik kaynaklı tüketimlerin etkili olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. 2020, 2021 ve 2022 Yılları Emisyonlarının Enerji Türüne Göre Dağılımı

2021 yılı temel alındığında toplam salım miktarı 240,2 tCO<sub>2</sub>e olduğu hesaplanmıştır. 2021 yılı emisyonların enerji kaynağına göre dağılımı verilmiş olup, enerji türünün karbon ayak izindeki payının birbirine yakın bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.



2022 yılı temel alındığında toplam salım miktarı 233,4 tCO<sub>2e</sub> olduğu hesaplanmıştır. 2022 yılı Şekil 2'ye göre, 2022 yılı için yapılan karbon ayak izi hesaplamalarında en büyük payın elektrik kaynaklı emisyonlar olduğu görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, toplam emisyonadaki en büyük payın elektrik emisyonlarına ait olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılının mart ayında başlayan ve 2021 yılında da etkisini sürdüren Covid19 pandemisi neticesinde uzaktan eğitime geçiş yapılmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Giresun ilinin ılıman iklime sahip olması, ısınma faaliyetlerinin oluşturduğu düşük karbon emisyonlarının düşük değerlerde kalmasını sağlarken uzaktan eğitim süreci ısınma ihtiyacının ve doğalgaz tüketiminin az olmasında etkili olmuştur.

**Tablo 8.** Literatür Araştırması Sonuçları

Çalışma Bölgesi	Yıl	CO <sub>2</sub> Salımı (tCO <sub>2e</sub> )	Kaynakça
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2016	8.953,9	Binboğa, G. ve ark. (2018)
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Sağlık Yüksekokulu	2017	217,5	Kumaş, K ve ark. (2019)
Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2022	15,55	Başoğlu, Y (2018)
Erciyes Üniversitesi Kampüsü	2019 2018 2017	25.721 25.243 27.304	Gürsoy, F (2023)
Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2022 2021 2020	307,2 240,97 233,4	Bu çalışma

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde; çalışılan yıl, çalışılan alanın farklı nüfus yoğunluğunun olması ve farklı coğrafik – klimatolojik etkenler sebebi ile sonuçlar arasında önemli farklar olduğu görülmektedir. Çalışmaların ortak sonucunda ise, fosil kaynaklı enerji tüketiminin karbon ayak izini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada; Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi'nde bulunan Mühendislik Fakültesi binasının birincil karbon ayak izi, GHG Protokolü ve ISO standartları temelinde, IPCC Tier-1 metodu

kullanılarak hesaplanmış; fakülte adına farkındalık oluşturulması ve ulusal kalkınmaya, insan yaşamına, çevreye ve doğaya sürdürülebilir katkılar sunulması hedeflenmiştir.

Çalışmada, Mühendislik Fakültesi binasının 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki doğalgaz ve elektrik tüketimleri sonucu oluşan karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu Mühendislik Fakültesinin karbondioksit emisyon değerleri; 2020 yılında 307,2 tCO<sub>2e</sub>, 2021 yılında 240,97 tCO<sub>2e</sub>, 2022 yılında ise 233,4 tCO<sub>2e</sub> olarak bulunmuştur. 2020 yılında diğer yıllara göre daha yüksek tespit edilen karbon emisyonunda elektrik tüketiminin daha fazla paya sahip olduğu görülmüştür. 2021 ve 2022 yılları için toplam emisyon değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmekle birlikte, 2021 yılı karbon emisyonunda elektrik ve doğalgaz tüketiminin yakın paylara sahip olduğu, 2022 yılı için ise elektrik tüketiminin daha yüksek paya sahip olduğu belirlenmiştir.

Yürütülen bu araştırmada yapılan karbon ayak izi hesaplamaları, sera gazı emisyonlarının enerji tüketimiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler ışığında, 2020 Mart ayında başlayan Covid-19 pandemisinin karbon ayak izi miktarına etkisi değerlendirildiğinde kullanılan enerji türünün (elektrik ya da doğalgaz) tüketim miktarlarında farklılıklar olduğu belirlenmiş, toplam değerde çok büyük bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Fakat küresel olarak olağan hallerin dışında bir dönem yaşandığı için daha anlamlı istatistikler elde edilmesi açısından karbon ayak izi çalışmalarının sonraki yıllar için de hesaplaması ve yıllar bazında karşılaştırma yapılması önemlidir. Ayrıca yine pandemi nedeni ile akademik/idari personel ve öğrencilerin ulaşım verilerinin dahil edilemediği bu çalışma, enerji tüketimine ek olarak benzin/motorin gibi yakıt verilerinin kullanıldığı ulaşım kaynaklı açığa çıkan emisyon verileri de dahil edilerek genişletilebilir. Atık geri dönüşüm faaliyetlerinin ve Giresun ilinin coğrafi konumundan kaynaklı ormanlık alanlarının karbon ayak izini azaltıcı yönde bir etki yapacağı da göz ardı edilmemelidir. Tüm etkenler düşünüldüğünde, sera gazı emisyonunda önemli bir paya sahip olan enerji tüketimi için tasarruf çalışmaları yapılarak tüketimin azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi karbon ayak izini azaltmak için önemli bir adım olacaktır. Elektrik tüketiminin ana kaynağı olan aydınlatma, ısıtma/soğutma, asansör ve bilgisayar kullanımında verimli teknolojilerin kullanılması ile enerji verimliliği sağlanabilir. Bu doğrultuda, binalarda ısı yalıtımı yapılarak ısı kayıplarının önlenmesi, fotoselli lambaların kullanımının artırılması, bilgisayar/yazıcı gibi elektronik cihazların gerektiğinde kapatılması, asansör yerine merdiven kullanımının tercih edilmesi gibi tedbirler karbon salımında etkili olabilecek ve verimliliği artıracak ilk eylemler olarak değerlendirilebilir. Bu önlemlerin dışında, fakültenin karbon salımını nötrleyebilmek için yenilenebilir sistemlerin kullanılması önemli bir adım olacaktır. Üniversite için temiz enerjiye geçiş sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başında yer alacaktır. Bu amaçla elektrik enerjisinin fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elde edilmesi sağlanabilir. Bu amaçla 540 W'lık bir panelin günde 1 saat güneşlenme halinde ortalama 0,54 kW elektrik ürettiği kabul edildiğinde ve Meteoroloji

Genel Müdürlüğü tarafından Giresun ili için yıllık ortalama güneşlenme süresinin 2,2 saat/gün verildiği düşünüldüğünde, 540 W'lık bir panelin yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim kapasitesi 433,6 kW  $[(0,54 \text{ kW/sa} * 2,2 \text{ sa/gün}) * 365 \text{ gün}]$  olacaktır (URL-6). Tablo 7'de sunulan Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki elektrik tüketim verileri baz alınarak üç yılın ortalama elektrik tüketim değeri 355.398 kW olarak hesaplanmış olup, yaklaşık 820 adet 540 W'lık fotovoltaik panele tekâmül ettiği tespit edilmiştir.

Üniversitelerde yürütülecek çalışmalar; sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği konularında toplumsal farkındalık yaratılması ve çevre bilincinin artırılmasında oldukça önemlidir. Bu tür çalışmaların artırılması ve sürdürülmesi, karbon ayak izinin azaltılması için alınabilecek önlemler üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş (Proje No: FEN-BAP-C-301221-02) ve ayrıca, Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ev sahipliğinde 26-28 Ekim 2023 tarihlerinde gerçekleştirilen II. Uluslararası Çevre, Enerji ve Ekonomi Kongresi'nde (INTECONGRESS) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Aksay, C.S., Ketenoğlu, O. ve Kurt. L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-42.
- Başoğlu, Y., (2018). Akademisyen ve İdari Personelin Ekolojik ve Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* (6)3, 464-470.

