



Kocaeli İli İçin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Emisyonların Hesaplanması

Abdullah Zorlu^{1*}, Mustafa Özcan²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7453-6321), abdullah-zorlu@outlook.com

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6436-6368), mustafa.ozcan@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 06 Haziran 2023 ve Kabul Tarihi 24 Nisan 2024)

(DOI: 10.5281/zenodo.14179665)

ATIF/REFERENCE: Zorlu, A. & Özcan, M. (2024). Kocaeli İli İçin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Emisyonların Hesaplanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (54), 61-77.

Öz

İklim krizinin yıkıcı etkilerinin önlenmesi için, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve küresel ortalama sıcaklık artışının mümkünse 1,5°C ile sınırlandırılması gerekmektedir. Dünya genelinde, şehirler sera gazı emisyonlarının %70'inden sorumludur. Şehirlerdeki ulaşım kaynaklı emisyonlar, bu emisyonların önemli bir kaynağını oluşturur. Türkiye'nin ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %95'i karayolu kaynaklıdır. Şehir ölçeğinde, uluslararası standartlara uygun olarak hesaplanan sera gazı emisyon miktarlarının belirlenmesi, emisyon azaltma çalışmalarına katkı sağlayabilir. Bu çalışmada, 2015-2021 yılları arasında Kocaeli İli için karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin kılavuzu Tier 1 yaklaşımı çerçevesinde iki farklı hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen sera gazı emisyon sonuçları karşılaştırılmış ve karayolu ulaşımı kaynaklı kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Türkiye'de karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları yıllar içinde artmış olmasına rağmen, Kocaeli ili için 2015-2021 döneminde karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon miktarları azalmıştır. 2015 yılında hesaplanan emisyon miktarı 2.964,17 kt CO₂-eşd. olmuştur. 2021 yılında ise bu miktar, %2,31 oranında azalarak 2.895,65 kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Kocaeli'nin 2015-2020 yılları arasındaki ortalama karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının; Türkiye'nin 2015-2020 yılları arasındaki ortalama ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları içerisindeki oranı %3,71, karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları içindeki oranı ise %3,99'dur.

Anahtar Kelimeler: Sera Gazı Emisyonu Envanteri, Ulaştırma Emisyonu, Kocaeli, Kara Yolu Emisyonu

Determination Of Road Transport Emissions For Kocaeli Province

Abstract

In order to mitigate the catastrophic effects of the climate crisis, it is imperative to curtail greenhouse gas (GHG) emissions and the increase in global average temperature should be limited to 1.5°C if possible. Globally, cities are responsible for 70% of GHG emissions. Emissions from transportation in cities constitute an important source of these emissions. Approximately 95% of Türkiye's transportation-related GHG emissions come from roads. Determining the amount of GHG emissions calculated in accordance with international standards at the city scale can contribute to emission reduction efforts. In this study, emissions from road transportation were calculated for Kocaeli Province between 2015-2021. The GHG emission results obtained by using two different calculation methods within the framework of the Intergovernmental Panel on Climate Change's guideline Tier 1 approach were compared and the amount of GHG emissions per capita from road transportation was calculated. Although GHG emissions from road transportation in Türkiye have increased over the years, the amount of emissions from road transportation has decreased in the 2015-2021 period for Kocaeli Province. In 2015, the calculated emission amount was 2,964.17 kt CO₂-eq. In 2021, this amount decreased by 2.31% and was calculated as 2,895.65 kt CO₂-eq. The ratio of Kocaeli's average road transport related emissions between 2015-2020 to Türkiye's average transport related GHG emissions between 2015-2020 is 3.71%, and the ratio of Kocaeli's average road transport related GHG emissions to Türkiye's average transport related GHG emissions between 2015-2020 is 3.99%.

Keywords: Greenhouse Gas Inventory, Transport Emission, Kocaeli, Road Transport Emission.

* Sorumlu Yazar: abdullah-zorlu@outlook.com

1. Giriş

Enerji, toplumların sosyoekonomik gelişimini hızlandıran vazgeçilmez bir kaynaktır (Zhao vd., 2021). Enerji talebi her yıl artış göstermektedir. Dünya’da 1990 yılında 8,774 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir. 2021 yılında, 1990 yılına göre %67,44’lük bir artışla 14,072 Mtep enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir (Enerdata, 2023). Türkiye’de, Dünya genelinde yaşanan ortalama birincil enerji tüketim artışına kıyasla, daha fazla birincil enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de 1990 yılında toplam birincil enerji tüketim miktarı 52,46 Mtep olarak gerçekleştirilmiştir. Birincil enerji tüketimi 2021 yılında, 1990 yılına göre %304 artarak 159,43 Mtep olmuştur (ETKB, 2022). Enerji talep artışlarına bağlı olarak; fosil yakıtların kullanımı artmakta ve bu artışa paralel biçimde sera gazı emisyonlarında da artış yaşanmaktadır. Küresel toplam sera gazı emisyon miktarı 1990 yılında 38 Gt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2019 yılında, 1990 yılına göre %55,26 artarak 59 Gt CO₂-eşd. olmuştur. Dünya genelinde enerji kaynaklı emisyon miktarı 1990 yılında 12 Gt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2019 yılında, 1990 yılına göre %66,67 artarak 20 CO₂-eşd. olmuştur. Dünya genelinde ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu 1990 yılında 5,1 Gt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Dünya genelinde ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu 2019 yılında 1990 yılına göre %74 artarak 8,9 Gt CO₂-eşd. olarak gerçekleştirilmiştir (IPCC, 2022). Türkiye’deki sera gazı emisyon artış oranı, küresel sera gazı emisyon artış oranından daha yüksektir. Türkiye’de 1990 yılında toplam sera gazı emisyon miktarı 219,7 Mt CO₂-eşd. olmuştur. Bu değer 2020 yılında, 1990 yılına göre %238 artarak 523,9 Mt CO₂-eşd. olarak gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2022b). Türkiye genelinde enerji kaynaklı emisyon miktarı 1990 yılında 139,6 Mt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2020 yılında, 1990 yılına göre %263 artarak 367,6 Mt CO₂-eşd. olmuştur. Türkiye’de ulaştırma kaynakları sera gazı emisyonu 1990 yılında 26,97 Mt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Türkiye’de ulaştırma kaynakları sera gazı emisyonu 2020 yılında, 1990 yılına göre %36 artarak 80,68 Mt CO₂-eşd. olmuştur (TÜİK, 2021; TÜİK, 2022b). Enerji tüketim miktarı ve sera gazı emisyonlarının artması sonucunda geçtiğimiz sekiz yıl boyunca küresel sıcaklık değeri sanayi öncesi döneme göre artış göstermiştir. 2021 yılı (Ocak ve Eylül) arasındaki küresel sıcaklık artışı, sanayi öncesi döneme göre ortalama 1,07 C° artmıştır (WMO, 2021; WMO, 2022).

Küresel çevre sorunlarına çözüm bulmak amacıyla uluslararası alanda ilk girişim Birleşmiş Milletler (BM) tarafından olmuştur. Stockholm’de 5-16 Haziran 1972 tarihinde gerçekleştirilen konferansta, küresel çevre sorunları değerlendirilmiştir. Ülkeler bir araya gelerek çevre konusunda görüşmelerde bulunmuş ve BM İnsan Çevresi Bildirisi kabul edilmiştir (United Nations, 1972; T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023a). Bu tarihten itibaren, iklim değişikliği ve neden olduğu olumsuz etkilerini önlemek amacıyla birçok organizasyon kurulmuş, sözleşmeler imzalanmıştır (T.C. Resmi Gazete, 1990; T.C. Resmi Gazete, 1993; Graham ve Hartwell, 1997; Arat vd., 2002). İklim değişikliği ve olumsuz etkileri önleme amacıyla 1994 yılında BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) yürürlüğe girmiştir (United Nations, 1992). Türkiye, 2004 yılında sözleşmeye taraf olmuştur (T.C. Resmi Gazete 2003; T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023b). BMİDÇS’nin uygulanmasının değerlendirilmesi açısından ülkeler çözüm önerileri ve ilerlemeleri değerlendirmek için Taraflar Konferansı (COP) düzenlenmiştir. 28 Mart-07 Nisan 1995 tarihinde 1. Taraflar Konferansı (COP 1) Berlin’de gerçekleştirilmiştir (UNFCCC, 1995). Her yıl düzenli olarak yapılan taraflar konferansının üçüncüsü (COP 3), 1997 yılında Japonya Kyoto’da yapılmıştır. COP 3’de BMİDÇS’nin ilk uygulama anlaşması niteliğindeki Kyoto Protokolü (KP) kabul edilmiş, 2005’te yürürlüğe girmiştir (Çamur ve Vaizoğlu, 2007; UNFCCC, 2009; T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023c). Türkiye 2009 yılında KP’ye taraf olmuştur (T.C. Resmi Gazete, 2009). 2015 yılında iklim değişikliği ile mücadele kapsamında 21. Taraflar Konferansı (COP 21) Paris’te gerçekleştirilmiştir. KP’nin iki taahhüt döneminin sona ermesinin ardından; Paris Anlaşması (PA), 12 Aralık 2015 tarihinde kabul edilmiş, 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Çamur ve Vaizoğlu, 2007; UNFCCC, 2009; T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023c). PA’nın nihai hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışının 2 °C seviyesinin altında tutulması ve olabilir ise 1,5 °C ile sınırlamaktır (UNFCCC, 2015a; T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023d). Türkiye PA’ya 7 Ekim 2021 tarihinde taraf olmuştur (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2023d). PA kapsamında gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele edebilmesi için 100 milyar \$ iklim finansmanı sağlamakla yükümlü olmuştur. Ülkeler, emisyon azaltımına yönelik Ulusal Katkı Beyanı hazırlamışlardır (UNFCCC, 2015a). Türkiye 2015 yılında belirtmiş olduğu Ulusal Katkı Beyanı’nda referans senaryoya göre oluşacağı tahmin edilen emisyon miktarından 2030 yılı itibarıyla %21 oranında azaltım yapmayı taahhüt etmiştir. Referans senaryoya göre Türkiye’nin 2030 yılında oluşacak emisyon miktarı 1.175 Mt CO₂-eşd. olup, 2030 yılı azaltım oranına göre 246 Mt CO₂-eşd. emisyon azaltımı sağlanması hedeflenmiştir (UNFCCC, 2015b; T.C. Resmi Gazete, 2021). 27. Taraflar Konferansı (COP 27) Şarm El Şeyh’de düzenlenmiştir (UNFCCC, 2022d). COP 27’de iklim değişikliğinden etkilenen ülkeler için kayıp ve hasar fonu oluşturulup desteklenmesi için anlaşmaya varılmıştır (UNFCCC, 2022c). COP 28’de iklim değişikliğinden etkilenen ülkeler için oluşturulan Kayıp ve Hasar Mekanizması için danışma kurulu oluşturulması için karara varılmıştır. Danışma kurulu, oluşacak fonun faaliyet kapsamı ve yeni finansman düzenlemelerinin çerçevesini oluşturacaktır (UNFCCC, 2022a; UNFCCC, 2022c). Türkiye, COP 27’de 2015 yılında belirtmiş olduğu Ulusal Katkı Beyanı’nı güncellemiştir. Güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı’nda, 2030 yılı için referans senaryoda öngörülen 1.175 Mt CO₂-eşd. emisyonundan %41 oranında azaltım yapılacağı beyan edilmiştir. Güncellenen Ulusal Katkı Beyanı’na göre referans senaryo üzerinden gerçekleşecek toplam emisyon azaltım miktarı 481 Mt CO₂-eşd. olacaktır (ETKB, 2023a).

İklim değişikliğiyle ve neden olduğu olumsuz etkilerle mücadelede kullanılabilir başlıca seçeneklerden biri Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. YEK’ler, enerji ihtiyacının karşılanmasında kaynak çeşitliliği ve enerji arz güvenliği sağlarlar. YEK kullanımı ile sera gazı emisyonu azalır (TSKB, 2021). YEK’ler, küresel ölçekte kullanımı en hızlı artan enerji kaynaklarıdır. YEK’ler, sera gazı emisyonlarının artışının devam ettiği dünyada, düşük karbonlu büyümenin anahtarı durumundadırlar (Özcan, 2021). 2010 yılında küresel kümülatif kurulu güç kapasitesinin %25,5’ini YEK oluşturmaktayken 2021 yılında kümülatif kurulu güç kapasitesinin %39,5’ini YEK oluşturmuştur. 2027 yılı için hazırlanan senaryoda kümülatif güç kapasitesinin %53’ünün YEK’e dayalı olacağı beklenmektedir (IEA, 2022b; IEA, 2023). 2027 senaryosuna göre; 2027 yılındaki YEK’e dayalı kapasitenin %22,2’si güneş enerjisi, %14,4’ü rüzgâr enerjisi, %14,1 hidrolik enerji ve %2’lik kısmını biyoenerji oluşturacaktır. Güneş enerjisi kurulu gücünde 2027 yılına kadar beklenen kapasite artışı, mevcut kapasitesinin yaklaşık üç katı kadardır (IEA, 2022b; IEA, 2023).

Elektrikli Araç (EA) kullanımı ulaşım kaynaklı fosil yakıt kullanımını azaltacaktır. Ulaşım kaynaklı emisyonların %69'u karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır (IPCC, 2022). Fosil yakıt kullanımı ile meydana gelen olumsuz çevresel etkileri en aza indirebilmek için, karayolu taşıtlarında temiz enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmalıdır. Ulaşımında sera gazı emisyon azaltımının sürdürülebilir olması, enerji ve emisyon yoğunluğu düşük EA'ların kullanılması ile mümkündür (Ardıyok vd., 2022). EA'lar 2020 yılında 50 Mt CO₂-eşd. emisyon azaltımı sağlayarak küresel sera gazı emisyon azaltımına %1 katkı sağlamıştır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), iklim değişikliğini azaltmaya yönelik Net Sıfır Emisyon senaryosu oluşturmuştur. Net Sıfır Emisyon senaryosunda, EA'ların kullanımının artış hızına bağlı olarak 2050 yılına kadar enerji kaynaklı toplam sera gazı emisyon azaltımına %15 katkı sağlayabileceği öngörülmüştür (IICEC, 2021). YEK ile entegre şarj istasyonlarının kullanılması; sera gazı emisyonlarında ciddi azalmaya neden olacak, enerji kaynaklarının etkin kullanılma imkân sunacaktır (IEA, 2022b; Ardıyok vd., 2022). 2027 yılına kadar EA kullanım artışı ile oluşacak elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanacağı öngörülmektedir. Ulaşım içerisinde 2027 yılına kadar elektrik ihtiyacının %16'sının YEK'le karşılanacağı öngörülmektedir (IEA, 2022b).

Avrupa Birliği (AB), 2030 yılına kadar yakıt tüketimi kaynaklı oluşan emisyon miktarını %13 azaltmayı hedeflemiştir. AB, 2050 yılına kadar ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon azaltım hedefini %80-95 olarak belirlemiştir (IEA, 2022a). EA'ların kullanımında ihtiyaç duyulan enerjinin YEK'ler ile karşılanması emisyon azaltımına katkı sağlamaktadır. AB, ulaştırma sektöründen kaynaklı emisyonları azaltma hedefi kapsamında EA'ların şarj ihtiyacını karşılamak için YEK kullanımını desteklemektedir (EEA, 2016). Fransa, açık toplu otoparklara güneş enerji santrali (GES) kurulumu yapma zorunluluğu getirmiştir. Yapılan bu düzenleme ile YEK ile elektrik üretimi gerçekleştirilebilecek, şebekeye yüklenilmeden EA'ların şarj ihtiyacı karşılanabilecektir (AA, 2022). Türkiye, 2053 yılı için net sıfır hedefi belirlemiş, bu hedefi gerçekleştirebilmek amacıyla 2023 yılında Ulusal Enerji Planı (UEP)'ni yayımlamıştır. UEP'te, YEK'lerin gelişimine önem verilmiştir. 2035 yılı elektrik kurulu gücünün %64,7'sini YEK ile çalışan santraller oluşturacaktır. Bu kapsamda 2020-2035 yılları arasında; GES kurulu gücü 52,9 GW, rüzgâr enerji santralleri (RES) kurulu gücü 29,6 GW, biyokütle enerji santralleri (BES) ve jeotermal enerji santralleri (JES) toplam kurulu güçleri 5,1 GW olarak hedeflenmiştir (ETKB, 2023b).

Türkiye iklim değişikliği ile mücadele kapsamında birçok hedef belirlemiştir (ÇŞB, 2010; ÇŞB, 2011; ÇŞB, 2012; ETKB, 2017; SBB, 2019; T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Belirlenen hedefler doğrultusunda ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon azaltımı için geleneksel içten yanmalı motorlu araçların yerine emisyonu düşük çevre dostu ulaşım araçlarının yaygınlaşması önem arz etmektedir (ÇŞB, 2010; ÇŞB, 2011; ÇŞB, 2012; ETKB, 2017; SBB, 2019; T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Şehirlerde kullanılan toplu taşıma araçlarında fosil yakıt kaynakları kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yerine alternatif yakıtlı araç teknolojilerinin yaygınlaşması ile sera gazı emisyon artış hızını sınırlandırma hedeflenmiştir. Ulaşımında bireysel kullanım yerine toplu taşımaya teşvik ve karayolu taşımacılığının yanında demiryolu ve havayolu taşıtlarının kullanımının artırılması hedeflenmiştir (ÇŞB, 2010; ÇŞB, 2011; ÇŞB, 2012; ETKB, 2017; SBB, 2019; T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı kapsamında, EA'ların yaygınlaşmasını sağlayacak finansman teşvik modelinin oluşturulacaktır. EA'ların kullanımı artırılarak kullanımda olan araç yaşı ortalamalarının düşürülmesi, elektrikli ve hibrit araç sayılarının artırılması, karayolu taşıtlarında elektrikli ve alternatif enerji kullanımını artırarak fosil yakıt kullanımını azaltma hedeflenmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023).

Sera gazı emisyonlarının önemli bölümüne neden olan şehirlerin; sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğine uyumunu sağlamak için, sera gazı emisyonları verilerine sahip olması gereklidir. Şehirlere ait sera gazı emisyon verileri kullanılarak şehir düzeyinde iklim eylemlerinin planlanması yapılabilecektir. Sera Gazı Emisyon Envanteri çalışmaları ile sera gazı emisyonları belirlenmektedir. Farklı sektörlerden kaynaklanan emisyonlar hesaplanarak Sera gazı Emisyon Envanter çalışmasında raporlanırlar. Şehirlere ait sera gazı envanterleri, emisyon azaltma politikaların ve eylemlerin belirlenmesi için rehber niteliğindedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) emisyon hesaplama metodolojisi kapsamında sera gazı emisyon hesaplamaları için Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları kullanılmaktadır.

Dünya genelinde ve Türkiye'de; genelde ulaştırma sektörü, özelde ise karayolu kaynaklı sera gazı emisyon hesaplamaları ile ilgili gerçekleştirilmiş çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

El-Fadel ve Bou-Zeid'in (1999) yapmış oldukları çalışmada Lübnan'da karayolu taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarını IPCC Tier 1 yaklaşımı ile hesaplamışlardır. 1997 yılı için hesaplanan sera gazı emisyon miktarına göre dört farklı senaryo oluşturulmuştur. 1997 yılında ikinci senaryoya göre 2020 yılında emisyon artış seviyesinin %100 artacağı hesaplanmıştır. Araç denetim ve bakım, yakıt kalitesinin artırılması, sera gazı emisyon azaltım politikalarındaki iyileştirmeler ile 2020'de sera gazı emisyonlarının radyatif zorlamasını %31 oranında azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Leung ve Lee (2000) yapmış oldukları çalışmalarında Hong Kong'un 1989-1998 yıllarında oluşan CH₄ ve CO₂ emisyon miktarlarını hesaplamıştır. Hong Kong için hesaplanan sera gazı emisyonlarının %90'ının CO₂ kaynaklı, %5'inin ise atıkların depolanması ile CH₄ oluşumundan kaynaklandığı belirlenmiştir.

Liao ve arkadaşları (2011) yapmış oldukları çalışmada, Tayvan'da karayolu konteyner taşımacılığının oluşturduğu sera gazı emisyon miktarını IPCC Tier 1 yaklaşımı ile hesaplamışlardır. Yurtiçi karayolu konteyner taşımacılığında kaynaklı emisyon miktarının 1992 yılında 1,03 milyon ton CO₂-eşd. olduğu, 2008 yılına gelindiğinde ise bu değer 1992 yılına göre %89,3 artış göstererek 1,95 milyon ton CO₂-eşd. olarak gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Karayolu ulaşımı yerine deniz taşımacılığına geçilmesi durumunda 2018 yılına kadar 0,31 milyon ton CO₂-eşd. emisyon azaltımı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Kim ve arkadaşları (2011) gerçekleştirdikleri çalışmalarında; Kore'de karayolu emisyon envanterini oluşturmak için IPCC Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarından yararlanarak karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarları hesaplamışlardır. Tier 1 yöntemi ile 728.857 ton CO₂-eşd. emisyon, Tier 2 yöntemiyle 864.757 ton CO₂-eşd. ve Tier 3 yöntemiyle 661.710 CO₂-eşd. sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Tier 2 yöntemi ile Tier 1 arasında %10,1 fark, Tier 2 ile Tier 3 arasında %20,7 fark olduğu sonucuna varılmıştır.

Bharadwaj ve arkadaşları (2017) çalışmalarında; Mumbai’de karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarını IPCC Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarıyla hesaplamışlardır. Mumbai’de 2014 yılında yakıt tüketimine göre Tier 1 yöntemiyle 19.065 ton/gün CO₂ emisyonu olduğu hesaplanmıştır. Tier 2 yöntemiyle 12.445 ton/gün CO₂ emisyonu olduğu belirlenmiştir. Tier 1 ve Tier 2 hesaplama sonuçları dikkate alındığında yakıt tüketiminin trafik sıklığından kaynaklı arttığı görülmektedir. Trafik sıklığı nedeniyle %53 daha fazla CO₂ emisyonu olduğu sonucuna varmışlardır.

Atabey (2013) çalışmasında Diyarbakır ilinin IPCC Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarında yararlanarak karbon ayak izi hesaplamalarını yapmıştır. Çalışma kapsamında, 2010-2012 yılları arasındaki tüketilen yakıt miktarlarına göre karayolu ve havayolu kaynaklı CO₂ emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Türkay (2018) yapmış olduğu çalışmasında, IPCC kapsamında Tier 1 yaklaşımından yararlanarak Eskişehir ili için karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon hesaplamaları yapmıştır. Eskişehir ili için 2012-2017 yılları arasındaki tüketilen yakıt miktarına emisyon değerlerini hesaplamıştır. IPCC Tier 1 yaklaşımı kapsamındaki; yakıtların oksitlenen karbon yüzdelere göre yapılan hesaplama (Tier 1 birinci hesaplama yöntemi / stokiyometrik yöntem) ve gazların emisyon faktörleri ve küresel ısınma potansiyelleri (KIP) kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama (Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi) sonucunda emisyonlar bulunmuştur. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, 2012-2017 yılları arasında karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon miktarında %77 artış olduğu belirlenmiştir. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi ile yapılan hesaplamada 2012-2017 yılları arasında %80’lik bir emisyon artışı belirlenmiştir.

Ayan (2019) yapmış olduğu çalışmasında; IPCC kapsamında Tier 1 yaklaşımından yararlanarak Muğla ili karayolu kaynaklı sera gazı emisyon hesaplamasını yapmıştır. Muğla ili için 2013-2018 yılları arasındaki tüketilen yakıt miktarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. IPCC Tier 1 hesaplama yaklaşımı kapsamındaki iki hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, 2013-2018 yılları arasında karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon miktarında %41 artış olduğu belirlenmiştir. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi ile yapılan hesaplamada 2012-2017 yılları arasında %41’lik bir emisyon artışı belirlenmiştir.

Civelekoğlu ve Bıyık (2020) yapmış oldukları çalışmada IPCC kapsamında Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarını kullanarak; Isparta ilindeki karayolu kaynaklı sera gazı emisyonlarını hesaplamışlardır. Isparta ili için 2010-2016 yılları arasındaki tüketilen yakıt miktarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi / stokiyometrik yöntem ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 2010-2016 yılları arasında karayolu kaynaklı emisyon miktarında %34 artış olduğu belirlenmiştir. 2010-2016 yılları için Tier 2 hesaplama yönteminde Isparta ili içerisinde trafiğe kayıtlı araç sayısı ve yakıt tüketim miktarlarına göre CO₂ emisyon hesaplamaları yapılmıştır. Tier 2 hesap yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda 2010-2016 yılları arasında karayolu kaynaklı emisyon miktarında %43’lük artış olduğu belirlenmiştir.

Atmaca ve Sevimlioğlu (2020) çalışmalarında, Kocaeli ili için sera gazı emisyon envanteri oluşturmuşlardır. Kocaeli ilindeki; elektrik üretim ve tüketim miktarları, ısınma, atık ve ulaşım kaynaklı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, Kocaeli ili için 2015-2017 yılları arasındaki tüketilen yakıt (benzin, motorin, LPG ve CNG) miktarına göre karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon hesaplaması yapılmıştır. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, 2015-2017 yılları arasında karayolu kaynaklı emisyon miktarında %11,58 artış olduğu belirlenmiştir.

Çelik (2020) çalışmasında, Konya’nın ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonunu hesaplamıştır. Karayolu, demiryolu ve havayolu ulaşımında tüketilen yakıt miktarları ve kullanılan araç sayısına göre, IPCC Tier 2 yaklaşımı kullanılarak sera gazı emisyon hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Konya il geneli ve Konya şehir merkezinde hesaplanan sera gazı emisyon miktarları karşılaştırılmış, il içerisinde emisyonu yüksek bölgeler belirlenmiştir.

Dünder ve Kolay (2021) çalışmalarında, Konya’nın 2010-2018 yılları arasında yakıt tüketim miktarlarını esas alarak, karayolu taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyon miktarları hesaplanmışlardır. Belirlenen emisyon miktarlarının nüfus oranına dağılımı yapılarak kişi başına düşen emisyon miktarı belirlenmiştir. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda; 2010-2018 yılları için yapılan hesaplamada, karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarının %87, kişi başına düşen emisyon miktarının ise %70 arttığı belirlenmiştir.

Kılıç, Dönmez ve Adalı (2021) çalışmalarında, IPCC Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarından yararlanarak Çanakkale’nin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını hesaplamışlardır. Çanakkale ili için 2015-2018 yılları için Tier 1 yaklaşımıyla tüketilen yakıt miktarlarına bağlı CO₂ emisyonları belirlenmiştir. Her iki yöntemle yapılan hesaplamalar sonucunda; 2015-2018 yılları arasında karayolu kaynaklı emisyon miktarında %7’nin üzerinde bir artış olduğu belirlenmiştir.

Dünder (2021) çalışmasında, Türkiye’de mevcut 30 büyükşehir için yakıt tüketim miktarına bağlı olarak karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını hesaplamıştır. Büyükşehirlerdeki nüfus, araç sayısı ve yüzölçümü verilerini kullanarak kişi başı, araç başı ve km²’ye düşen sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Tier 1 yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda; 2019 yılında oluşan sera gazı emisyon miktarının 2010 yılına göre %61,90 arttığı hesaplanmıştır. Türkiye’nin toplam emisyon miktarının %10,88’inin büyükşehirlerde karayolu ulaşımında tüketilen yakıt miktarına bağlı olduğu belirlenmiştir.

Uğur (2021) çalışmasında, IPCC kapsamında Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarından yararlanarak Nevşehir’in karayolu kaynaklı sera gazı emisyonlarını hesaplamıştır. Nevşehir ili için 2015-2020 yılları arasındaki tüketilen yakıt miktarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tier-1 metodolojisine göre gerçekleştirilen hesaplamalarda 396,2 Gg CO₂-eşd. emisyon miktarı, 2019 yılında ise 444,5 Gg CO₂-eşd. olarak belirlenmiştir. Emisyon miktarlarının artma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır.

Kılıç ve Önler (2022) yapmış olduğu çalışmada IPCC Tier 1 yaklaşımından yararlanarak Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde toplu taşıma kaynaklı sera gazı emisyon hesaplaması gerçekleştirmişlerdir. Şehir içi toplu taşıma kullanımında olan bir aracın 2020 yılı şubat ayı

içerisinde tüketmiş olduğu yakıt ve yolcu taşıma verileri belirlenmiştir. Seçilen güzergâh üzerinde bir toplu taşıma aracının 2020 yılı şubat ayındaki tüketimi 3.189,28 litre motorin olarak belirlenmiştir. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama sonucunda, 2010 yılında CO₂ emisyonu 0,0082 Gg CO₂ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen CO₂ emisyon miktarının yolcu sayısına dağılımında yolcu başına 0,276 kg CO₂-eşd. emisyonu oluştuğu belirlenmiştir.

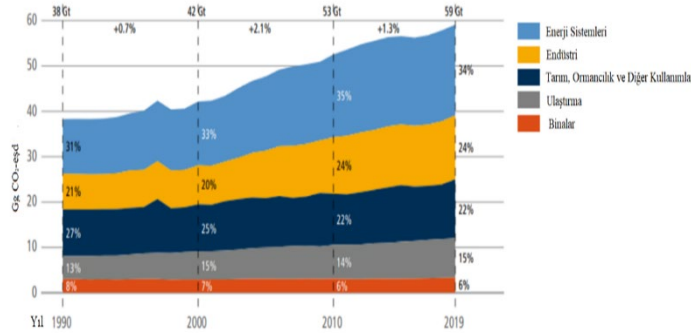
Bu çalışmada, Kocaeli ili için karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar; Kocaeli ilindeki yakıt tüketim miktarı kullanılarak, 2015-2021 yılları için gerçekleştirilmiştir. IPCC kılavuzu Tier 1 hesaplama yaklaşımı kapsamında iki hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında; Tier 1 hesaplama yaklaşımı kapsamındaki her iki hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tier 1 kapsamındaki iki yöntem kullanılarak elde edilen emisyon değerleri kullanılarak kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarları aynı yıllar için hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Dünya genelinde oluşan sera gazı emisyonları ve Türkiye’de yıllara göre oluşan sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı incelenmiştir. IPCC Tier 1 yaklaşım metodolojisi belirtilmiş ve hesaplama için gerekli aşamalar açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasında yakıt tüketim miktarına bağlı oluşan sera gazı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde Kocaeli ilinde karayolu kaynaklı oluşan sera gazı emisyonlarının sonuçları değerlendirilmiştir. Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu azaltımına yönelik öneriler sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

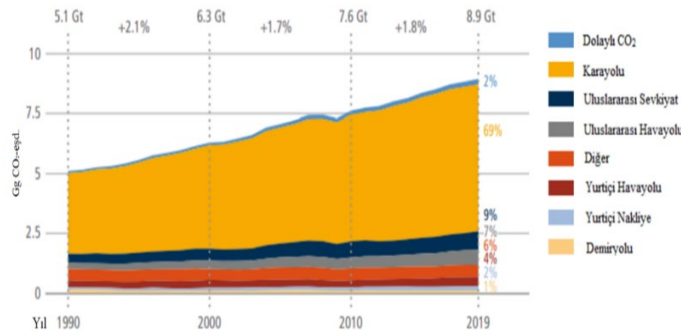
2.1. Dünya ve Türkiye’de Sera Gazı Emisyonları’nda Yaşanan Değişimler

Karbon ayak izi; insanın yaşam döngüsünde ihtiyaçlarını karşılarken bir yıllık yaşam döngüsünde doğada bıraktığı CO₂ miktarının hesaplanması ile elde edilir. İnsanların doğa üzerindeki en büyük risk oluşturan etkilerinden biri olan karbon ayak izinin sınırlandırılması ve azaltımı için uluslararası düzeyde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Alınan tüm tedbirlere rağmen, Dünya genelinde toplam sera gazı emisyonu her geçen yıl artmaya devam etmektedir. Dünya nüfusunun %56’sı şehirlerde yaşamaktadır ve şehirler sera gazı emisyonunun %70’ine neden olmaktadır (UNFCC, 2022b). Şekil 1’de küresel toplam sera gazı emisyon miktarları verilmiştir.



Şekil 1. Dünya genelinde oluşan sera gazı emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (Figure 1. Distribution of greenhouse gas emissions worldwide by sectors)

Dünya genelinde, 1990 yılında oluşan sera gazı emisyon miktarı 38 Gt CO₂-eşd.’dir. Dünya genelinde oluşan sera gazı emisyon miktarının %31’i enerji sistemleri, %27’i tarım, ormancılık ve diğer kullanımlar, %21’i endüstri, %13’i ulaştırma ve %8’i binalardan kaynaklıdır. 2019 yılında 1990 yılına göre %55 emisyon artışı yaşanmış, toplam sera gazı emisyon miktarı 59 Gt CO₂-eşd. olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılında oluşan toplam sera gazı emisyonlarının %34’ü enerji sistemleri, %24’ü endüstri, %22’si tarım, ormancılık ve diğer kullanımlar, %15’i ulaştırma ve %6’sı binalardan kaynaklıdır (IPCC, 2022). Şekil 2’de Dünya genelinde ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının 1990-2019 yılları arasındaki değişimleri verilmiştir.



Şekil 2. Dünya genelinde ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının dağılımı (Figure 2. Greenhouse gas emissions from transport worldwide)

Dünya genelinde, 1990 yılında 5,1 Gt CO₂-eşd. olan ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonları, 2019 yılında 1990 yılına göre %74 artarak 8,9 Gt CO₂-eşd. olarak gerçekleşmiştir (IEA, 2023). 2019 yılı ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının ulaşım türü ve kullanım şekillerine göre dağılımı; %69 karayolu, %9 uluslararası sevkiyat, %7 uluslararası havayolu, %6 diğer, %4 yurtiçi havayolu, %2 yurtiçi nakliye, %1 demiryolu ve %2 dolaylı CO₂ şeklindedir. Ulaştırma sektörü içerisinde en yüksek emisyon karayolu kaynaklı olarak gerçekleşmiştir (IPCC, 2022).

Tablo 1’de Türkiye’de oluşan toplam sera gazı emisyonlarının 1990-2020 yılları arasındaki değişimi verilmiştir. Sektörlere göre yapılan dağılımda en yüksek payı enerji sektörü oluşturmuştur.

Tablo 1. Türkiye’de 1990-2020 yılları için belirlenen sera gazı emisyon miktarının sektörlere göre dağılımı (Mt CO₂-eşd.) (Table 1. Distribution of greenhouse gas emission amount determined for 1990-2020 in Türkiye by sectors (MtCO₂eq.))

Yıl	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enerji	139,6	216	287,8	342	361,7	382,4	374,1	365,4	367,6
Endüstriyel İşlemler, Ürün Kullanımı									
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68	73,2
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,4
Toplam Emisyon	219,7	299	398,7	474,5	500,8	528,3	524	508,1	523,9

Ulaştırma sektörü emisyonları enerji sektörü emisyonları içerisinde değerlendirilmektedir. 1990 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının enerji sektörü içindeki oranı %18,80 olup, değeri 26,969 Mt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Ulaştırma sektörü emisyonlarının, toplam sera gazı emisyonları içerisindeki oranı %12,27’dir. 2020 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları, 1990 yılına göre %299 artarak 80,68 Mt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. 2020 yılındaki ulaştırma sektörü emisyonlarının, enerji sektörü içerisindeki payı %21,94 olmuştur. 2020 yılındaki ulaştırma sektörü emisyonlarının toplam sera gazı emisyon miktarındaki oranı ise %15,40 olmuştur (TÜİK, 2021; TÜİK, 2022b). Tablo 2’de, Türkiye’nin ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarının 1990-2020 yılları arasındaki dağılımı verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye’de 1990-2020 yılları arasında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon miktarının taşıt biçimine göre dağılımı (Mt CO₂-eşd.) (Table 2. Distribution of GHG emissions from transport in Türkiye between 1990-2020 by vehicle type (Mt CO₂eq.))

Yıl	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Demiryolu	0,72	0,71	0,52	0,48	0,37	0,41	0,44	0,40	0,32
Denizyolu	0,51	0,62	1,68	1,15	0,97	0,94	0,93	1,22	1,26
Karayolu	24,78	31,85	39,94	69,31	75,60	78,71	78,91	76,72	76,60
Havayolu	0,92	3,10	2,86	4,21	4,28	3,84	3,69	3,51	2,16
Diğer	0,04	0,18	0,39	0,65	0,62	0,87	0,66	0,58	0,33
Toplam Emisyon	26,97	36,46	45,39	75,79	81,84	84,77	84,62	82,43	80,68

Ulaştırma sektörüne ait sera gazı emisyonları; demiryolu, denizyolu, karayolu, havayolu ve diğer taşıtlar tarafından oluşmaktadır. 1990 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon miktarı 26,969 Mt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. 1990 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının %91,87’si karayolu kaynaklı, %3,42’si havayolu kaynaklı, %2,67’si demiryolu kaynaklı, %1,88’i denizyolu kaynaklı ve %0,14’ü diğer taşıtlardan oluşmuştur. 2020 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon miktarı 80,68 Mt CO₂-eşd. olarak verilmiştir. 2020 yılında ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarının %94,94’ü karayolu kaynaklı, %2,68’i havayolu kaynaklı, %1,56’si denizyolu kaynaklı, %0,40’ı demiryolu kaynaklı ve %0,40’ı diğer taşıtlardan oluşmuştur (TÜİK, 2022b). Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu oluşumunda en yüksek pay karayolu ulaşımına aittir.

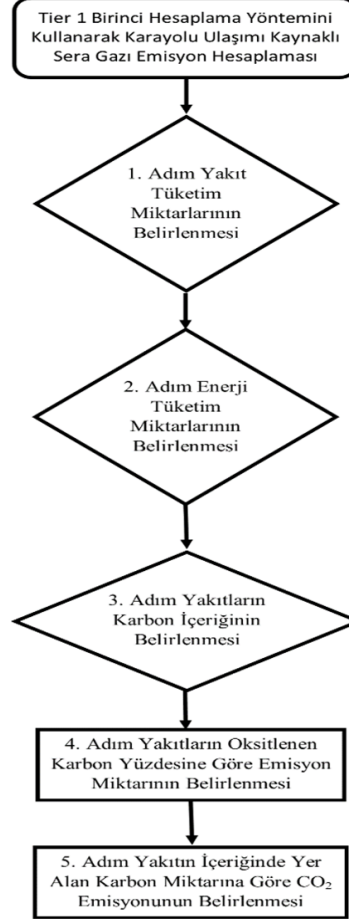
2.2. Hesaplama Metodolojileri

Bu çalışmada, Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasındaki karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalar, Kocaeli ilinde 2015-2021 yılları arasında satışı yapılan benzin, dizel ve LPG yakıt satış miktarları (tüketilen yakıt miktarları) (EPDK, 2023a; EPDK, 2023b) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IPCC kılavuzunda yer alan Tier 1 birinci ve Tier 1 ikinci hesaplama yöntemleri kullanılarak karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. IPCC kılavuzunda sera gazı emisyonlarını hesaplayabilmek için; Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları bulunmaktadır (IPCC, 2019). Tier 1 yaklaşımı, fosil yakıtların türleri ve tüketim miktarlarına göre göre hesaplamaları kapsamaktadır. Tier 1 yaklaşımında iki farklı hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, yakıtların içeriğinde yer alan oksitlenmiş karbon miktarı belirlenerek hesaplanan stokiyometrik yöntemi esas alır (Tier 1 birinci hesaplama yöntemi). İkinci yöntemde, yakıtların içeriğinde yer alan CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının emisyon faktörleri ve KIP’lerini kullanarak belirlenen toplam eşdeğer emisyon miktarının belirlenmesini esas alır (Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi). Tier 1 yaklaşımında, yakıt tüketim miktarlarının belirlenmesi sonrası IPCC Kılavuzunda yer alan net kalorifik değerler (NKD) kullanılarak enerji tüketim miktarları belirlenmektedir. Tablo 3’te yakıtların NKD’leri verilmiştir (IPCC, 2006).

Tablo 3. Yakıtların net kalorifik değerleri (Table 3. Net calorific value of fuels)

Yakıt	NKD (TJ/kt)
Benzin	44,3
Motorin	43
LPG	47,3

Şekil 3'te Tier 1 birinci hesaplama yöntemine ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi akış diyagramı (Figure 3. Tier 1 first calculation method flow diagram)

1.Adım: Yakıt tüketim miktarlarının belirlenmesi

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verileri kullanılarak Kocaeli ili için yakıt tüketim miktarları belirlenmiştir (EPDK, 2023a; EPDK, 2023b). EPDK raporlarında satışı gerçekleştirilen yakıt miktarlarından yararlanılmıştır. LPG yakıt tüketim miktarı değerlendirmesinde yakıt olarak sadece Otogaz tüketim miktarı değerlendirilmiştir. Satışı gerçekleştirilen tüm yakıtların Kocaeli ilinde kullanıldığı kabul edilmiştir.

2. Adım: Enerji Tüketim Miktarlarının Belirlenmesi

Yakıt tüketim miktarına göre enerji tüketimleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$ET = YT * 10^{-3} * NKD$$

(1)

Eşitlik 1'de yer alan;

ET: Enerji tüketim miktarını (TJ),

YT: Yakıt tüketim miktarını (t),

NKD: Net kalorifik değeri (TJ/kt) göstermektedir.

3.Adım: Yakıtların Karbon İçeriğinin Belirlenmesi

Enerji tüketim miktarı belirlendikten sonra yakıt türlerine göre içeriğinde yer alan toplam karbon miktarının belirlenmesi gereklidir. Enerji tüketim miktarına bağlı olarak yakıt türlerine göre içeriğinde yer alan toplam karbon miktarının belirlenmesi Tablo 4'te verilen karbon emisyon faktörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Yakıt türüne göre karbon emisyon faktörleri (Table 4. Carbon emission factors by fuel type)

Yakıt	Karbon Emisyon Faktörü (tC/TJ)
Benzin	18,9
Motorin	20,2
LPG	17,2

Yakıtların Karbon İçeriğinin Belirlenmesi Eşitlik 2 kullanılarak gerçekleştirilir.

$$K = ET * KEF * 10^{-3} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de yer alan;

K: Karbon miktarını (kt C)

ET: Enerji tüketim miktarını (TJ),

KEF: Karbon Emisyon faktörlerini (tC/TJ) göstermektedir.

4.Adım: Yakıtların Oksitlenen Karbon Yüzdelerine Göre Gerçek Karbon Emisyonunun Belirlenmesi

Yakıt türlerine göre karbon içeriği belirlendikten sonra, yakıtların yanma esnasında oksitlenmeyen karbon miktarlarının belirlenmesi gereklidir. IPCC kılavuzuna göre; yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarları petrol ürünleri için 0,99 gaz yakıtlar için 0,995 olarak belirtilmiştir (IPCC, 1996). Yakıtların oksitlenen karbon yüzdelerine göre gerçek karbon emisyonu Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$$KE = K * KOO \quad (3)$$

Eşitlik 3'te yer alan;

KE: Karbon emisyon miktarı (kt C),

K: Karbon miktarı (kt C),

KOO: Karbon oksitlenme oranı'dır.

5.Adım: Yakıtların İçeriğinde Yer Alan Karbon Miktarına Göre CO₂ Emisyonunun Belirlenmesi

Toplam CO₂ emisyonu Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$TE = KE * SO \quad (4)$$

Eşitlik 4'te yer alan;

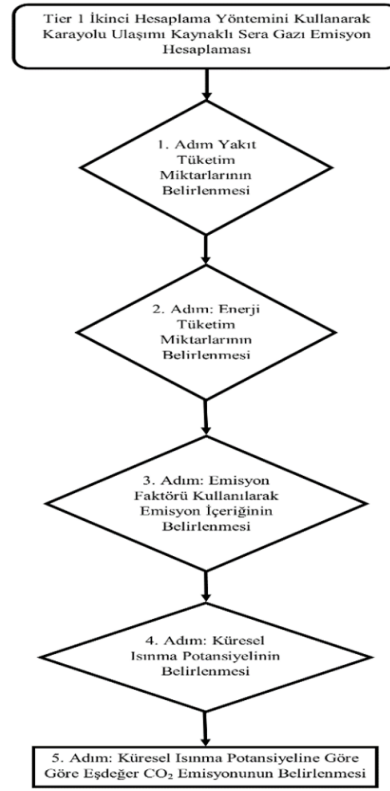
TE: Toplam CO₂ emisyonu (kt CO₂),

KE: Karbon emisyon miktarı (kt C),

SO: Stokiyometrik oranı (44 /12) göstermektedir.

Tier 1 yaklaşımı kapsamındaki ikinci yöntemde; yakıtların içeriğinde yer alan CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının emisyon faktörleri ve KIP'leri kullanarak toplam eşdeğer emisyon miktarı belirlenmektedir. Yakıt tüketim miktarlarının belirlenmesi sonrası IPCC kılavuzunda yer alan NKD'ler kullanılarak enerji tüketim miktarları belirlenmektedir. Tablo 3'te yakıtların NKD'leri verilmiştir.

Şekil 4'te Tier 1 ikinci hesaplama yöntemine ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi akış diyagramı (Figure 4. Tier 1 second calculation method flow diagram)

1. Adım: Yakıt Tüketim Miktarlarının Belirlenmesi

EPDK verileri kullanılarak Kocaeli ili için yakıt tüketim miktarları belirlenmiştir (EPDK, 2023a; EPDK, 2023b). EPDK raporlarında satışı gerçekleştirilen yakıt miktarlarından yararlanılmıştır.

2. Adım: Enerji Tüketim Miktarlarının Belirlenmesi

Yakıt tüketim miktarlarına göre enerji tüketimleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

3. Adım: Emisyon Faktörü Kullanılarak Emisyon İçeriğinin Belirlenmesi

Enerji tüketim miktarı belirlendikten sonra, IPCC kılavuzunda yer alan yakıt türlerine göre emisyon faktörleri kullanılarak emisyon değerleri hesaplanmaktadır. Tablo 5'te yakıt türüne göre CO₂ emisyon faktörleri verilmiştir (IPCC, 2019).

Tablo 5. Yakıt türüne göre CO₂ emisyon faktörleri (Figure 5. CO₂ emission factors by fuel type)

Yakıt	Emisyon Faktörü (kg/TJ)
Benzin	69.300
Motorin	74.100
LPG	63.100

Eşitlik 5 kullanılarak sera gazı emisyon hesaplamaları her bir gaz (CO₂, CH₄, N₂O) için ayrı ayrı gerçekleştirilir.

$$K = ET * EF * 10^{-6} \quad (5)$$

Eşitlik 5'te yer alan;

K: Karbon miktarını (kt C),

ET: Enerji tüketim miktarını (TJ),

EF: Emisyon faktörlerini (kg/TJ) göstermektedir.

4. Adım: Küresel Isınma Potansiyellerinin Belirlenmesi

Yakıt türlerine göre karbon içeriği belirlendikten sonra, yakıtların KIP'lerinin belirlenmesi gereklidir. Tablo 6'da sera gazlarının KIP'leri verilmiştir (IPCC, 2014).

Tablo 6. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri (Table 6. Global warming potential of greenhouse gases)

Emisyon	KIP
Karbondiyoksit (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	28
Diazot oksit (N ₂ O)	265

5. Adım: Eşdeğer CO₂ Emisyon Değerinin Hesaplanması

Yakıtlara ait emisyonların CO₂ eşdeğerleri; Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanır.

$$TKE = K * KIP \quad (6)$$

Eşitlik 6'da verilen;

TKE: Toplam CO₂ emisyonu (kt CO₂-eşd.),

K: Karbon miktarını (kt C),

KIP: Küresel ısınma potansiyellerini göstermektedir.

CO₂ emisyonu belirlendikten sonra aynı işlemler yakıtların içeriğinde yer alan CH₄ ve N₂O için de hesaplanarak toplam eşdeğer CO₂ emisyonlarının belirlenmesi gereklidir. Tablo 7'de CH₄ ve N₂O için IPCC kılavuzunda belirlenen emisyon faktörleri verilmiştir (IPCC, 2019).

Tablo 7. CH₄ ve N₂O emisyon faktörleri (Table 7. CH₄ ve N₂O emission factors)

Yakıt	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Benzin	33	3,2
Motorin	3,9	3,9
LPG	62	0,2

Toplam eşdeğer (kt CO₂-eşd.) emisyonu belirleyebilmek için CO₂'nin yanında CH₄ ve N₂O miktarlarının ayrı ayrı hesaplanması gereklidir. Aynı adımlar takip edilerek CH₄ ve N₂O için hesaplama yapılmış, Eşitlik 7 kullanılarak toplam eşdeğer emisyon hesabı gerçekleştirilmiştir.

$$TEE = E_{CO_2} + E_{CH_4} + E_{N_2O} \quad (7)$$

Eşitlik 7'de verilen;

TEE: Toplam eşdeğer sera gazı emisyonu (kt CO₂-eşd.),

E_{CO_2} : CO₂ emisyonu (kt CO₂-eşd.),

E_{CH_4} : CH₄ emisyonu (kt CO₂-eşd.),

E_{N_2O} : N₂O emisyonu (kt CO₂-eşd.) olarak ifade edilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Kocaeli ilinde karayolu kaynaklı yıllık yakıt tüketim miktarları EPDK verileri kullanılarak belirlenmiştir (EPDK, 2023a; EPDK, 2023b).

EPDK raporlarında satışı gerçekleştirilen yakıt miktarları kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. LPG yakıt tüketim miktarı değerlendirmesinde yakıt olarak yalnız Otogaz tüketim miktarı değerlendirilmiştir.

Satışı gerçekleştirilen tüm yakıtların Kocaeli ilinde karayolunda kullanılacağı kabul edilerek Kocaeli ili için sera gazı emisyon hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 8'de Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasında karayolu kaynaklı yıllık yakıt tüketim miktarları verilmiştir (EPDK, 2023a; EPDK, 2023b).

Tablo 8. Kocaeli ilinde 2015-2021 yılları arası karayolu kaynaklı yakıt tüketim miktarları (ton) (Table 8. The amount of road-based fuel consumption in Kocaeli Province for the years 2015-2021 (tonnes))

Yıl	Benzin	Motorin	LPG
2015	58.803,00	794.111,00	68.334,00
2016	62.657,40	860.672,96	70.685,00
2017	64.347,05	875.066,90	67.730,00
2018	65.429,05	818.634,13	73.254,00
2019	67.539,43	766.267,19	75.637,76
2020	65.556,54	728.915,96	68.098,22
2021	86.478,80	745.670,90	68.683,22

Tablo 9’da Tier 1 birinci hesaplama yöntemi (Stokiyometrik Yöntem) kullanılarak 2015 yılı için gerçekleştirilen CO₂ Emisyon Hesaplaması verilmiştir.

Tablo 9. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi (Stokiyometrik Yöntem) ile 2015 yılı CO₂ emisyon hesaplaması (Table 9. CO₂ emission calculation for 2015 with Tier 1 first calculation method (Stoichiometric Method))

Yıl	Yakıt Cinsi	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Yakıt Tüketimi ton (t)	Net Kalorifik Değer (TJ/kt)	Enerji Tüketimi (TJ) C=AxBx10 ⁻³	Karbon Emisyon Faktörü (tC/TJ)	Karbon İçeriği (t C) E=CxD	Karbon İçeriği (kt C) F=Ex10 ⁻³	Oksitlenen Karbon Yüzdesi (%)	Gerçek Karbon Emisyonu (kt C) H=GxF	Gerçek CO ₂ Emisyonu (kt CO ₂) I=[Hx(44/12)]
2015	Benzin	58.803	44,3	2.605	18,9	49.234	49,23	0,99	48,74	179
	Motorin	794.111	43	34.147	20,2	689.765	689,76	0,99	682,87	2.504
	LPG	68.334	47,3	3.232	17,2	55.594	55,59	0,995	55,32	203
		Toplam (TJ)		39.983,94	Toplam CO ₂ Emisyon Miktarı (kt CO ₂)				2.885,39	

Yakıt tüketimlerine göre 2015 yılı için 2.885,39 kt CO₂ emisyonu olduğu hesaplanmıştır. Tier 1 yaklaşımı kapsamında Tablo 9’da gerçekleştirilen hesaplamalar; 2015-2021 yıllarını kapsayan dönemdeki tüm yıllar için gerçekleştirilmiş, Tablo 10’da tüm yılları kapsayan emisyon hesaplama sonuçları verilmiştir.

Tablo 10. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi (Stokiyometrik Yöntem) kullanılarak hesaplanan 2015-2021 yılları CO₂ emisyon değerleri (Table 10. CO₂ emission values for 2015-2021 calculated using Tier 1 first calculation method (Stoichiometric Method))

Yıl	Toplam Sera Gazı Emisyon Miktarı (kt CO ₂)	Emisyon Miktarındaki Yıllık Değişim (%)
2015	2.885,39	
2016	3.113,95	7,92
2017	3.155,70	1,34
2018	2.997,45	-5,015
2019	2.845,83	-5,06
2020	2.699,66	-5,13
2021	2.817,81	4,37
Toplam	20.515,79	

Tablo 10’deki verilere göre; Tier 1 yaklaşımına göre hesaplanan miktarların yıllar arasında karşılaştırması yapıldığında en yüksek emisyon miktarı 2017 yılında 3.155,70 kt CO₂ olarak hesaplanmıştır. En düşük emisyon miktarı 2020 yılında 2.699,66 kt CO₂ olarak hesaplanmıştır. En yüksek emisyon miktarı, 2017 yılında tüketilen motorin miktarının diğer yıllara göre fazla olması kaynaklıdır. 2021 yılı emisyonları, 2015 yılına göre %2,34 oranında azalmıştır.

Kocaeli’de yıllara göre oluşan nüfus belirlenmiştir. Tablo 11’de belirlenen emisyon miktarlarının nüfus oranına dağılımı yapılarak karayolu ulaşımı kaynaklı kişi başına düşen emisyon miktarları ve yıllara göre değişim durumları verilmiştir (TÜİK, 2017; TÜİK, 2018; TÜİK, 2020; TÜİK, 2022a).

Tablo 11. Tier 1 birinci hesaplama yöntemine göre karayolu ulaştırma kaynaklı kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarlarının değişimi (Table 11. Change in per capita greenhouse gas emissions from road transport according to Tier 1 first calculation method)

Yıl	Nüfus	Nüfustaki Yıllık Değişim (%)	Toplam Emisyon Miktarı (kt CO ₂)	Toplam Sera Gazı Emisyon Yıllık Değişimi (%)	Kişi Başı Sera Gazı Emisyon Miktarı (kt CO ₂)	Kişi Başı Sera Gazı Emisyon Yıllık Değişimi (%)
2015	1.780.055	-	2.885,39	-	16,21 x 10 ⁻⁴	-
2016	1.830.772	2,85	3.113,95	7,92	17,01 x 10 ⁻⁴	4,93
2017	1.883.270	2,86	3.155,70	1,34	16,76 x 10 ⁻⁴	-1,47
2018	1.906.391	1,23	2.997,45	-5,015	15,72 x 10 ⁻⁴	-6,20
2019	1.953.035	2,45	2.845,83	-5,06	14,57 x 10 ⁻⁴	-7,31
2020	1.997.258	2,26	2.699,66	-5,13	13,52 x 10 ⁻⁴	-7,20
2021	2.033.441	1,81	2.817,81	4,37	13,86 x 10 ⁻⁴	2,51

2015 yılına göre 2021 yılında nüfusta %14,23'lük bir artış olmuştur. 2021 yılında kişi başına düşen emisyon miktarı 2015 yılına göre %14,49 azalmıştır.

Belirlenen yakıt tüketim miktarlarına göre Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 12'de Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi kullanılarak 2015 yılı için hesaplanan emisyon miktarı verilmiştir.

Tablo 12. Tier 1 yaklaşımıyla ikinci yöntem kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama göre 2015 yılı için emisyon miktarı (Table 12. According to the calculation performed using the second method with the Tier 1 approach, the amount of emissions for 2015)

Yıl	Yakıt Cinsi	A	B	C	D	E	F	G	H
		Yakıt Tüketimi <i>ton (t)</i>	Net Kalorifik Değer <i>(TJ/kt)</i>	Enerji Tüketimi <i>(TJ)</i> $C=AxB \times 10^{-3}$	Emisyon Faktörü <i>(kg/TJ)</i>	Emisyon İçeriği <i>(kg)</i> $E=CxD$	Emisyon İçeriği <i>(kt C)</i> $F=Ex10^{-6}$	Küresel Isınma Potansiyeli	Gerçek Karbon Emisyonu <i>(kt CO₂-eşd.)</i> $H=GxF$
CO ₂ Emisyonu									
2015	Benzin	58.803	44,3	2.604,97	69.300	180.524.621,97	180,52	1	180,52
	Motorin	794.111	43	34.146,77	74.100	2.530.275.879,30	2.530,28	1	2.530,28
	LPG	68.334	47,3	3.232,20	63.100	203.951.706,42	203,95	1	203,95
CO ₂ Kaynaklı Toplam Sera Gazı Emisyonu (kt CO ₂ -eşd.)									2.914,75
CH ₄ Emisyonu									
2015	Benzin	58.803	44,3	2.604,97	33	85.964,11	0,0859641	28	2,41
	Motorin	794.111	43	34.146,77	3,9	133.172,41	0,1331724	28	3,73
	LPG	68.334	47,3	3.232,20	62	200.396,29	0,2003963	28	5,61
CH ₄ Kaynaklı Toplam Sera Gazı Emisyonu (kt CO ₂ -eşd.)									11,75
N ₂ O Emisyonu									
2015	Benzin	58.803	44,3	2.604,97	3,2	8.335,91	0,0083359	265	2,25
	Motorin	794.111	43	34.146,77	3,9	133.172,41	0,1331724	265	35,29
	LPG	68.334	47,3	3.232,20	0,2	646,44	0,0006464	265	0,17
N ₂ O Kaynaklı Toplam Sera Gazı Emisyonu (kt CO ₂ -eşd.)									37,67
Toplam Enerji Tüketimi (TJ)				39.983,94	Eşdeğer CO ₂ Emisyonu (kt CO ₂ -eşd.)				2.964,17

Tablo 12'deki verilere göre, Kocaeli ilinde 2015 yılında 58.803 ton benzin, 794.111 ton motorin ve 68.334 ton LPG tüketimi gerçekleşmiştir. Yakıt tüketimlerine göre 2015 yılı için 2.964,17 kt CO₂-eşd. emisyonu olduğu hesaplanmıştır.

Tier 1 yaklaşımı kapsamında Tablo 12'de gerçekleştirilen hesaplamalar; 2015-2021 yılları için gerçekleştirilmiş, Tablo 13'te tüm yılları kapsayan emisyon hesaplama sonuçları verilmiştir.

Tablo 13. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemi kullanılarak 2015-2021 yılları için hesaplanan eşdeğer CO₂ emisyon değerleri (Table 13. Equivalent CO₂ emission values calculated for the years 2015-2021 using the Tier 1 second calculation method)

Yıl	Toplam Sera Gazı Emisyon Miktarı (kt CO ₂ -eşd.)	Emisyon Miktarındaki Yıllık Değişim (%)
2015	2.964,17	
2016	3.198,88	7,92
2017	3.241,70	1,34
2018	3.079,48	-5,004
2019	2.924,01	-5,049
2020	2.773,78	-5,14
2021	2.895,65	4,39
Toplam	21.077,66	

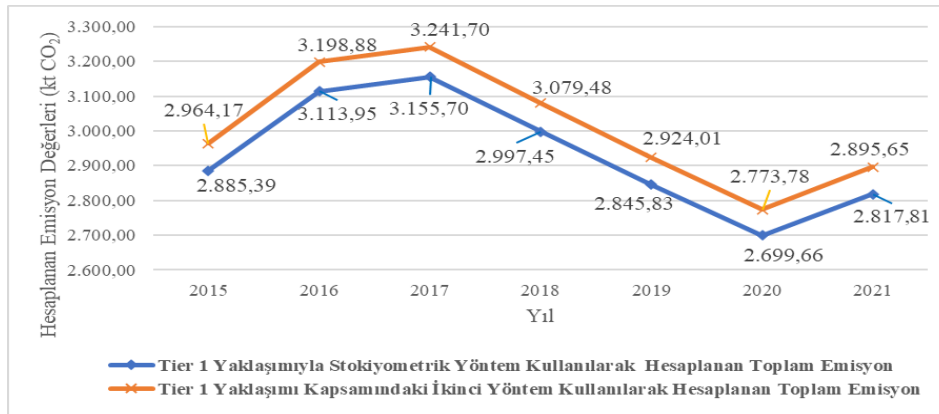
Tablo 13'teki verilere göre; 2015 yılı için emisyon miktarı 2.964,17 kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. En düşük emisyon miktarı 2020 yılında 2.773,78 kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. En yüksek emisyon miktarı 2017 yılında 3.241,70 kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. En yüksek emisyon miktarı, 2017 yılında tüketilen motorin miktarının diğer yıllara göre fazla olması kaynaklıdır. 2021 yılı emisyon miktarında 2015 yılına göre %2,32'lik bir azalma olduğu hesaplanmıştır. Karayolu ulaştırma kaynaklı kişi başı sera gazı emisyon miktarının yıllara göre değişim durumları Tablo 14'te verilmiştir (TÜİK, 2017; TÜİK, 2018; TÜİK, 2020; TÜİK, 2022a).

Tablo 14. Tier 1 ikinci hesaplama yöntemine göre karayolu ulaştırma kaynaklı kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarlarının değişimi (Table 14. Change in per capita greenhouse gas emissions from road transport according to Tier 1 second calculation method)

Yıl	Nüfus	Nüfustaki Yıllık Değişim (%)	Toplam Emisyon Miktarı (kt CO ₂)	Toplam Sera Gazı Emisyonu Yıllık Değişimi (%)	Kişi Başı Sera Gazı Emisyon Miktarı (kt CO ₂)	Kişi Başı Sera Gazı Emisyonu Yıllık Değişimi (%)
2015	1.780.055	-	2.964,17	-	16,65 x 10 ⁻⁴	-
2016	1.830.772	2,85	3.198,88	7,92	17,47 x 10 ⁻⁴	4,92
2017	1.883.270	2,86	3.241,70	1,34	17,21 x 10 ⁻⁴	-1,49
2018	1.906.391	1,23	3.079,48	-5,004	16,15 x 10 ⁻⁴	-6,16
2019	1.953.035	2,45	2.924,01	-5,049	14,97 x 10 ⁻⁴	-7,31
2020	1.997.258	2,26	2.773,78	-5,14	13,89 x 10 ⁻⁴	-7,21
2021	2.033.441	1,81	2.895,65	4,39	14,24 x 10 ⁻⁴	2,52

2015 yılından 2021 yılına kadar nüfusta %14,23'lük bir artış olduğu belirlenmiştir. 2021 yılında kişi başına düşen emisyon miktarı 2015 yılına göre %14,47 azalmıştır.

Tier 1 yaklaşımı kapsamındaki iki farklı yöntem kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçlarına göre; hesaplanan toplam emisyon değerleri arasında ortalama %2,74'lük bir fark gerçekleşmiştir. Şekil 5'te Kocaeli ili için Tier 1 yaklaşımındaki iki farklı kullanılarak hesaplanan sera gazı emisyon değerlerinin yıllara göre değişim durumları verilmiştir.



Şekil 5. Kocaeli ili için Tier 1 yaklaşımıyla hesaplanan emisyon değerleri (Figure 5. Emission values calculated with Tier 1 approach for Kocaeli province)

4. Sonuç ve Tartışma

Şehirler, sera gazı emisyonlarının önemli bölümüne neden olmaktadır. Şehirlerin sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğine uyumunu sağlamak için, sera gazı emisyonları hesaplanmalıdır. Şehirlere ait sera gazı emisyon verileri kullanılarak şehir düzeyinde iklim eylemlerinin planlanması yapılabilecektir.

Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonları ve ulaştırma kaynaklı emisyonları artmaktadır. Türkiye'de 2020 yılında ulaştırma kaynaklı oluşan sera gazı emisyon miktarlarının %94,94'ü karayolu ulaşımı kaynaklı oluşmuştur. 2020 yılı toplam sera gazı emisyonları, 1990 yılına göre 2,38 kat, 2020 yılı ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları ise 1990 yılına göre 2,99 kat artmıştır. Sera gazı emisyon artışları sınırlandırılmalıdır.

Bu çalışmada, Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasında karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarları ve kişi başına düşen karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarları IPCC metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır. Tier 1 yaklaşımı kapsamındaki iki farklı yöntem ile hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda; yakıt tüketimi ile ilgili veriler, EPDK yakıt satış değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasında Tier 1 yaklaşımı ile stokiyometrik yöntem ile yapılan hesaplamalarda sonucunda, toplam 20.515,70 kt CO₂ emisyonu elde edilmiştir. Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arasında Tier 1 ikinci yöntem ile yapılan hesaplamalar sonucunda toplam 21.077,66 kt CO₂-eşd. emisyonu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasında %2,74'lük bir fark bulunmuştur. Kocaeli'nin 2015-2020 yılları arasındaki karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının; Türkiye'nin 2015-2020 yılları arasındaki ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları (TÜİK, 2021; TÜİK, 2022b) içerisindeki oranı %3,71, karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları içindeki oranı ise %3,99'dur.

Kocaeli'nin 2020 yılı karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarının, Türkiye'nin 2020 yılı toplam sera gazı emisyonları içindeki oranı %0,53'tür. Kocaeli'nin 2020 yılı karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının, Türkiye'nin 2020 yılı ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları içindeki oranı %3,44'tür. Kocaeli'nin 2020 yılı karayolu ulaşımı kaynaklı emisyonlarının, Türkiye'nin 2020 yılı karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları içindeki oranı %3,62'dir.

Türkiye genelinde Ulaştırma kaynaklı emisyon değerleri yıllar içerisinde artış göstermiştir. Türkiye'de karayolu ulaşımı kaynaklı emisyon değerleri artış gösterirken, Kocaeli ili için 2015-2021 yılları arası karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarının yıllar içerisinde azalış göstermiştir. 2015-2021 yılları arasında hesaplanan emisyon miktarlarının en düşük hesaplandığı yıl 2020 olmuştur. Dünya genelinde 2020 yılında ortaya çıkan pandemi bütün ülkeleri etkilemiştir. Pandemi, tam kapama, hafta sonu sokağa çıkma yasakları gibi durumlar ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Yaşanan kısıtlamalar beraberinde uluslararası ticarete ithalat-ihracat, tedarik zincirlerinde aksamalara neden olmuştur. Transit geçişler ve lojistik amacıyla yoğun olarak kullanılan ve geçiş güzergahında yer alan Kocaeli'nin, pandemi nedeniyle meydana gelen aksamalardan etkilendiği ve bu nedenle 2020 yılında emisyon değerlerinin düşük olduğu düşünülmektedir. Kocaeli ilinde 2015-2021 yılları arasındaki nüfusa göre, kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Tier 1 birinci hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda; kişi başına düşen sera gazı emisyonları, 2015 yılında $16,21 \times 10^{-4}$ kt CO₂ olarak hesaplanmıştır. Emisyonlar; 2021 yılında 2015 yılına göre %14,50 azalarak $13,86 \times 10^{-4}$ kt CO₂ olarak hesaplanmıştır. Tier 1 ikinci yöntem kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda; kişi başına düşen sera gazı emisyonları, 2015 yılında $16,65 \times 10^{-4}$ kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır. Emisyonlar, 2021 yılında 2015 yılına göre %14,50 azalış $14,24 \times 10^{-4}$ kt CO₂-eşd. olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'nin artan sera gazı emisyon değerlerini kontrol altında tutmak ve azaltmak için düşük karbon ekonomisine geçilmelidir. Enerji maliyetleri yıllar içerisinde artış göstermektedir. Enerji maliyet yükünden kurtulmak amacıyla YEK'lerden daha fazla faydalanılmalıdır.

EA'lar, 2050 yılına kadar enerji kaynaklı toplam sera gazı emisyon azaltımına %15 katkı sağlayabilecektir. (IICEC, 2021). YEK ile entegre EA şarj istasyonlarının kullanılması; sera gazı emisyonlarında ciddi azalmaya neden olacaktır. EA'lar, içten yanmalı motor ile çalışan araçlara göre daha verimli ve emisyonuz araçlardır. Ulaşım sektöründe EA sayısında sağlanacak artış, Türkiye'nin 2053 yılı için belirlediği olduğu net sıfır emisyon hedefine ulaşmada olumlu katkı sunacaktır. EA'ların şarj ihtiyacını sağlayan santrallerin fosil yakıt kaynaklı santraller olması, sera gazı emisyonlarının oluşmasını engellemektedir. Doğru bir uygulama için karbon emisyonu azaltımı sağlamayı hedeflerken elektrik ihtiyacını karbon emisyonu olmayan YEK'lerden sağlanmalıdır. YEK ile entegre EA şarj istasyonları ve EA sayıları artırılmalıdır. Alternatif kaynaklı EA kullanımının yaygınlaşması teknoloji yatırımlarının artmasına ve çevre kirliliğini önlemeye yönelik büyük bir adım olacaktır. EA'ların yaygınlaşabilmesi için EA şarj istasyonu altyapı imkânlarının gelişmesi gerekmektedir. EA şarj istasyonlarının fiyatlarının ve şarj sürelerinin azalması, EA kullanıcı sayısının artmasına imkân sağlamaktadır. EA sahibi kişiler elektrik ihtiyacını evsel kullanım ve ticari kullanımlarla karşılayabilmektedir. Bireysel kullanım için kurulan EA şarj istasyonlarına verilecek teşvik ile ortak kullanım imkânı sağlanabilir. Bu sayede; EA şarj istasyonu yatırımı yapan evsel kullanıcılar şarj istasyonunu diğer kullanıcılara açarak ek kazanç elde edebilirler. EA şarj ağı işletmecisi lisansı sahibi firmalar, ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini YEK ile üretmelidir. EA kullanımının ÖTV, KDV vb. muafiyetlerin yapılması ile geleneksel fosil yakıt kaynaklı araçlara rekabet oluşturarak yaygınlaştırılmasına katkı sağlanabilir. EA'ların muayene periyodlarının belirli süre için ücretsiz yapılması EA kullanımında artışa neden olacaktır.

Kaynakça

AA. (2022, 18 Kasım). Yeni Fransız yasası, büyük otoparkları güneş panelleriyle kaplamayı hedefliyor. <https://www.aa.com.tr/en/europe/new-french-law-seeks-to-cover-large-parking-lots-with-solar-panels/2742096#:~:text=A%20new%20law%20in%20France,be%20covered%20in%20solar%20panels.>

- Ardiyok, S., Köksal, E., Kıl, İ. F., & Serter, Y. S. (2022). Şarj Hizmeti Yönetmelik Taslağının İktisadi ve Hukuki Değerlendirilmesi. *Economic and Legal Analysis of the Draft Charging Service Regulation*. SSRN 4051581.
- Arat, G., Türkes, M. ve Saner, E. (2002). Uluslararası sözleşmeler ön rapor. https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK-8.pdf
- Atabey, T. (2013). *Karbon ayak izinin hesaplanması: Diyarbakır örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi). YÖK Tez Merkezi. (346227)
- Atmaca, Ç., & Sevimlioğlu, O. (2020). Şehir kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1616-1627.
- Ayan, N. (2019). *Muğla ilinde yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi), YÖK Tez Merkezi. (604648)
- Bharadwaj, S., Ballare, S., & Chandel, M. K. (2017). Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai metropolitan region. *Transportation research procedia*, 25, 3538-3551.
- Civelekoğlu, C. & Bıyık, Y. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87.
- Çamur, D., & Vaizoğlu, S.A. (2007). Çevreye ilişkin önemli toplantı ve belgeler. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6(4), 297-306.
- Çelik, H. A. (2020). *Konya ilinde ulaşımdan kaynaklı karbon ayak izi ve çevresel fayda maliyet analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi). YÖK Tez Merkezi. (637948)
- ÇŞB. (2010, 04 Kasım). Türkiye iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı 2010-2023. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editedosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf
- ÇŞB. (2011, 20 Kasım). Türkiye Cumhuriyeti iklim değişikliği stratejisi 2011-2023. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Turkiye-Iklim-DeGISikligi-Stratejisi.pdf>
- ÇŞB. (2012). Türkiye Cumhuriyeti iklim değişikliği eylem planı 2011-2023. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf>
- 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.
- 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.
- EEA. (2016, Sep 26). Electric Vehicle and the energy sector-impacts on Europe's future emissions. <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-and-the-energy/electric-vehicles-and-energy#parent-fieldname-title>
- El-Fadel, M. & Bou-Zeid, E. (1999). Transportation GHG emissions in developing countries.: the case of Lebanon. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 4(4), 251-264.
- Enerdata. (2023, Jan 23). World energy & climate statistics – yearbook 2022. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>
- EPDK. (2023a). LPG Piyasası yıllık sektör raporu Listesi. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>
- EPDK. (2023b). Petrol Piyasası yıllık sektör raporu Listesi. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-108/yillik-sektor-raporu>
- ETKB. (2017). Ulusal enerji verimliliği eylem planı 2017-2023. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP.pdf>
- ETKB. (2022). 2021 yılı ulusal enerji denge tablosu. <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>
- ETKB. (2023a). Paris Anlaşması. <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-paris-anlasmasi>
- ETKB. (2023b). Türkiye Ulusal Enerji Planı. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf
- Graham, J. D., & Hartwell J. K. (1997). The greening of industry: a risk management approach: Harvard University Press, 43-92.
- IEA. (2022a). Global EV Outlook 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>
- IEA. (2022b). Renewables 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>
- IEA, (2023, January 19). Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027>
- IICEC (Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi). (2021, 15 Aralık). Türkiye elektrikli araçlar görünümü 2021. <https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/Tu%CC%88rkiye%20Elektrikli%20Arac%CC%A7lar%20Go%CC%88ru%CC%88nu%CC%88mu%CC%88%202021.pdf>
- IPCC. (1996). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Workbook Volume 1: Energy. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>
- IPCC. (2006, May 24). Guidelines for national greenhouse gas inventories Chapter 1: Introduction Volume 2: Energy. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf
- IPCC. (2014). Climate change 2014: Synthesis report. https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf
- IPCC. (2019, June 13). Guidelines for national greenhouse gas inventories Chapter 3: Mobile Combustion Volume 2: Energy. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf
- IPCC. (2022, April 04). Mitigation of climate change. Working group III contribution to the sixth assessment report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

- Kılıç, E., & Önler, E. (2022). Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması üzerine bir çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 41, 67-72.
- Kılıç, M. Y., Dönmez, T., & Adalı, S. (2021). Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 943-955.
- Kim, K. D., Ko, H. K., Lee, T. J., & Kim, D. S. (2011). Comparison of greenhouse gas emissions from road transportation of local government by calculation methods, *J. KOSAE*, 27(4), 405-415.
- Leung, D. Y. C. & Lee, Y. T. (2000). Greenhouse gas emissions in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 34(10). 4487-4498.
- Liao, C. H., Lu, C. S., & Tseng, P. H. (2011). Carbon dioxide emissions and inland container transport in Taiwan. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 722-728.
- Özcan, M. (2021). Renewable energy auctions in Turkey: auction design based on stakeholder opinions. *Renewable Energy*, 169, 473-484.
- SBB. (2019, 18 Temmuz). On Birinci kalkınma planı 2019-2023. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023a). Çevre, iklim değişikliği ve suya dair sürdürülebilir kalkınma hedefleri. <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa>
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023b). BM iklim değişikliği ve çerçeve sözleşmesi. <https://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa>
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023c). Kyoto Protokolü. <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023d). Paris Anlaşması. <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>
- T.C. Resmi Gazete. (1990). Milletler Arası Sözleşme. (Yayın No. 20629). <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20629.pdf>
- T.C. Resmi Gazete. (1993). Tehlikeli Atıkların Sınırötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesi. (Yayın No. 21935). <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/21935.pdf>
- T.C. Resmi Gazete. (2003). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. (Yayın No. 25266). https://www5.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR_KARARLAR/kanuntbmmc088/kanuntbmmc088/kanuntbmmc08804990.pdf
- T.C. Resmi Gazete. (2009). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolü. (Yayın No. 27227). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/05/20090513-1.htm>
- T.C. Resmi Gazete. (2021). Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun. (Yayın No. 31621). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211007-7.pdf>
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022, 09 Haziran). Mobilite araç ve teknolojileri yol haritası. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/strateji-belgeleri/mu0906011618>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023, 28 Ocak). 2053 ulaştırma ve lojistik ana planı. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/2053-ulasirma-ve-lojistik-ana-plani-rev.pdf>
- TSKB. (2021, 21 Kasım). Enerji Görünümü 2021. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf>
- TÜİK. (2017). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2016. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2016-24638#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%20ikamet%20eden%20n%C3%BCfus,8'ini%20ise%20kad%C4%B1nlar%20olu%C5%9Fturdu>
- TÜİK. (2018). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2017. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2017-27587>
- TÜİK. (2020). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2019. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2019-33705>
- TÜİK. (2021). 1990-2019 sera gazı emisyonları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862>
- TÜİK. (2022a). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=45500>
- TÜİK. (2022b). Turkish greenhouse gas inventory 1990-2020. <https://unfccc.int/documents/461926>
- Türkay M. (2018). *Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun (Karbon ayak izinin) hesaplanması: Eskişehir ili örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi), YÖK Tez Merkezi. (528600)
- Uğur, O. (2021). *Nevşehir ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi). YÖK Tez Merkezi. (677656)
- UNFCCC. (1995, Dec 13). Report of the conference of the parties on its first session. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop1/07.pdf>
- UNFCCC. (2009, Jan 14). Kyoto protocol status of ratification. https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf
- UNFCCC. (2015a). Adoption of the Paris agreement. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>
- UNFCCC. (2015b). Republic of Turkey intended nationally determined contribution. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf
- UNFCCC. (2022a). Long-term climate finance. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop27_auv_8a_LTF.pdf
- UNFCCC. (2022b). The road to sustainable mobility in cities. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/COP27_%20The_road_to_sustainable_mobility_in_cities_1711_1711_0.pdf
- UNFCCC. (2022c). Warsaw international mechanism for loss and damage associated with climate change impacts. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_L05E.pdf
- UNFCCC. (2022d). El-Sheikh climate change conference. <https://unfccc.int/cop27/auv>

- United Nations. Report of the United Nations Conference on the Human Environment. United Nations Conference, Stockholm, Sweden, 1972.
- United Nations. (1992, Jun 20). United Nations framework convention on climate change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- WMO. (2021, Oct 04). State of global climate 2021 WMO Provisional Report. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10859
- WMO. (2022, Nov 07). *Provisional state of the global climate 2022*. [://reliefweb.int/report/world/wmo-provisional-state-global-climate-2022](https://reliefweb.int/report/world/wmo-provisional-state-global-climate-2022)
- Zhao, G., Yu, B., An, R., Wu, Y., & Zhao Z. (2021). Energy system transformations and carbon emission mitigation for China to achieve global 2 °C climate target. *Journal of Environmental Management*, 292, 1-12.