



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.10.2022
Kabul Tarihi : 05.12.2022

Received Date : 18.10.2022
Accepted Date : 05.12.2022

SİVAS İLİNDE KARAYOLUNDAN KAYNAKLANAN KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF CARBON FOOTPRINT OF ROAD ORIGIN IN SİVAS CITY

Ayben POLAT BULUT¹* (ORCID: 0000-0003-0151-8680)

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Sivas, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ayben POLAT BULUT, aybenpolat@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Günümüzde küresel ısınma, insan hayatını tehdit eden en önemli küresel sorun haline gelmiştir. Küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının başlıca kaynaklarından biri de ulaşım sektörüdür. Bu çalışmada 2015-2021 yılları dahil 7 yıllık zaman periyodunda Sivas ilinde kara yolu taşımacılığında kaynaklanan karbon ayak izi belirlenerek küresel ısınmaya katkısı araştırılmıştır. Karbon ayak izini belirlemek amacıyla Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kara yolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonunun Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarına göre sırasıyla 640 Gg CO₂ ve 634 Gg CO₂ olduğu hesaplanmıştır. Her iki yöntem içinde en yüksek CO₂ emisyonuna 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonuna ise 2015 yılında ulaşılmıştır ve CO₂ emisyonunu etkileyen temel unsurun ise yakıt tüketim miktarı olduğu belirlenmiştir. 2021 yılında CO₂ emisyonunda 2015 yılına göre % 20' lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek CO₂ emisyonuna akaryakıtlar içinde motorinin, kara yolu taşıtları arasında ise otomobilin katkısının olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kara yolu ulaşımı, karbon ayak izi, sera gazları, Sivas

ABSTRACT

In this today, global warming has become the most important global problem threatening human life. One of the main sources of greenhouse gases that cause global warming is the transportation sector. In this study, the carbon footprint resulting from road transport in Sivas province was determined in a 7-year time period, including the years 2015-2021, and its contribution to global warming was investigated. In order to determine the carbon footprint, the methodology determined by the Tier 1 and Tier 2 approaches proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used. As a result of the study, it has been calculated that the CO₂ emissions from road transportation are 640 Gg CO₂ and 634 Gg CO₂, respectively, according to the Tier 1 and Tier 2 approaches. Among both methods, the highest CO₂ emission was achieved in 2018 and the lowest CO₂ emission was achieved in 2015, and it was determined that the main factor affecting CO₂ emissions was the amount of fuel consumption. It has been determined that there is a 20 % increase in CO₂ emissions in 2021 compared to 2016. It has been determined that diesel fuel contributes to the highest CO₂ emission among fuel oils and automobiles contribute to the highest CO₂ emissions.

Keywords: Road transportation, carbon footprint, greenhouse gases, Sivas

GİRİŞ

Küresel sera gazı emisyon artışı nedeniyle, dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığında önemli bir artış gözlenmiştir (Güzel ve Alp, 2020). Sera gazları içerisinde % 80' lik bir oranla en yüksek derişime CO₂ sahiptir ve dolayısıyla sera gazları içerisinde en önemlisidir (Demirtürk, 2021). Son on yılı aşkın bir süredir, atmosfere salınan CO₂ emisyonlarından sorumlu başlıca sektörlerden biri ulaşım sektörüdür (Alam vd., 2017; Güzel ve Alp, 2020). Ulaşım tarafından sürekli artan CO₂ miktarı endişeleri artırmaktadır (Yaacob vd., 2020). Ulaşım sektöründeki sera gazı emisyonları, elektrik ve ısı sektöründen sonra ikinci sırada yer almaktadır (Chang vd., 2019). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) yıllık raporuna göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) toplam sera gazlarının % 27' den fazlası ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır (Liu ve Crillo, 2016). Ulaşım sektörünün alt sektörleri arasında, karayolu taşımacılığı sektörü, toplam ulaşım sektörü emisyonlarının yaklaşık dörtte üçü olan en büyük karbondioksit emisyonunu oluşturmaktadır (Chang vd., 2019). Bu sektör içinde, hafif hizmet araçları, toplam sera gazının % 61' ini oluşturan en büyük kirletici kaynaklardır. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) tahmini, sera gazlarının (GHG' ler) ana bileşeni olan fosil yakıtla ilgili karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık %15'in den karayolu binek otomobillerinin sorumlu olduğunu göstermektedir (Liu ve Crillo, 2016).

Karayolu taşımacılığı yalnızca önemli bir hava kirliliği kaynağı olmakla kalmamış, aynı zamanda her yıl küresel olarak CO₂ dahil milyonlarca ton bu tür gazın atmosfere salındığı GHG' lere önemli katkısı da olmuştur (Ajufu ve Bekaroo, 2021). Karayollarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının artış sebebi olarak; araç sayısındaki artış, mevcut araçların emisyon miktarının çok olması, araç bakımlarının ve kirli gaz kontrollerinin düzenli yapılmaması, kalitesi düşük yakıt kullanılması karayollarındaki nüfus artışı ve trafik sıkışıklığı gösterilmektedir (Dündar, 2021). Karayolu taşımacılığında kaynaklanan yüksek CO₂ emisyonlarını azaltmak için birçok ülke, özellikle alternatif yakıtlara dayalı düşük karbonlu ulaşım sistemleri geliştirmektedir (Chang ve Huang, 2021).

Türkiye' de de ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar, ana emisyon kaynaklarından biridir (Çipil, 2014). Ulaşım sektörü, toplam enerji talebinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır ve Türkiye'deki toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık % 26'sından sorumludur (Güzel ve Alp, 2020).

Karbon ayak izi yöntemi, verilen sınırdaki karbon emisyonlarını denetlemek için uygun bir yol sağlar. "Karbon ayak izi, bir faaliyetin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu veya bir ürünün yaşam evreleri boyunca biriken karbondioksit emisyonlarının toplam miktarının bir ölçüsüdür" (Zhao vd., 2022). Karbon ayak izi, ulaşım ve evsel enerji üretimi için tüketilen fosil kaynaklar sonucu oluşan CO₂ emisyonlarının bir ölçüsü olarak birincil karbon ayak izi ve kullandığımız ürünlerin imalatından nihai bertarafına kadar ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının ölçüsü olarak ise ikincil karbon ayak izi olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Kılıç vd., 2021). Bir faaliyetten kaynaklanan sera gazı emisyonlarının nicel bir ifadesi olan karbon ayak izi, emisyon yönetimine ve azaltım önlemlerinin değerlendirilmesine yardımcı olur (Pandey vd., 2011). Uzun yıllar süren sürekli gelişim ve büyümeden sonra, karbon ayak izi (CF), CO₂ emisyonlarını veya GHG emisyonlarını CO₂ eşdeğerleri (CO₂-eq) cinsinden ölçmek için bir gösterge olarak geniş çapta benimsenmiş ve pek çok araştırmada uygulanmıştır (Zhao vd., 2022).

Özellikle kentleşme ve endüstrileşmedeki hızlı artışla kaçınılmaz hale gelen hava kirliliğinin insan sağlığı ve diğer canlılar üzerindeki olumsuz etkileri gün geçtikçe artmakta ve önem kazanmaktadır. Son yıllarda hava kirliliği ve küresel ısınma ile mücadele çalışmalarında karbon ayak izi kavramı oldukça dikkat çekmeye başlamıştır. Karbon ayak izi çalışmaları ile yapılan faaliyetlerin çevreye yaydığı CO₂ derişimi belirlenerek hava kirliliği ve küresel ısınmaya katkısı tespit edilmektedir. Karbon ayak izi çalışmaları sonucu ne tür önlemlerle CO₂ emisyonunun azaltılabileceği hedeflenmektedir. Literatürde inşaat sektörü (Onat, 2018), kauçuk endüstrisi (Mutlu vd., 2018), tekstil endüstrisi (Coşkun ve Doğan, 2021) gibi çeşitli sanayi kuruluşlarından; üniversiteler (Gökçek vd., 2019; Binboğa ve Ünal, 2018), belediyeler (Turan ve Karaer, 2019) gibi kurumsal alanlardan; hava alanları (Postorino ve Mantecchini, 2014; Kumaş vd., 2019), karayolları (Bıyık ve Civelekoğlu, 2020; Kılıç vd., 2021; Dündar ve Kolay, 2021) gibi ulaşım sektörlerinden kaynaklanan çeşitli karbon ayak izi çalışmaları mevcuttur. Yapılan çalışmada 2015-2021 yılları dahil yedi yıllık periyotta Sivas il sınırları içerisinde karayolu kaynaklı karbon ayak izi hesaplanmıştır ve Sivas ili için CO₂ emisyonunu düşürmeye yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu şekilde temiz hava gibi canlılar için hayati önem taşıyan doğal kaynakların sürdürülebilirliği de sağlanmış olacaktır. Çalışmada sera gazı emisyon hesaplamasında IPCC tarafından geliştirilen Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yakıt miktarı verileri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) raporlarından temin edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Şekil 1’ de haritası verilen Sivas, İç Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Kızılırmak bölümünde (Selçuk ve Irmak, 2022; Karakuş vd., 2015) ve 35° 50’ ve 38° 14’ doğu boylamıyla 38° 42’ ve 40° 16’ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. (Bulut ve Canbaz, 2022) Sivas 28.488 km²’ lik yüz ölçümü ile Türkiye’ nin ikinci en büyük ilidir (Bulut ve Canbaz, 2022; Selçuk ve Irmak; 2022; Karakuş vd., 2015). Topografyası genellikle engebeli olup, deniz seviyesinden 1200-1500 m yüksekliktedir (Karakuş vd., 2015). Karasal iklime sahiptir (Bulut ve Canbaz; 2022) ve İç Anadolu bölgesinin en soğuk ilidir (Bulut ve Canbaz, 2022; Karakuş vd., 2015). Yazın sıcaklık 40 °C’ ye kadar yükselirken kışın ise -33° C’ ye kadar düşebilir (Karakuş vd., 2015). Yıllık ortalama yağış miktarı 420 mm (Bulut ve Canbaz, 2022; Karakuş vd., 2015) olup, toplam yağış miktarının % 22’ sini son bahardaki yağışlar, % 36’ sını ilk bahardaki yağışlar, % 32’ sini kış yağışları, geri kalan % 10’ unu ise yaz yağışları oluşturmaktadır (Karakuş vd., 2015).



Şekil 1. Sivas İli Haritası

IPCC Metodolojisi

Bu çalışmada Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier yaklaşımlarından Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımları kullanılmıştır. Tier 1 yaklaşımı daha az veri gerektiren daha basit bir yöntemdir. Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları ise daha karmaşık yöntemlerdir ve daha fazla veri gerektirmektedir (IPCC, 2006). Tier 3 yaklaşımına ait verilere ulaşılamadığından dolayı Tier 3 yaklaşımı kullanılmamıştır.

Tier 1 Yaklaşımı

Tüm yakıt kaynaklarından gelen emisyonlar, genellikle ulusal enerji istatistiklerinden elde edilen tüketilen yakıt miktarlarına ve emisyon faktörlerinin ortalamasına dayanılarak tahmin edildiğinden dolayı Tier 1 metodu yakıt temelli bir yaklaşımdır. Tier 1 hesap yönteminde yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar, yakılan yakıtın miktarı ve türüne ilişkin emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır (IPCC, 2006). Tier 1 eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Dündar, 2021).

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (t)} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)} \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\text{Karbon İçeriği (Gg C)} = \text{Karbon Emisyon Faktörü (tC/TJ)} \times \text{Enerji Tüketimi} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (3)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon Emisyonu (Gg C)} \times \text{Molekül Ağırlığı Oranı (44/12)} \quad (4)$$

Eşitlik (1)' de bulunan dönüşüm faktörleri, Eşitlik (2) ' de yer alan karbon emisyon faktörleri ve Eşitlik (3)' teki karbon oksitlenme oranları IPCC kılavuzundan temin edilmiş olup Tablo 1' de sunulmuştur. Yakıt tüketimleri ise her il için EPDK raporlarından temin edilerek Tablo 2 ve Şekil 2' de sunulmuştur.

Tablo 1. Tier 1 Yaklaşımında Kullanılan Yakıt Verileri (IPCC, 2006)

Yakıt Türü	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	C Emisyon Faktörü (tC/TJ)	C Oksitlenme Oranı (%)
Benzin	44,3	18,90	0,99
Motorin	43,0	20,20	0,99
LPG	47,3	17,20	0,99

Tablo 2. Sivas İli İçin Yıllık Yakıt Tüketimleri (EPDK, 2015; EPDK, 2016; EPDK, 2017; EPDK, 2018; EPDK, 2019; EPDK, 2020; EPDK, 2021)

Yıllar	Benzin, ton	Motorin, ton	LPG, ton	Toplam, ton
2015	10299	137961	27057	175317
2016	12722	157230	34241	204193
2017	13033	173384	34474	220891
2018	12956	181313	34738	229052
2019	13673	147941	34946	196560
2020	13299	146481	33812	193592
2021	17529	171557	28996	218082

Tier 2 Yaklaşımı

Tier 2 hesaplama yönteminde, yakıt tüketimi yerine taşıtın yapmış olduğu yol miktarı hesaba katılmaktadır. Tier 2 yönteminde, yanmadan kaynaklanan emisyonlar, Tier 1 yönteminde kullanıldığı gibi benzer yakıt istatistiklerinden tahmin edilir, ancak Tier 1 varsayılanları yerine ülkeye özgü emisyon faktörleri kullanılır. Tier 2 yaklaşımı, karayolu taşımacılığında satılan yakıtın ülkeye özgü karbon içeriğinin kullanılması dışında Tier 1 ile aynıdır. Tier 2'de, CO₂ emisyon faktörleri, oksitlenmemiş karbonu veya CO₂ dışındaki bir gazdan yayılan karbonu hesaba katacak şekilde ayarlanabilir (IPCC, 2006). Tier 2 hesaplamaları Eşitlik (5), Eşitlik (6), Eşitlik (7), Eşitlik (8) ve Eşitlik (9) kullanılarak yapılmaktadır (Çelik, 2020).

$$\text{Yakıt Tüketimi (kt)} = \text{Araç Sayısı} \times \text{Menzil (km)} \times \text{Yakıt Tüketimi (L/km)} \times \text{Yoğunluk (kg/L)} \times 10^{-6} \quad (5)$$

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (kt)} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)} \quad (6)$$

$$\text{Yakıtın C İçeriği (tC)} = \text{Enerji Tüketimi (TJ)} \times \text{C Emisyon Faktörü (tC/TJ)} \quad (7)$$

$$\text{Karbon Emisyonu (tC)} = \text{Yakıtın C İçeriği (tC)} \times \text{C Oksitlenme Oranı} \quad (8)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = \text{C Emisyonu (t)} \times \text{Molekül Ağırlığı Oranı (44/12)} \times 10^{-3} \quad (9)$$

Eşitlik (5)' te yer alan araçların yıllık menzil verileri Bıyık ve Civelekoğlu (2020) tarafından rapor edildiği gibi Tablo 3' de verilen 100 km' deki yakıt tüketim değerleri ve Tablo 4' te verilen araç sayısı verileri yardımıyla ortalama olarak bulunmuş ve Tablo 5' te sunulmuştur. Araç sayıları ve trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı 2015-2021 periyodu için Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) temin edilmiş, illere oranlanmış ve Şekil 2' de sunulmuştur. Akaryakıtların yoğunlukları ise Tablo 6' da görülmektedir. Araçların yıllık menzilleri hesaplanırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir (Bıyık, 2018).

- Araçların tükettiği akaryakıt miktarları ve akaryakıtların yoğunlukları yardımıyla akaryakıtların toplam hacimleri hesaplanmıştır.
- Toplam akaryakıt hacmi toplam araç sayısına bölünerek 1 aracın tükettiği yakıt hacmi bulunmuştur.

- 1 aracın tükettiği yakıt hacmi aracın 100 km' deki yakıt tüketimine bölünerek araçların yıllık menzilleri km cinsinden ortalama olarak bulunmuştur.

Tablo 3. Motorlu Taşıt Türüne Göre 100 km'de Tüketilen Ortalama Yakıt Miktarı (IPCC, 1996)

Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet
Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
8,5	7,3	11,2	10,9	29,9	10,9	29,9	4

Tablo 4. Sivas İli Araç Sayıları (TUIK, 2022)

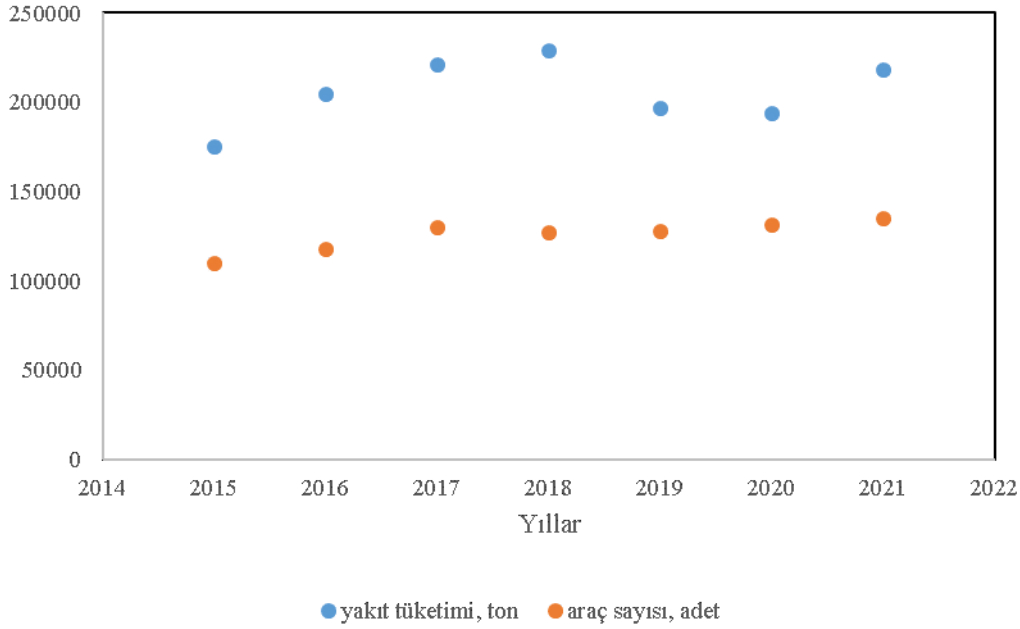
Yıllar	Otomobil				Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Toplam Araç Sayısı
	Benzin	Dizel	LPG	Toplam	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin	
2015	19890	22773	29043	71706	3348	1196	21842	5722	6078	109892
2016	20681	25928	30250	76859	3382	1185	23695	5953	6311	117385
2017	21211	28991	36794	86996	3403	1218	25274	6123	6775	129789
2018	20778	30708	31626	83112	3365	1270	25913	6176	7162	126998
2019	20192	31789	31122	83103	3275	1305	26085	6113	7454	127335
2020	21117	33148	31762	86027	3179	1257	26685	6180	7896	131224
2021	22846	33687	32164	88697	3062	1254	27441	6269	8273	134996

Tablo 5. Sivas İli İçin Hesaplanan Araçların Ortalama Yıllık Menzilleri (km)

Yıllar	Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2015	8015	37352	15124	25016	9119	25016	9119	68168
2016	9522	39049	18375	26152	9534	26152	9534	71265
2017	9512	39864	15210	26698	9733	26698	9733	72752
2018	9652	40063	17831	26831	9781	26831	9781	73115
2019	10482	32119	18228	21511	7842	21511	7842	58616
2020	9749	30858	17282	20666	7534	20666	7534	56316
2021	11877	35399	14635	23708	8643	23708	8643	64604

Tablo 6. Akaryakıt Yoğunlukları (Bayrakçeken ve Kuş, 2004)

Yakıt	15 °C' de Yoğunluk, kg/L	Çalışmada Kabul Edilen Yoğunluk, kg/L
Benzin	0,730-0,780	0,760
Motorin	0,810-0,850	0,830
LPG	0,508-0,584	0,550



Şekil 2. Sivas İli İçin Yıllara Göre Yakıt Tüketimi ve Araç Sayısı

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında 2015 ve 2021 yılları dahil yedi yıllık zaman periyodunda Sivas ilinde karayolu ulaşımından kaynaklanan karbon ayak izi hesaplamaları IPCC tarafından önerilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımları kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda CO₂ emisyonunun Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla 640 Gg CO₂ ve 635Gg CO₂ olduğu ve sonuçların da birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Hem Tier 1 hem de Tier 2 yöntemlerine göre en yüksek CO₂ emisyonuna Şekil 2 ve Tablo 2’ de de görüldüğü gibi en yüksek yakıt tüketiminin olduğu 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonuna ise en az yakıt tüketiminin olduğu 2015 yılında ulaşıldığı Şekil 3’te görülmektedir. Yakıt tüketimi ile CO₂ emisyonu arasında doğrusal bir orantı bulunmaktadır. Dolayısıyla CO₂ emisyonu 2015 yılından 2018 yılına kadar artan yakıt tüketimi ile paralel olarak artış gösterirken 2019 ve 2020 yıllarında yakıt tüketiminde görülen azalma ile CO₂ emisyonu da azalmıştır ve 2021 yılında yakıt tüketiminin yeniden artışa geçmesiyle CO₂ emisyonu da yükselmiştir. Her iki yöntemin sonucuna göre de 2021 yılında 2015 yılına göre salınan CO₂ emisyonlarında yaklaşık % 20’ lik bir artış olduğu görülmüştür. Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre hesaplanan CO₂ emisyonları Tablo 7 ve Tablo 8’ de sunulmuştur. Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle yapılan hesaplamaların sonuçlarına bakıldığında en yüksek CO₂ emisyonunun görüldüğü 2018 yılında Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla 714 Gg CO₂ ve 702 Gg CO₂ emisyonu ile her iki yöntemin sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 78,59 ve % 71,53’ lük bir oranla en fazla karbon dioksit emisyonuna sahip akar yakıt ise Şekil 4’ te de görüldüğü gibi motorindir ve bu durum Tablo 2’ de de görüldüğü gibi il genelinde motorin kullanımının en yüksek düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. Tier 2 yöntemi ile araç türlerinin salmış olduğu CO₂ emisyonlarını hesaplamak da mümkündür ve Şekil 5’ e baktığımızda karayolu taşıtları arasında en fazla CO₂ emisyonuna sahip aracın % 53,82’ lik oranla otomobil olduğu ve otomobilleri % 27,65’ lik bir oranla kamyonetlerin takip ettiği ve bu durumun Tablo 4’ te de görüldüğü gibi ildeki en fazla araç türünün otomobil, ardından da kamyonetler olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Yine yapılan çalışma sonucunda otomobiller arasında da en fazla CO₂ salınımının dizel yakıtlı en az CO₂ salınımının ise benzinli otomobillerden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Yılların ortalamasına baktığımızda otomobiller arasında LPG’ li otomobil sayısının dizel otomobillerden daha fazla olmasına rağmen dizel otomobillerin saldığı CO₂ emisyonu yapılan çalışmalar sonucu daha yüksek çıkmıştır. Bu da LPG’ nin motorine göre daha düşük CO₂ emisyonu saldığını ifade etmektedir. Dizel yakıtlı otomobiller % 59,9 oranında CO₂ salınımına sebep olurken, LPG’ li otomobillerin % 28,2 oranında CO₂ salınımına sebep olduğu belirlenmiştir. Baycan ve Zengin (2021) İzmir ili için Tier 2 metodu ile otomobillerden kaynaklanan karbon ayak izini araştırdıkları çalışmalarında İzmir’ de en fazla LPG’ li otomobillerin en az sayıda da benzinli otomobillerin var olduğunu ve CO₂ emisyonunun LPG’ li ve dizel otomobiller için sırasıyla % 40 ve % 33

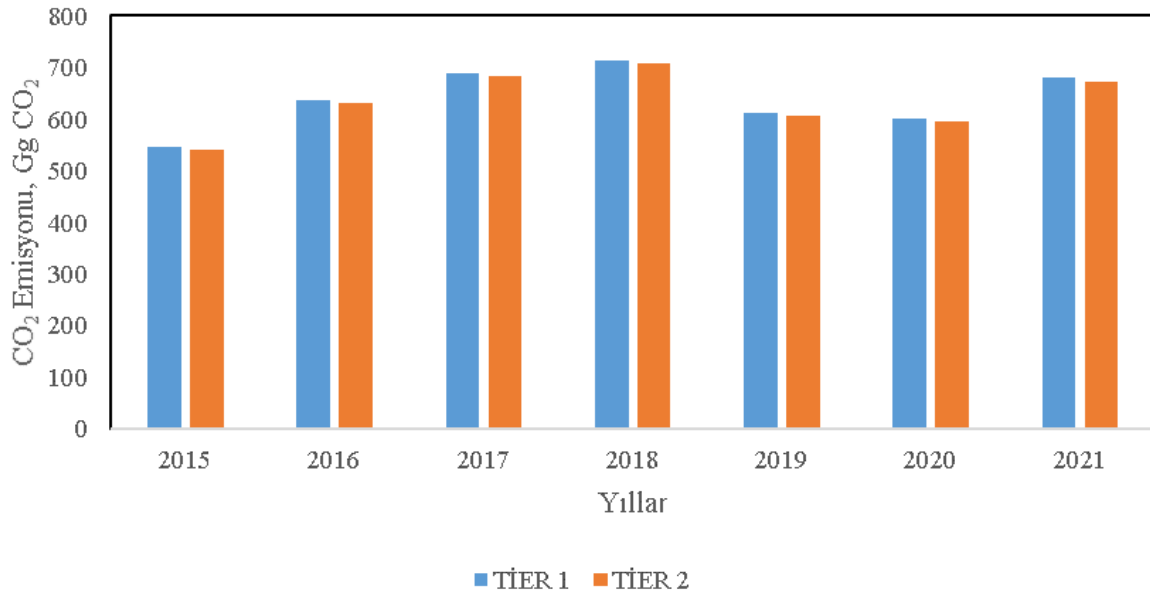
oranında olduğunu ifade etmişlerdir. İzmir ve Sivas arasındaki LPG' li ve dizel otomobiller için CO₂ emisyon farkının ise LPG' li ve dizel otomobil sayılarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7. TIER 1 Yöntemine Göre CO₂ Emisyonları, Gg CO₂

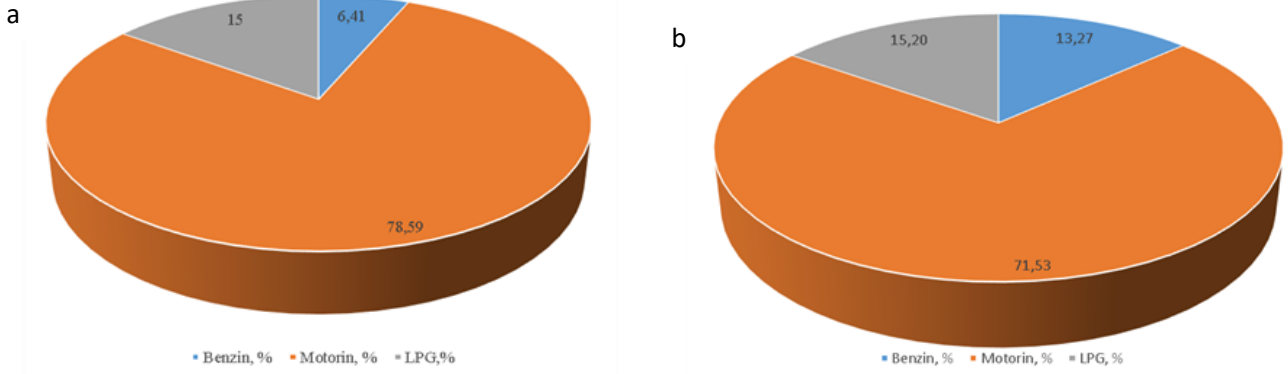
Yıllar	Benzin	Dizel	LPG	Toplam
2015	31,30	434,99	79,91	546
2016	38,66	495,75	101,12	636
2017	39,61	546,68	101,81	688
2018	39,38	571,68	102,59	714
2019	41,56	466,46	103,20	621
2020	40,42	461,86	99,86	602
2021	53,28	540,92	85,63	680

Tablo 8. TIER 2 Yöntemine göre CO₂ Emisyonları, Gg CO₂

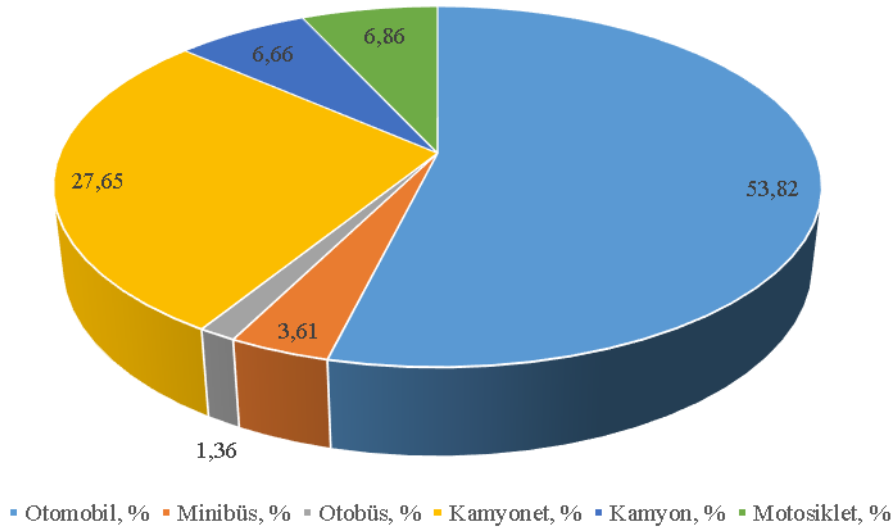
Yıllar	Otomobil			Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Toplam
	Benzin	Motorin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin	
2015	31,30	162,50	79,91	23,89	8,43	155,86	40,83	38,28	541
2016	38,66	193,42	101,12	25,23	8,73	176,77	44,41	41,55	630
2017	39,61	220,79	101,81	25,92	9,16	192,48	46,63	45,54	682
2018	39,38	235,03	102,59	25,75	10,36	198,33	47,27	48,38	707
2019	41,56	195,06	103,20	20,10	7,91	160,06	37,51	40,37	606
2020	40,42	195,41	99,86	18,74	7,32	157,31	36,43	41,09	597
2021	53,28	227,82	85,63	20,71	8,38	185,58	42,40	49,38	673



Şekil 3. Tier 1 ve Tier 2 Yöntemlerine Göre CO₂ Emisyonları



Şekil 4. Akaryakıt Türüne Göre CO₂ Emisyonları: (a) Tier 1, (b) Tier 2



Şekil 5. Araç Türlerine Göre CO₂ Emisyonu

Kılıç vd. (2021) tarafından Çanakkale ili için yapılan benzer bir çalışmada da Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerinin sonuçları birbirine oldukça yakın bulunmuş olsa da Tier 1 yönteminin sonuçları daha yüksektir ve 2018 yılında Tier 1 ve Tier 2 için CO₂ emisyonlarının sırasıyla 752,536 Gg CO₂ ve 736,89 Gg CO₂ olduğu ifade edilmiştir. Dündar ve Kolay (2021) Tier 1 metodunu kullanarak Konya ilinin karbon ayak izini hesapladıkları çalışmada benzer şekilde en yüksek CO₂ emisyonuna dizel yakıtlı araçlardaki artış nedeniyle motorinin sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Isparta ilinde dizel araçlardaki artış nedeniyle en çok emisyon yayan araçların dizel yakıtlı araçlar olduğu ve 2016 yılında 2010 yılına göre Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 34 ve % 43'lük bir emisyon artışı olduğu Bıyık ve Civelekoğlu (2020) tarafından ifade edilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ulaşım sektörünün en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan sektörler arasında olduğu ve ulaşım sektörünün içinde de yine kara ulaşımının en fazla CO₂ emisyonuna katkısının olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmada Sivas' ta 2021 yılında 2015 yılına göre kara yolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonunda % 20' lik bir artış olduğu belirlenmiştir. En yüksek CO₂ emisyonu 2018 yılında, en düşük CO₂ emisyonu ise 2015 yılında görülmüştür. Araçlarda kullanılan akaryakıtlar arasında ise en yüksek CO₂ emisyonuna en fazla tüketilen yakıt olan motorinin sahip olduğu ve motorinin Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri için sırasıyla % 78,59 ve % 71,53' lük paya sahip olduğu belirlenmiştir. Motorlu kara taşıtları arasında ise en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan % 53,82' lik oranla otomobildir. Yine otomobiller arasında da dizel yakıtlı otomobillerin en fazla CO₂ emisyonuna neden olduğu bilinmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda Sivas ilinde de kara ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonu ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik bazı çözüm önerilerinde bulunmak mümkündür. Bunlar;

- Yakıt verimliliği yüksek, motor teknolojileri gelişmiş, emisyon salımmı düşük araçlar tercih edilmelidir.
- Daha temiz teknolojiler ve çevre dostu araçlar tercih edilmelidir. Yapılan çalışma sonucunda LPG' li otomobil sayısının dizel yakıtlı otomobil sayısından fazla olmasına rağmen LPG' li otomobillerin CO₂ emisyonlarının daha düşük olması LPG' nin motorine göre daha temiz, çevre dostu ve tercih edilebilir bir akaryakıt olduğunu göstermektedir.
- Bir ağacın yılda fotosentez sırasında 12 kg CO₂ tuttuğu bilgisine dayanılarak şehirlerde ağaçlandırma çalışmaları vakit kaybetmeden hızlandırılmalıdır.
- İnsanlar özel araç yerine toplu taşımaya, hatta mümkün olduğu durumlarda yaya ulaşımına teşvik edilmelidir.
- Mümkün olduğu durumlarda deniz yolu ve demir yolu gibi kara ulaşımına alternatif ulaşım türleri desteklenmelidir.
- İnsanlar eğitimlerle bilinçlendirilmeli ve araç bakımları aksatılmadan düzenli bir şekilde yapılmalıdır.
- Yeterli bisiklet yolları temin edilerek bisiklet ve elektrikli scooter gibi motorsuz araç kullanımları yaygınlaştırılmalıdır.
- Hibrit teknolojisine sahip araçların kullanımı teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ajufo, C. A. M. & Bekaroo, G. (2021, December). An automated personal carbon footprint calculator for estimating carbon emissions from transportation use, In Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and its Applications (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1145/3487923.3487935>
- Alam, M. S., Duffy, P., Hyde, B. & McNabola, A. (2017). Improvement in the estimation and back-extrapolation of CO₂ emissions from the Irish road transport sector using a bottom-up data modelling approach, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 18-32. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.011>
- Baycan, N. & Zengin, T. O. (2021). Determination of Carbon Footprint of Automobile Origin in Izmir City, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 642(1) 012015. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/642/1/012015>
- Bayrakçeken, H. & Kuş, RÖ (2004). Taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtlar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 125-144.
- Bıyık, Y. (2018). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 89s.
- Bıyık, Y. & Civelekoğlu, G. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.427359>.
- Binboğa, G. & Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi' nin karbon ayak izinin hesaplanmasına yönelik bir araştırma, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 187-202. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.323532>.
- Bulut, A.P. & Canbaz, G.T. Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 249-255. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1010315>
- Chang, C. C. & Huang, P. C. (2022). Carbon footprint of different fuels used in public transportation in Taiwan: a life cycle assessment, *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5811-5825. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01685-6>
- Chang, C. C., Liao, Y. T. & Chang, Y. W. (2019). Life cycle assessment of carbon footprint in public transportation- a case study of bus route no. 2 in Tainan city, Taiwan, *Procedia Manufacturing*, 30, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.054>
- Coşkun, S., ve Doğan, N. (2021). Tekstil endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 28-35. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.670336>

Çelik, H.A. (2020). Konya ilinde ulaşımdan kaynaklı karbon ayak izi ve fayda maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya 146s.

Çipil, F. (2014). Performance analysis of Turkey's transport sector greenhouse gas emissions, *Energy & environment*, 25(2), 357-367. <https://doi.org/10.1260/0958-305X.25.2.357>

Demirtürk, D. (2021). Sürdürülebilir ulaşımda sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1080-1092. <https://doi.org/10.21923/jesd.932385>

Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki büyükşehirlerin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarının karşılaştırmalı analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337. <https://doi.org/10.21324/dacd.862836>

Dündar, A. O. & Kolay, A. (2021). Karayolu yük ve yolcu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmesi ve Konya ili sera gazı emisyonunun hesaplanması, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 317-334. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.786463>

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2022a). Petrol piyasası sektör raporu 2021. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2022b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2021 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 10.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2021a). Petrol piyasası sektör raporu 2020. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2021b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2020 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2020a). Petrol piyasası sektör raporu (2019). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2020b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2019. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2019a). Petrol piyasası sektör raporu 2018. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2019b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası 2018 yılı sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2018a). Petrol piyasası sektör raporu (2017). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2018b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2017. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2017a). Petrol piyasası sektör raporu (2016). Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2017b). Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu 2017. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2016a). 2015 Petrol piyasası sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2016b). 2015 Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) piyasası sektör raporu. Accessed <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>. 01.08.2022.

- Gökçek, B., Bozdağ, A. & Demirbağ, H. (2019). Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneğinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 721-730. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.514438>.
- Güzel, T. D. & Alp, K. (2020). Modeling of greenhouse gas emissions from the transportation sector in Istanbul by 2050, *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2190-2201. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.034>
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II, Energy, Mobile Combustion; pages: 8-73
- Karakus, C. B., Cerit, O. & Kavak, K. S. (2015). Determination of land use/cover changes and land use potentials of Sivas city and its surroundings using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS), *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.040>
- Kılıç, M. Y., Dönmez, T. & Adalı, S. (2021). Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi izi: Çanakkale örneği, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 943-955. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.848016>
- Kumaş, K., İnan, O., Akyüz, A. Ö. & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı uçaklardan kaynaklanan karbon ayak izinin belirlenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291-297. <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>
- Liu, Y. & Cirillo, C. (2016). Evaluating policies to reduce greenhouse gas emissions from private transportation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 219-233. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.018>
- Mutlu, V., Özgür, C., Bekaroğlu & Ş. Ş. K. (2018). Kauçuk endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 139-146. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.434223>
- Onat, N. C. (2018). Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi, *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 529-547. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.311289>
- Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation, *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 135-160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
- Postorino, M. N. & Mantecchini, L. (2014). A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions. *Journal of Air Transport Management*, 37, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.03.001>
- Selcuk, B. C. & Irmak, M. A. (2022). A study on the adequacy and requirement of urban active green areas in Sivas, *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02), 2209-2220.
- Turan, R. B. & Karaer, F. (2019). Bursa Osmangazi belediyesi kurumsal karbon ayak izi hesabı ve iklim değişikliği uyum çalışmaları. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 4(1), 17-24.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). Motorlu kara taşıtları istatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeelistatistik/degiskenlerUzerindenSorgula.do>. 01.08.2022.
- Yaacob, N. F. F., Mat Yazid, M. R., Abdul Maulud, K. N. & Ahmad Basri, N. E. (2020). A review of the measurement method, analysis and implementation policy of carbon dioxide emission from transportation, *Sustainability*, 12(14), 5873. <https://doi.org/10.3390/su12145873>.
- Zhao, L., Feng, J. & Dong, H. (2022). Analysis of carbon footprint and reduction approach of magnesia production in China, *Journal of Cleaner Production*, 334, 130194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130194>.