

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YOZGAT İLİNDE KARAYOLUNDAN KAYNAKLI
KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI**

**Hazırlayan
Hatice AYDIN**

**Danışman
Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hatice AYDIN

İmza

“Yozgat İlinde Karayolundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesaplanması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Hatice AYDIN

İmza

Danışman

Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

İmza

Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ danışmanlığında **Hatice AYDIN** tarafından hazırlanan **“Yozgat İlinde Karayolundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesaplanması”** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Gün / Ay / Yıl

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ

Üye : Doç. Dr. Şükrü Taner AZGIN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper SOLMAZ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /...../

Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince her türlü yardım ve fedakârlıklarını esirgemeyen, farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan ve bu günlere gelmemde büyük katkıları olan değerli hocam sayın danışmanım Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince sabır göstererek, bana olan desteklerini bir an olsun eksiltmeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hatice AYDIN

Kasım 2023, KAYSERİ

YOZGAT İLİNDE KARAYOLUNDAN KAYNAKLI KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI

Hatice AYDIN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2023
Danışman: Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ**

ÖZET

Yozgat ilinin ulaşım kaynaklı karbon ayak izinin tespit edilmesi ile ilgili tez çalışmasının dolaylı amacı da ulaşım sistemine ait tüm bileşenlerin çevreye duyarlı hale getirilmesine, toplumda çevre bilincinin kazandırılmasına, şehirde yaşayan ve yaşayacak kişilerin sürdürülebilir çevreye sahip olmasına yönelik atılacak adımlara, katkı sağlanmasıdır. Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon ayak izinin IPCC'nin önerdiği yaklaşımlardan Tier-1 yönteminden faydalanılarak, 2019 – 2021 yılları arasında verileri üzerinde hesaplanmalar yapılmıştır. Yozgat ilinde gerçekleştirilen çalışmanın amacı ulaşım sistemine ait tüm bileşenlerin çevreye duyarlı hale getirilmesine, toplumda çevre bilincinin kazandırılmasına, şehirde yaşayan ve yaşayacak kişilerin sürdürülebilir çevreye sahip olmasına yönelik atılacak adımlara, katkı sağlanmasıdır.

Yozgat ili için karayolundan kaynaklı karbon ayak izi için farklı kurumlarda veriler mevcut olmakla birlikte, karayolu ulaşımın çevresel boyutunu ortaya koymak üzere bütünsel bir veri tabanı çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin çevresel maliyetler noktasında ve çevresel faydaların artırılması için yapılabilecek düzenlemelere zemin hazırlayacak bir kaynak meydana getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Yozgat, Ulaşım, Karayolu, Çevre

CALCULATION OF CARBON FOOTPRINT FROM HIGHWAY IN YOZGAT
Hatice AYDIN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, November 2023
Supervisor: Prof. Dr. Ömür GÖKKUŞ

ABSTRACT

The indirect purpose of the thesis study on determining the carbon footprint of Yozgat province from transportation is to contribute to making all the components of the transportation system environmentally sensitive, raising environmental awareness in society, and taking steps to ensure that people who live and will live in the city have a sustainable environment. Calculations of the carbon footprint caused by highways in Yozgat province were made on the data between 2019 and 2021 by using the Tier-2 method, one of the approaches recommended by the IPCC. Dec. The aim of the study carried out in Yozgat province is to contribute to making all the components of the transportation system environmentally sensitive, to raising environmental awareness in society, to the steps to be taken to ensure that people who live and will live in the city have a sustainable environment.

Although there are data available in different institutions for the road-related carbon footprint for Yozgat province, a holistic database study has been conducted to reveal the environmental dimension of road transport. A resource has been created that will prepare the ground for arrangements that can be made to increase the environmental benefits and environmental costs of the data obtained.

Keywords: Carbon Footprint, Yozgat, Transportation, Highway, Environment

İÇİNDEKİLER

YOZGAT İLİNDE KARAYOLUNDAN KAYNAKLI KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	v
KABUL VE ONAY	vi
ÖNSÖZ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Faktörleri	5
1.1.1. İklim Değişikliğine Etki Eden Doğal Faktörler.....	6
1.1.2. İklim Değişikliğine Etki Eden Yapay Faktörler.....	8
1.1.3. Küresel İklim Değişikliği Etkileri.....	10
1.2. Sera Gazı Emisyonları ve Özellikleri	12
1.2.1. Karbondioksit (CO ₂).....	14
1.2.2. Metan (CH ₄).....	15
1.2.3. Diazot Monoksit (N ₂ O)	16
1.2.4. Su Buharı (H ₂ O)	17
1.2.5. Ozon (O ₃).....	17

1.2.6. Karbon monoksit (CO)	18
1.2.7. Azot Oksitler (NO _x).....	18
1.2.8. Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)	19
1.3. İklim Değişikliğinin Hukuki Çerçevesi	19
1.3.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)	20
1.3.2. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)	21
1.3.3. Kyoto Protokolü	22
1.4. Ulaşım Sektörünün Çevresel Etkileri.....	23
1.5. Karbon Ayak İzi.....	23
1.5.1. Türkiye’de ve Dünyada Karbon Ayak İzi	27
1.5.2. Ulaşımdan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi	29
1.5.3. Karayolu Ulaşımdan Kaynaklı Karbon Ayak İzi	31
1.5.4. Ulaşımdan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi	35

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Çalışma Alanı ve Verilerin Toplanması	38
2.2. Tier Metodu ile Hesaplama Yöntemi.....	38

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Bulgular.....	57
--------------------	----

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	58
KAYNAKÇA	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

KISALTMALAR

IPCC: İklim Değişikliği Paneli

UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Yıllara Göre Harcanan Yakıtın Ton Cinsinden Toplam Değeri	37
Tablo 3.1. 2019 Yılı Yozgat İlinde Karayolundan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi.....	53
Tablo 3.2. 2020 Yılı Yozgat İlinde Karayolundan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi.....	54
Tablo 3.3. 2021 Yılı Yozgat İlinde Karayolundan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi.....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sera Etkisi	13
Şekil 1.2. 1000-2014 Yılları Arasında Atmosferik Karbondioksit Konsantrasyonu	15
Şekil 1.3. 1000-2013 Yılları Arası Kutup Denizi Buz Alanı Ve Atmosferik Karbondioksit Konsantrasyonu.....	16
Şekil 1.4. Yolcu Kapasitesi ve Kişi Başı Karbon Ayak İzleri	28
Şekil 1.5. Ulaşım Sektörü CO ₂ Emisyonları	29
Şekil 1.6. Karayolu Taşımacılığında Akaryakıt Türlerine Göre Emisyon Dağılımları ..	32
Şekil 1.7. 1990 Yılında OECD Ülkelerinin Ulaşım Sektörü Karbon Ayak İzi Değerleri Karşılaştırılması	33
Şekil 1.8. 2015 Yılı Ülkeler Bazında Ulaşım Sektörü Karbon Ayak İzi Değeri Karşılaştırılması	34

GİRİŞ

İklim sisteminde meydana gelen değişiklikler sonucunda küresel ısınmanın meydana gelmesi kaçınılmaz bir durum halini almıştır. Küresel ısınmanın oluşmasına neden olan gazların başında gelen sera gazları olarak ifade edilen gazlardan en etkili olanının karbondioksit (CO₂) olduğu bilinmektedir. İklim değişiklikleri ve küresel ısınma konularında mücadelenin sağlanmasını uluslararası çerçeve ise Kyoto Protokolü'dür. Kyoto Protokolü'ne taraf olan ülkeler tarafından karbon salınımlarının hesaplamaları ve azaltılması hususunda salınım kotaları bulunmaktadır. Protokolü tanıyan ülkeler kotaların aşılmaması amacıyla var olan karbon ayak izlerinin hesaplanması ve bu yönde ilgili envanterin hazırlanması gerekmektedir. Taraf olan ülkeler farklı hesaplama yöntemlerini kullanarak CO₂ miktarları hesaplayabilmektedir.

1988'de Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından dünyanın dört bir yanından klimatologlar, meteorologlar, coğrafyacılar ve diğer bilim adamlarından oluşan bir komite oluşturulmuştur. Bu Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili mevcut en güncel araştırmaları inceleyen binlerce bilim insanını içermektedir. IPCC, insan faaliyetlerinden kaynaklanan iklim değişikliği riskini değerlendirir. IPCC'nin en son raporuna göre (2007'de), Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklıkları son 100 yılda yaklaşık 0,74 santigrat derece (1.33 Fahrenheit derece) arttı. Artış kuzey enlemlerinde daha fazladır. IPCC ayrıca kara bölgelerinin okyanuslardan daha hızlı ısındığını tespit etmiştir. IPCC, sıcaklığın artış sebebinin çoğunun 20. yüzyılın ortalarından bu yana artış gösterdiği ve insan faaliyetlerinden kaynaklanmakta olduğunu belirtmiştir.

Sera etkisi, bir gezegenin atmosferinden gelen radyasyonun, gezegenin yüzeyini normalden daha yüksek bir sıcaklığa ulaştırarak ısıtması sürecine denir. İnsan faaliyetleri sera etkisini artırarak küresel ısınmaya katkıda bulunur. Sera etkisi, sera gazları olarak bilinen belirli gazların dünya atmosferinde toplanmasıyla ortaya çıkar. Atmosferde doğal olarak oluşan bu gazlar arasında karbondioksit, metan, nitrojen oksit ve bazen kloroflorokarbonlar (CFC'ler) olarak bilinen florlu gazlar bulunur. Sera gazları güneş ışığının dünyanın yüzeyine parlamasına izin verir ancak atmosfere geri yansıyan ısıyı hapsederler. Bu sayede yalıtkan cam duvarları gibi davranırlar. Sanayi Devrimi'nden bu yana, insanlar atmosfere büyük miktarlarda sera gazı salıyor. Ülke ekonomi ve

nüfuslarının artmasıyla birlikte arz talep unsuru da artış göstermiştir. Teknoloji ve sosyal çevre hızla büyüme göstermektedir. İnsanların hayatlarının kolaylaşması çevre sorunları ile doğrudan ilgili bir durum haline almıştır. Sanayi devrimi sonrası büyüyen üretim gücü doğal hayatı etkilemiştir.

Son zamanlarda çevre sorunu kavramı, devletlerin kendi ulusal sorunu olmaktan çıkıp uluslararası bir sorun haline gelmiştir. Çevre sorunlarının yaygınlaşması nedeniyle iklim değişikliği, geri dönüşüm ve atıkların en aza indirilmesi gibi çevre sorunlarına ilişkin kanun, kural ve yönetmelikler çıkarılmış ve çevre yönetiminin önemi artmıştır. Çevre yönetiminde sürdürülebilirliği vurgulayarak, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynakların dikkatli kullanımını destekler. Çevre yönetimi, çevresel kaynakları ortak kurallara ve çevre standartlarına göre yöneterek sürdürülebilirliği için çalışmaktadır (Çavuş ve Yıldırım Tancı, 2013).

Genel olarak çevre kavramı; Canlı ve cansız tüm varlıkların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri, birbirlerinden etkilendiği ve etkilendiği fiziksel, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam olarak ifade edilmektedir (Cansaran ve Yıldırım, 2017). Çevre; Doğal çevre koşullarının bir kombinasyonudur. Çevre kavramı; İnsan yaşam döngüsünün, sosyal koşulların üretken koşullarıyla tamamlanarak oluşturulduğu ortamlar olarak tanımlanabilir. Bir başka tanıma göre çevre; bitki ve hayvan topluluklarının hava, su ve toprak gibi canlı unsurların bulunduğu ortamlarda yaşam döngülerini insanlarla paylaştığı ve farklı kültürlerden zaman içinde oluşan ortak bir kültürün olduğu alandır. Bu tanımlara göre çevre, sadece canlıların etkileşimini içeren çevre değil, aynı zamanda cansız faktörlerin etkisi ile oluşan çevredir (Karabıçak ve Armağan, 2004).

Sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan karbon ayak izini hesaplamak ve bu izinleri aşmamak için sera gazı envanteri oluşturmak için ülkelere emisyon izinleri getirmiştir. Karbon ayak izi, üretilen sera gazı miktarı ile ölçülen, karbondioksit cinsinden ölçülen, insan faaliyetinin çevreye verdiği zararın bir ölçüsüdür. Karbon ayak izi, sera gazı emisyonlarının toplam miktarının karbondioksit eşdeğeri cinsinden ifade edilmesiyle belirlenir. Küresel iklim değişikliğine neden olan başta karbondioksit gazı olmak üzere sera gazlarının artışı %80'den fazlasını oluşturmakta ve doğal denge ile birlikte çevre sorunlarına neden olmaktadır.

İnsan nüfusunun büyük bir bölümü şehirlerde yaşamaktadır. Kırsal alanlarda bulunan ve şehirlerde yaşayan kişi sayısı oranlarına bakıldığında aradaki fark her geçen zaman diliminde artış göstermektedir. Bu durum ulaşım yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Ulaşımın yoğunluğu atmosfere salınan zehirli gaz, duman, is, toz vb. maddelerin artmasına ve temiz havanın zehirlenmesine yol açmaktadır.

Sera gazı emisyonları 1970 ile 2004 yılları arasında yüzde 70 artış göstermiştir. En önemli sera gazı olan karbondioksit emisyonları ise bu süre zarfında yaklaşık olarak yüzde 80 oranında artış göstermiştir. Bugün atmosferdeki karbondioksit miktarı, son 650.000 yılda görülen doğal aralık değerlerin oldukça üzerindedir. İnsanların atmosfere saldığı karbondioksitin çoğu, petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasından ileri gelmektedir. Arabalar, kamyonlar, trenler ve uçakların tümü fosil yakıtları kullanmaktadırlar. Birçok elektrik santrali de yine aynı zamanda fosil yakıt tüketmektedirler. İnsanların atmosfere karbondioksit salmasının bir başka yolu da ormanların tahrip edilmesidir. Bu iki önemli neden sera gazlarındaki önemli artıştan başlıca sorumludurlar. Ağaçlar da dahil olmak üzere çürüyen bitki materyali atmosfere tonlarca karbondioksit salmaktadır. Canlı ağaçlar karbondioksitin absorbe edilmesini sağlamaktadır. Karbondioksiti emecek ağaç sayısının azalması ile birlikte, tehlikeli sera gazları serbest kalarak atmosfere ulaşırlar. Atmosferdeki metanların çoğu, hayvancılık, çöplükler ve kömür madenciliği ve doğal gaz işleme gibi fosil yakıt üretiminden ileri gelmektedir. Azot oksit, başlıca tarım teknolojilerinden ve fosil yakıtların yakılmasından dolayı oluşmaktadır. Florlu gazlar arasında kloroflorokarbonlar, hidrokloroflorokarbonlar ve hidroflorokarbonlar en çok bilinen türler olarak sıralanabilir. Bu sera gazları başlıca aerosol kutularında ve soğutma işlemleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Tüm bu insan faaliyetleri, atmosfere salınan sera gazları, normalden daha fazla ısıyı hapseder ve küresel ısınmaya katkıda bulunurlar.

Karbon ayak izi, birim karbondioksit cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsüdür ve doğrudan ayak izi ve dolaylı ayak izi olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır.. Ortalama küresel sıcaklıklardaki küçük artışlar bile çok büyük etkilere sahip olabilir. Belki de en büyük, en belirgin etki, buzulların ve buzulların normalden daha hızlı erimesidir.

Yozgat ilinin ulaşım kaynaklı karbon ayak izinin tespit edilmesi ile ilgili tez çalışmasının temel amacı, karayolu ulaşım sistemine ait tüm bileşenlerin çevreye duyarlı hale getirilmesine, toplumda evre bilincinin kazandırılmasına, şehirde yaşayan ve yaşayacak kişilerin sürdürülebilir çevreye sahip olmasına yönelik atılacak adımlara, katkı sağlanmasıdır. Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon ayak izinin 2019 – 2021 yılları arasında verileri üzerinde hesaplanmalar yapılmıştır.

Emisyon hesaplamalarında IPCC tarafından nerilen Tier 1 yaklaşımı kullanılmıştır. Tier 1 hesaplama metodolojisi ile Yozgat iline kayıtlı karayolu araçlarının 2019 – 2021 yılları arasındaki karbon ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tez çalışmasının öneriler kısmında Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon emisyonlarının mevcut durumu ve bu konuda çevresel açıdan alınabilecek önlemler ile ilgili çeşitli bilgilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Faktörleri

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili olarak alınacak önlemler bağlamında topyekûn mücadele edilmesi gereken önemli bir husustur. Yeniden yeşillendirme için planlamalar yapılması, mücadelede ilk adımlardan olmalıdır. Son araştırmalar, doğaya dayalı çözümlerin, küresel ısınmayı 2 santigrat derecenin altında tutmak için gereken karbon emisyonu alımının %37'sine kadar katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bitki örtüsü, karbonun tutulmasına, atmosferdeki karbon miktarının azalmasına ve ardından sera etkisinin azalmasına neden olarak nihayetinde küresel ısınmanın azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Bitki örtüsü ayrıca toprağın soğumasına neden olur, böylelikle suyun topraktan buharlaşmasını azaltır ve sonuç olarak bitkiler, hayvanlar ve insanlar için kullanılabilir su miktarında bir artışa neden olur. Ek olarak, yeşillendirme su döngüsünü uyararak yağışın artmasına ve suyun toprakta tutulmasına neden olur. Toprak nem içeriğindeki bu artış, araziye yeniden tarım için uygun hale getirerek yerel topluluklar için gıda ve gelir artışına katkıda bulunur.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ve bunun sosyal kalkınma üzerindeki etkileri son yıllarda çokça tartışılmaktadır. Artık iklim değişikliğinin gerçek olduğu ve etkilerinin su kaynaklarından endüstrilere ve sosyal alanlara kadar farklı sektörlerde hissedileceği kabul edilmektedir. Önümüzdeki yıllarda, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin tüm dünyada insanlar tarafından etkilerinin daha fazla hissedileceği gerçeği aşıkardır. Doğrudan iklim değişikliğinin sonucu olarak toplum dokusu ve sosyal hayat da aynı şekilde ortaya çıkacak olumsuzluklardan etkilenecektir. İklim değişikliği sadece bilimsel bir konu değil, aynı zamanda sosyal bir konudur. Volkanik patlamalar ve permafrost'un (sürekli donmuş toprak) buzunun çözülmesi CO₂ emisyonuna katkıda bulunur. Bunların hepsi, dünyayı dengede tutan CO₂ emisyonlarının doğal kaynaklarıdır. Ancak, doğal olmayan kaynaklardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının miktarı hızla artmakta ve bu denge bozulmaktadır. CO₂ emisyonlarındaki bu artış büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Karayolu ulaşımı amacıyla motorlu taşıtların kullanımı, ısınma amaçlı fosil yakıt tüketimi ve temel evsel ihtiyaçlar için yakıt kullanımı (yemek, temizlik

vb.) sera etkisi ve iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Fosil yakıtların kullanımına yönelik tüm bu faaliyetler aynı zamanda yüksek enerji tüketimlerine neden olmaktadır. Bu enerjiyi elde etmek için atmosfere yüksek düzeylerde CO₂ salınımı söz konusudur.

IPCC, belirli konularda raporlar hazırlayan üç çalışma grubu oluşturmuştur. Bu çalışma gruplarının temel amaçları ise aşağıda özetlenmektedir.

- IPCC Çalışma Grubu I: Mevcut bilimsel bilgileri değerlendiren ve iklim sistemi ve iklim değişikliği üzerine planlar oluşturma.
- IPCC Çalışma Grubu II: İklim deęiřiklięinin etkileri ve doęal ve sosyo-ekonomik iklim deęiřiklięine karřı sistemler ve bu tür deęiřikliklere uyum saęlama sečenekleri ve yeteneęi konusunda strateji geliřtirme.
- IPCC Çalışma Grubu III: Stratejilerin teknik ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve dolayısıyla oranı ve büyüklüğünü azaltmak için geleceğe yönelik düzenlemeler hazırlama.

Sera gazı emisyonlarındaki azalmalar genellikle “azaltma” olarak anılırken, iklimdeki değişikliklere uyum sağlama çabalarına atıfta bulunmaktadır. Her çalışma grubuna, gelişmekte olan bir ülkeden bir bilim insanı eř başkanlık eder. IPCC raporları aşağıdaki ekipler tarafından hazırlanır: bilimsel yazarlar ve iki aşamalı hakemli bir süreçten geçerler (önce uzmanlar tarafından ve daha sonra hem uzmanlar hem de hükümetler tarafından). Bu hakemlik sürecini takip eden IPCC üyeleriyle bir genel kurulun kabul ettiği bir kabul ve onay süreci nihai raporlar ve raporun yönetici özetinin metni üzerinde anlaşmaya varır. IPCC çalışmasının bu özellikleri, bilimsel bütünlüğü, şeffaflığı ve güvenilirliği için güçlü destek değerlendirmeler. Küresel ısınma anahtar kelimesi ile yapılan aramalar, Google Trendler'de yer almakta olup, etkinin kaba bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. IPCC, insanların bu konulardaki farkındalığı üzerine çalışmaktadır. IPCC raporlarının yayınlanması ve inşa etme çabaları için IPCC ve Al Gore için Nobel Barış Ödülü ve antropojenik iklim değişikliği hakkında daha fazla bilgi yaymayı amaçlamaktadır.

1.1.1. İklim Değişikliğine Etki Eden Doğal Faktörler

İklim üzerindeki doğal etkiler arasında volkanik patlamalar, dünyanın yörüngesindeki ve kabuğundaki değişimler (levha tektoniği olarak bilinir) bulunur. Geçtiğimiz bir milyon yıl boyunca, dünya daha soğuk dönemler (buzullar) ve daha sıcak dönemler (buzullar arası) dahil olmak üzere bir dizi buzul çağı yaşamıştır.

Doğal döngüler, iklimin ısınma ve soğuma arasında değişmesine neden olabilir. İklimi değiştirmeye zorlayan, “zorlama” olarak bilinen doğal faktörler de vardır. Bu doğal nedenler iklim değişikliğine katkıda bulunsa da bilimsel kanıtlara dayanarak bunların birincil neden olmadığını biliyoruz.

İklim değişikliğine katkıda bulunabilecek doğal zorlamalar şunları içerir:

- Güneş Işınları: Güneşten gelen enerjinin değişmesi geçmişte Dünya'nın sıcaklığını etkilemiştir. Ancak, günümüzde iklimimizi değiştirecek kadar güçlü bir etkisi rapor edilmemiştir. Güneş enerjisindeki herhangi bir artış, Dünya'nın tüm atmosferini ısıtır, ancak ısınma etkisi yalnızca alt katmanda görülmektedir.
- Volkanik Patlamalar: Volkanların iklimimiz üzerinde karışık bir etkisi vardır. Patlamalar, Dünya'yı soğutan aerosol parçacıkları üretir, ancak aynı zamanda onu ısıtan karbondioksiti de serbest bırakır. Volkanlar, insanlardan 50 kat daha az karbondioksit üretir, bu nedenle küresel ısınmanın önde gelen nedeni olmadığını biliyoruz. Bunun da ötesinde, volkanik patlamaların baskın etkisi ısınma değil, soğumadır.

Bu doğal döngülere ait teorilerden bazıları şunlardır:

- Milankovitch Döngüleri: Dünya güneşin etrafında hareket ederken, yolu ve ekseninin eğimi biraz değişebilir. Milankovitch döngüleri olarak adlandırılan bu değişiklikler, dünyaya düşen güneş ışığı miktarını etkiler. Bu, Dünya'nın sıcaklığının değişmesine neden olabilir. Bununla birlikte, bu döngüler on veya yüz binlerce yıl boyunca gerçekleşir ve bugün gördüğümüz iklim değişikliklerine neden olma ihtimalleri bulunmamaktadır.

- El Nino Güney Salınımı (ENSO): ENSO, Pasifik Okyanusu'ndaki değişen su sıcaklıklarının bir modelidir. Bir El Nino yılında, küresel sıcaklık ısınır ve bir “La Nina” yılında soğur. Bu modeller, küresel sıcaklığı kısa bir süre (aylar veya yıllar) etkileyebilir, ancak bugün gördüğümüz kalıcı ısınmayı açıklayamaz.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği şu anda gündemde olan bir konu olmasına rağmen, tarihsel bir bakış, bunların yeni sorunlar olmadığını açıkça göstermektedir. Verilerin 1980'lerin sonlarından beri arttığı görülmektedir. Ancak bilim adamları uzun zamandır insan faaliyetlerinin neden olabileceğini belirtmektedirler. İklimde büyük ölçekli değişiklikler görülmektedir. Günümüzde yaygın olarak görülen küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili veriler IPCC tarafından hazırlanan raporlar sonrası değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. IPCC, 1988 yılında kurulmuştur. Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve bu kuruluşlara üye olan 192 ülke tanımıştır. IPCC düzenli olarak önemli olan bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgileri değerlendirmektedirler. İklim ve iklim değişikliği biliminin anlaşılması, iklim değişikliğinin potansiyel etkilerinin uyum ve mücadele seçeneklerinin tamamının benimsenmesi ile gerçekleştirilebilir. IPCC ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) iklim değişikliği üzerine Değerlendirme Raporları, Özel Raporlar, Metodoloji Raporları ve Teknik Belgeler ve Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi çalışmalarını bilgilendirmek için kullanılmaktadırlar. UNFCCC, siyasi çok taraflı bir süreçtir. Hangi ülkeler iklimin olumsuz sonuçlarına karşı koymak için önlemler üzerinde çalışılma durumunu incelemektedir. Sera gazı emisyonlarına sınırlar koyarak ve değişen iklimin kaçınılmaz sonuçlarını raporlar halinde sunarlar.

UNFCCC tarafından tanınan iklim tanımı, yalnızca insan faaliyetleri sonucunda iklim değişikliğine atfedilen iklim değişikliğini kapsar. Buna karşılık, IPCC, iklim değişikliğini “dünyadaki herhangi bir değişiklik” olarak tanımlar. Değişikliklerle belirlenebilen (örneğin istatistiksel testler kullanılarak) iklimin durumu, özelliklerinin ortalama ve değişkenliği olan uzun bir süre devam eden, tipik olarak onlarca yıl veya daha uzun süren süreçler detaylı bir şekilde incelemeye tabi tutulur. Zaman içinde iklimde meydana gelen herhangi bir değişikliği doğal değişkenliğe veya insan faaliyetinin bir sonucu olarak ifade eder. IPCC tarafından yapılan incelemelerde iklimde belirli bir değişikliğin olup olmadığı

konusunda bir ön yargı yoktur. İklim değişikliği insan faaliyetlerinden kaynaklanmış veya doğal bir etkenden olabilir. Sonucun geçerliliği bilimsel araştırma kullanılmalıdır.

1.1.2. İklim Değişikliğine Etki Eden Yapay Faktörler

Dünya derin ve eşzamanlı sistemik sorunlarla karşı karşıyadır. Ülkeler ve sağlık sistemleri sağlık, sosyal ve ekonomik etkileri ile mücadele COVID-19 salgını, Rusya'nın işgali Ukrayna ve kalıcı bir fosil yakıt bağımlılığı dünyayı küresel enerji ve ekonomik yaşam krizine itmiştir. Bu krizler ortaya çıktıkça, iklim değişikliği hız kesmeden tırmanıyor. Kötüleşen etkileri, insan sağlığı ve refahının temellerini giderek daha fazla etkileyerek dünya nüfusunun kırılganlığını arttıran eşzamanlı sağlık tehditleri meydana gelmektedir.

2021 ve 2022 yıllarında aşırı hava olayları, her kıtada yıkım, daha fazlasını ekleyerek sağlık hizmetlerine yönelik etkileri görülmüştür. Sel baskınları ve orman yangınları Avustralya, Brezilya, Çin, Batı Avrupa, Malezya, Pakistan, Güney Afrika ve Güney Sudan'da binlerce ölüme neden olmuştur. Yüz binlerce insanı yerinden etti ve milyarlarca dolarlık ekonomik kayıp meydana gelmiştir. Rekor sıcaklıklar Kanada, ABD, Yunanistan, Cezayir, İtalya, İspanya, Türkiye Avustralya ve Kanada dahil olmak üzere birçok ülkede görülmüştür.

Son yıllarda, "iklim değişikliği" terimi, çoğunlukla, sanayi devrimi sonrasında özellikle fosil yakıtların yakılması ve ormanların ortadan kaldırılması, dünya'nın ikliminde öncelikle insan faaliyetleri tarafından yönlendirilen değişiklikleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Dünya atmosferindeki karbondioksit konsantrasyonunda hızlı bir artış olması iklim değişikliğine neden olur (Pekin, 2006).

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu, sanayi devrimi öncesi dönemde milyonda 280 parça (ppm) civarındayken, 2020 başlarında 413 ppm'ye yükselmiştir. Karbondioksit konsantrasyonu değeri tarihte eşi benzeri görülmemiş seviyelerdedir. Bilim adamları, küresel ısınmayı stabilize etmek için 2100 yılına kadar 350 ppm'lik "güvenli" bir konsantrasyona geri dönmemiz gerektiğini belirtmektedirler.

Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce ölen gömülü karbon bazlı organizmaların ayrışmasından oluşur. Enerji için çıkarılan ve yakılan karbon açısından zengin tortular

oluştururlar. Yenilenemezler ve şu anda dünya enerjisinin yaklaşık %80'ini sağlamaktadırlar. Ayrıca plastik, çelik ve çok çeşitli ürünler yapmak için kullanılırlar. Üç tür fosil yakıt vardır bunlar kömür, petrol ve gazdır. Fosil yakıtlar yandıklarında atmosfere büyük miktarlarda karbondioksit ve sera gazlarını salmaktadırlar. Sera gazları, atmosferde ısıyı hapsederek küresel ısınmaya neden olmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırma sonuçlarına göre dünya genelinde ortalama küresel sıcaklıklar yaklaşık olarak 1°C düzeyinde artmış durumdadır. Dünya yüzeyinde 1,5°C'nin üzerindeki ısınma, deniz seviyesinin daha da yükselmesine, aşırı hava koşullarına, biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına ve türlerin yok olmasına, ayrıca gıda kıtlığına, dünya çapında milyonlarca insan için sağlık koşullarının bozulmasına ve yoksulluğun artmasına neden olmaktadır.

IPCC, fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonların küresel ısınmanın en önde gelen nedeni olduğunu rapor etmektedir. Araştırma sonuçlarına göre 2018 yılında küresel CO₂ emisyonlarının %89'u fosil yakıtlardan ve endüstriden kaynaklanmaktadır. Kömür bir fosil yakıttır ve fosil yakıtlar arasında en fazla kirliliğe sebep olan yakıt türüdür. Küresel ortalama sıcaklıklardaki 1°C'lik artışın yaklaşık olarak 0,3°C kısmından sorumludur (Kıvılcım, 2013).

IPCC, küresel ısınmanın sanayi devrimi sonrası dönemde olan seviyelerin 1,5°C üzerinde sınırlandırılması için fosil yakıt emisyonlarının 11 yıl içinde yarıya indirilmesi gerektiği konusunda uyarı yapmaktadır. 2015 yılında birçok dünya ülkesi karbon emisyonlarını azaltmayı taahhüt eden “Paris Anlaşması”nı imzaladılar. Diğer taraftan, yeni bir rapor olan BM Çevre Programı tarafından hazırlanan bildirgeye göre, küresel ısınmanın etkilerini 1,5°C ile sınırlı tutmak gerektiğini ancak istatistiklere göre 2030 yılına kadar üretilen kömür, petrol ve gaz miktarlarının şu anda kullanılanın iki katı civarında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle gelecekte küresel ısınma etkilerinin en aza indirgenebilmesi için daha fazla önlem alınması gerektiği gerçeği aşıkardır Son dönemlerde yapılan araştırma sonuçları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve verimliliğe toplu bir geçişe ihtiyacımız olduğunu belirtirken, fosil yakıt şirketleri fosil yakıt ürünleri üreten ve satan büyük kirleticiler olmaya devam etmektedirler. Dünya genelinde 2019 yılından beri birçok şirket düşük karbonlu enerji kaynakları ve küresel ısınma konusunda daha çevreci bir yakıt türü olan doğal gaz kullanımı ile ilgili olarak tanıtım kampanyaları için yüksek miktarlarda harcamalar yapmaktadırlar. Reklam

faaliyetleri genel olarak temiz enerjiye odaklanmış olsa da gerçekte yıllık enerji tüketimlerinin oran olarak %96'sından fazlası hala petrol ve gazdan oluşmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı yalnızca endüstriyel alanda değil dünya çapında ciddi bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm insanlığın fosil yakıtların kullanımı ile ilgili olarak gelecekte yaratacağı olumsuzlukların farkında olması ve konu ile ilgili gerekli bilincin kazandırılması gerekmektedir.

1.1.3. Küresel İklim Değişikliği Etkileri

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin var olduğu ve gezegen sakinleri için büyük bir tehdit oluşturduğu günümüzde herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Mevcut veriler, 2°C'nin üzerinde bir ortalama sıcaklık artışının altında kalma şansına sahip olmak için 2050 yılına kadar gelişmiş ülkelerdeki sera gazı emisyonlarını en az %80 oranında azaltılması gerektiğini göstermektedir. İnsan nüfusunun çoğalması ve beraberinde endüstrinin büyümesi büyük miktarlarda sera gazı salarak iklim değişikliği sorununa önemli bir katkıda bulunmaktadır. Çok çeşitli karbondioksit kaynakları endüstri sektöründe "tedarik zinciri" boyunca sera gazları üretir. Örneğin, tarımsal mahsullerin üretimi ve hayvancılık faaliyetleri için orman alanlarının yok edilmesi, hayati karbon yutaklarının miktarını azaltmakta ve daha önce toprakta ve bitki örtüsünde depolanmış gazların serbest hale geçmesine neden olmaktadır. Enerjiye aç bir endüstride üretim işlemleri yüksek miktarlarda enerji gerektirmektedir. Benzer şekilde hayvancılık faaliyetleri de ihtiyaç duyulan hayvan yeminin üretimi aşamasında yüksek düzeyde enerji gerektirmektedir. Bir araştırmaya göre hayvan yemi üretimi için gereken toplam enerjinin yaklaşık %75'i açısından yoğun enerji kullanımı söz konusudur. Geri kalan %25'lik kısım ise ısıtma, aydınlatma ve havalandırma gibi dolaylı faktörler için gereklidir. Küresel ısınma için yalnızca karbondioksit değil, aynı zamanda önemli miktarlarda üretilen metan ve nitroz oksit içeren gazlar, hayvan atıkları ve gübre kullanımı dahil olmak üzere çeşitli kaynaklar da önemli paya sahiptir. Hayvancılık, küresel metan ve azot oksit emisyonlarımızın sırasıyla %37 ve %65'ini üretmektedir. Her iki gaz da küresel ısınma potansiyeli anlamında karbondioksitten çok daha güçlü etkilere sahiptirler. İklim değişikliği, zararlıların ve hastalıkların yayılmasını teşvik ederek, ısı stresine maruz kalmayı artırarak ve kuvvetli rüzgarlar nedeniyle toprak erozyonunu teşvik ederek bitki büyümesini ve üretimini etkileyebilmektedir.

Genel refahımız için ekosistemlerin sürdürülebilir halini alması istenmektedir. 1997'de bir grup bilim insanı, ekosistemlerimiz tarafından sağlanan hizmetlerin, eğer uygun şekilde değerlendirilirse, her yıl yaklaşık 33 trilyon doları değerinde olacağını belirtmektedir. Buna rağmen, dünya çapında sayısız bitki ve hayvan türünün hayatta kalması şu anda tehdit altındadır. Bu yok olma krizini tetikleyen bir dizi faktör olsa da kritik bir bileşen hava kirliliğidir. Sera gazları doğal yaşam alanlarını olumsuz yönde etkileyen ve hatta yok eden bir dizi kirlilik sorunu yaratabilecek potansiyele sahiptirler. Sözü edilen sera gazları, hayvanları ve bitkileri doğal yaşam alanlarından uzaklaştırabilir ve hatta öldürebilir. Endüstri sektöründen çıkan çeşitli atıklar çevre açısından özellikle tehlikeli olabilir, su yollarına sızar ve en kötü durumlarda çok az türün hayatta kalabileceği geniş “ölü bölgeler” oluştururlar. Azotun bir kısmı da gaz haline gelerek amonyak oluşumu neticesinde sucul ortamlarında asidik şartların hakim olmasına ve ozon tabakasının incilmesi gibi sorunlara neden olabilmektedir.

Doğal yaşam alanlarının kasıtlı olarak yok edilmesi de biyolojik çeşitlilik kaybının önemli bir itici gücüdür. Örneğin çiftlik hayvanlarının çok fazla yemesi gerektiğinden, yemi yetiştiriciliği için çok fazla tarım alanına ihtiyaç bulunmaktadır. Aslında, dünyadaki ekin alanlarının yaklaşık olarak üçte biri hayvan yemi üreticiliği için planlanmış durumdadır. 1980 ve 2000 yılları arasında, gelişmekte olan dünyada yeni tarım arazileri için Birleşik Krallığın 25 katından daha büyük bir alan yaratıldı. Bunun %10'dan fazlası mevcut tropik ormanların özelliklerine sahiptir.

Ulaşım sektörü önemli miktarda sera gazı emisyonu üretmektedir. Dünya genelinde toplam hava kirliliği emisyonlarının %14,5'i küresel taşımacılık sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar, iklim değişikliğini yoğunlaştırmakta ve belirli habitatların yaşam alanlarını ciddi anlamda sınırlandırmaktadır. İklim değişikliği zararlıların ve hastalıkların yayılmasını teşvik ederek, ısı stresine maruz kalmayı artırarak ve yağışları değiştirerek bitki büyümesini ve üretimini etkileyebilir. Etken olan faktörlerin tamamı ise daha güçlü rüzgarlar nedeniyle toprak erozyonunu teşvik etmektedir.

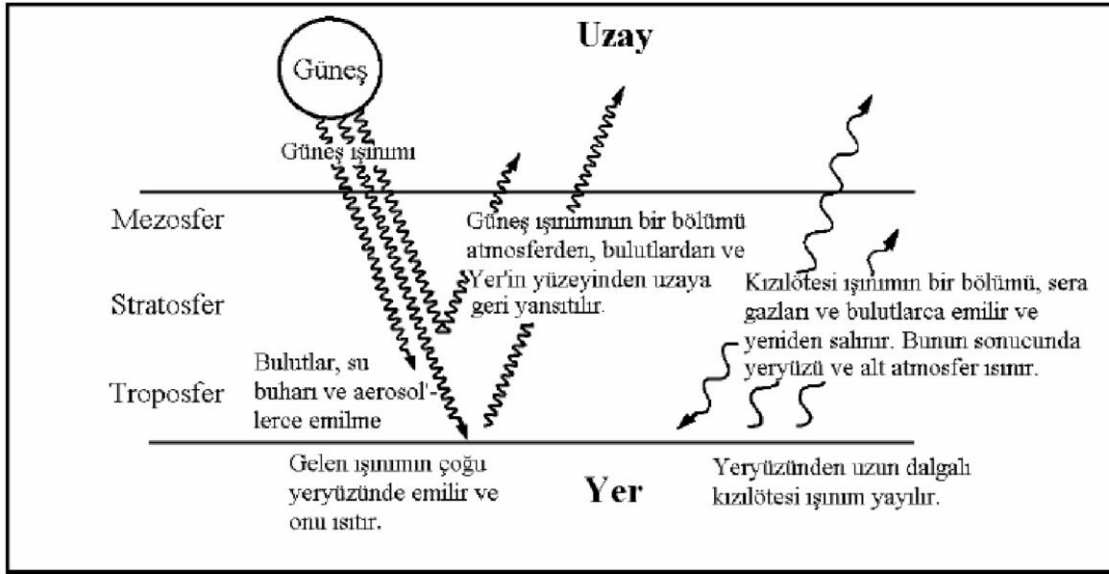
Küresel değişimin mevcut ve gelecekteki bir çevresel risk tehdidi olabileceği düşünülmektedir. Son yıllardaki değişiklikler, ekolojik organizasyonun tüm seviyelerinde belirgin bir şekilde hissedilmekte olup, bu değişiklikler genel olarak nüfus ve yaşam tarihi

değişiklikleri, coğrafi aralıktaki değişiklikler, toplulukların tür bileşimindeki değişiklikler ve ekosistemlerin yapısındaki ve işleyişindeki değişiklikler olarak gözlenmektedir. Bu ekolojik etkiler yakın geçmişteki olaylarla ilişkilendirilebilir. Popülasyonun azalmasına ve türlerin hem yerel hem de küresel olarak yok olmasına neden olur. İklim değişikliği ekolojik etkilerin temel nedenidir (Uzunçakmak, 2014).

1.2. Sera Gazı Emisyonları ve Özellikleri

“Eser gazlar” olarak da tanımlanan ve atmosferin sera etkisinin oluşmasına neden olan gazlara “sera gazları” denilmektedir. Sera gazlarının %0,1'i atmosferde bulunur, Ortalama atmosferik sıcaklığı -18°C 'den 15°C 'ye yükselterek dünyayı daha iyi duruma getirmiştir. Ancak bu gazların atmosferdeki değeri stabil değildir. Örneğin 3 milyar yıl önce güneşin ışıma gücü %75'ten azdı. CO_2 (karbon dioksit) ve H_2O (su buharı) gibi sera gazlardaki artış, dünyayı bir ateş küresine çevirdi ve bazı araştırmalara göre ortalama sıcaklık 70°C 'ye ulaşmaktadır (Uzunçakmak, 2014). Sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, bilim adamlarının havadaki karbondioksit olduğuna inandıkları şeyden kaynaklanmaktadır. Artan CO_2 oranından sorumlu olan ana faktör fosildir. Bunun yanında akıt yanması ve insan faaliyetleri de etkindir. Sanayi Devrimi'nden önce bitkiler Organik maddenin solunum ve yapısal değişiklikleri nedeniyle oluşan karbondioksit İnsan faaliyeti 10 kat daha fazla karbondioksit üretir. Karbondioksit üretimi, bitki fotosentezi ve okyanusun karbondioksit depolama kapasitesindeki denge yüzyıllardır korunmuştur; Sanayi Devrimi sonrasında bu denge değişmeye başladı karbondioksit miktarında ciddi bir artıştır (Pekin, 2006).

Diğer sera gazları ise insan faaliyetinin sonucu doğal olarak oluşan sera gazlarıdır. Bunlardan bazıları; su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), ozon (O_3), metan (CH_4) ve azot oksit Azot oksit (N_2O). İnsan faaliyetleri sonucunda tamamen açığa çıkan sera gazları; Halojenli hidrokarbonlar olarak da bilinen kloroflorokarbonlar (CFC'ler), Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC'ler) ve kükürt, saf bir florür Heksaflorür (SF_6) gibi gazlardır (IPCC, 1996).



Şekil 1.1. Sera Etkisi (Türkeş vd., 2000)

Hava kirliliği gazları olarak da bilinen bu gazların yanı sıra doğrudan küresel Isınmaya neden olmaz, ancak troposferik ve stratosferik ozon tabakalarını dolaylı olarak etkiler Sera gazı gibi davranan gazlara sera gazları denir. Bu gazlar; Karbon monoksit (CO), nitrojen oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), metan olmayan Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) ve Troposferik (Toprak) Ozon Gazı (O₃) (Uzunçakmak, 2014).

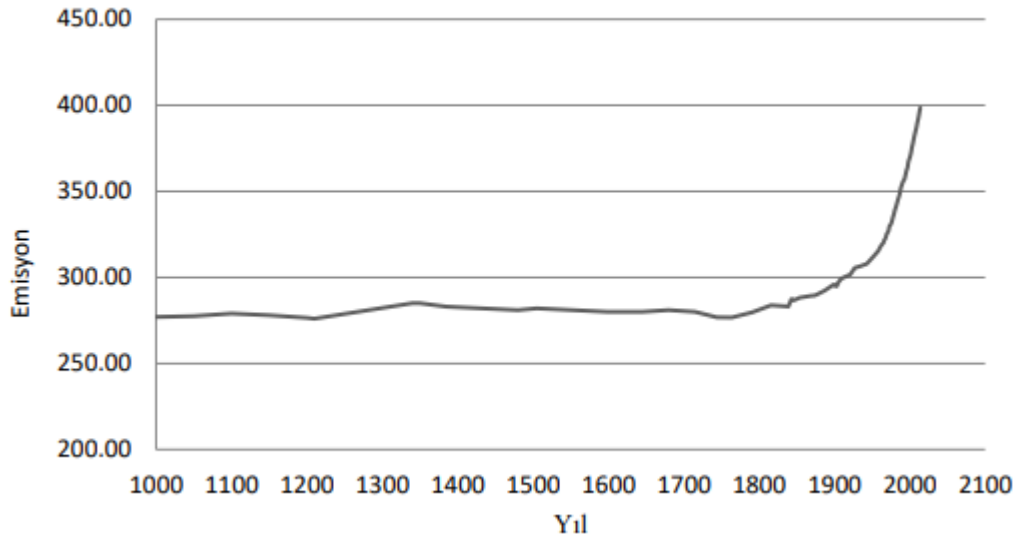
Hava kirliliği gazları olarak da bilinen bu gazların yanı sıra doğrudan küresel Isınmaya neden olmaz, ancak troposferik ve stratosferik ozon tabakalarını dolaylı olarak etkiler Sera gazı gibi davranan gazlara sera gazları denir. Bu gazlar; Karbon monoksit (CO), nitrojen oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), metan olmayan Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) ve Troposferik (Toprak) Ozon Gazı (O₃) (Uzunçakmak, 2014).

1.2.1. Karbondioksit (CO₂)

Karbon doğada dolaşır ve bu döngüde atmosfer, okyanus, kara ve deniz yaşamı mineral rezervlerinde oluşur. En büyük iki döngü atmosfer ve bitki örtüsü arasındadır, diğeri ise atmosfer ve okyanus arasındadır. Atmosferdeki ana oksitlenmiş karbon formu olan CO₂ (EPA, 2002) şeklinde gelir. Normal şartlar altında ekosistem karbon dengesi kendi mekanizması vardır. Ancak fosil yakıtların enerji olarak kullanılması, üretim, ulaşım, arazi, pirincin yeniden kullanımı, çeltik ekimi, gübreleme ve hayvancılık gibi faaliyetleri atmosferdeki diğer sera gazları gibi karbon dengesi de değişime uğramıştır (DPT, 2000).

Karbondioksit şeffaf, kokusuz bir gazdır ve başlıca sera gazlarından biridir ve güçlü gazdır. Atmosferin %0.035'ini oluşturur. Karbondioksitin sera etkisi küresel ısınmada payı da çok yüksektir. Kısaca karbondioksit Dünyanın ısınmasında önemli bir rol oynar. Karbondioksitin sera etkisi, ısı Güneş ışınlarını kaynak olarak emer ancak içerideki ısıyı geri vermez. Karbondioksit Dünya'yı çevreleyip, Dünyanın Isı Dönüşümünü yakalıyor uzaya kaçmasını engelleyip, Dünyanın ortalama sıcaklığı $+15^{\circ}\text{C}$ olmasını sağlıyor (Uzunçakmak, 2014).

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu, dünya ekonomik olarak büyümesi için kritik öneme sahiptir. Karbon bazlı fosil yakıtlara bağımlılık Sanayi Devrimi'nden sonra hızla artmaya başladı. Küresel atmosferik karbondioksitin endüstriyel öncesi konsantrasyonları Sanayi öncesi dönemde değeri 280 ppm civarındayken, 1900 yılına gelindiğinde seviye korunmuştur (IPCC, 2007).



Şekil 1.2. 1000-2014 Yılları Arasında Atmosferik Karbondioksit Konsantrasyonu (EPI, 2018)

Ancak Şekil 1.2 'de görüldüğü üzere, gezegenin atmosferik karbondioksit konsantrasyonu sanayi devrimi öncesi değerlerine bakıldığında yaklaşık %30 oranından daha fazla bir karbondioksit sınırına ulaşmıştır (EPI,2018). Bakıldığında konsantrasyondaki ilk 50 ppm'lik artış 200 yıllık zaman sürecinde 1770 yılına kadar oluşmuştur, sonraki 50 ppm'lik artış ise 30 yıllık bir zaman sürecinde oluşmuştur. 1995-

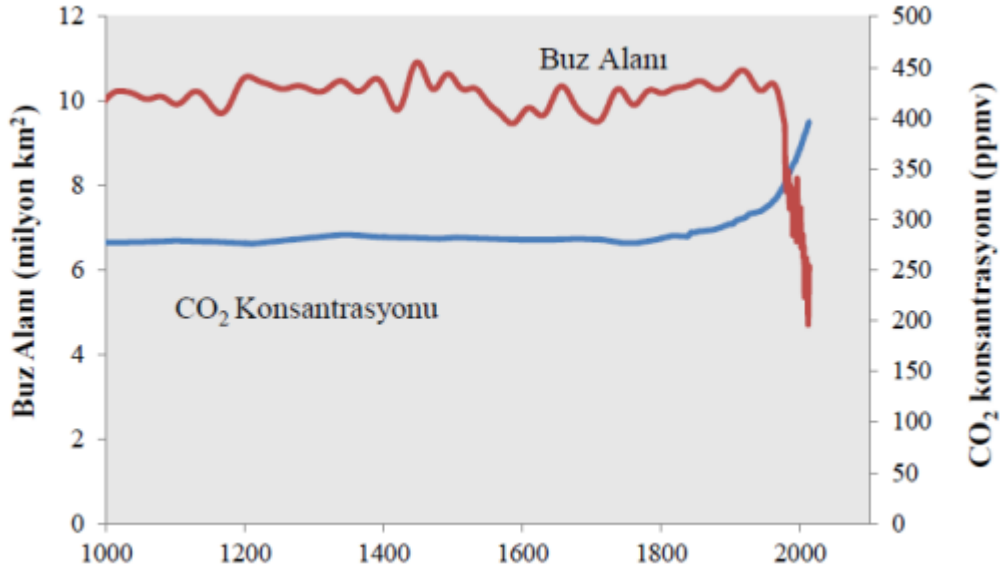
2005 yılları arasındaki 10 yıllık zaman diliminde ise CO₂ konsantrasyonu 19 ppm'lik artış görmüştür (IPCC, 2007). Bu artışların son 20 yıllık ortalamasının ise 1,5 ppm/yıl olduğu bildirilmektedir (NRC, 2001).

1.2.2. Metan (CH₄)

Metan, atmosferimizin %0.00018'ini oluşturur ve küresel ısınmanın en büyük nedenidir ve ikinci en önemli gazdır. Dünyanın sera etkisindeki en az karbondioksit miktarı Metan tehlikeli olmasına rağmen birçok yerde doğal olarak bulunur (Uzunçakmak, 2014). Sera etkisinin yaklaşık %14'ünden sorumlu olan metan öncelikle biyolojiktir. Doğalgaz, organik maddelerin anaerobik (oksijensiz ortam) koşullarda ayrıştırılması sonucunda ve ayrıca petrol ve kömür gibi fosil yakıtların topraktan çıkarılması gibi faaliyetler sonucunda açığa çıkarak atmosfere karışmaktadır. Bu faaliyetlere ek olarak; pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, bataklıklar, çöplükler, doğal gaz boru hattı bağlantıları ve endüstriyel süreçlerin yan ürünleri gibi tarım alanları başlıca metan gazı kaynaklarıdır (IPCC, 2007).

2005 yılında Buzulda yapılan ölçümlere göre atmosferdeki metan gazı miktarı, son 65.000 yılın en yüksek değerine ulaşmıştır. Atmosferik metan yoğunluk, sanayi sisteminin gelişmesinden bu yana %150 artmıştır (IPCC, 2007).

Şekil 1.3' te bakıldığı üzere; CO₂ konsantrasyonunun artışı buzulların erimesi demektir. CO₂ konsantrasyonları arttıkça yerküre ısınmakta, bundan dolayı buzullar erimekte ve bu buzullar eridikçe Metan gazı konsantrasyonunda da artış oluşmaktadır.



Şekil 1.3. 1000-2013 Yılları Arası Kutup Denizi Buz Alanı ve Atmosferik Karbondioksit Konsantrasyonu (Uzunçakmak, 2014).

1.2.3. Diazot Monoksit (N₂O)

Azot ve oksijenin 250°C sıcaklıkta kimyasal reaksiyona girmesinden sonra ortaya çıkan azot oksitler içinde en önemlisi olan diazot monoksittir. Hava kürede çok az bulunan bir gaz olan diazot monoksitin sera etkisinin yaklaşık %8 civarında olduğu tahmin edilmektedir (EPA, 2014).

Diazot monoksitin insan aktiviteleri sonucunda meydana gelmesindeki büyük bir kısmı, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanım alanlar, özellikle ulaşımda kullanılan fosil yakıtların yakılması, nitrik asit üretimi, atık suların arıtımı, atıkların yakılması ve biokütlelerin yakılması oluşturmaktadır (Çevirgen, 2009). Karbondioksitin atmosferde kalma süresi 100 yıl iken N₂O'nin kalma süresi 150 yıldır. Bu iki gazın sera etkisini kıyaslayacak olursak; N₂O gazı yaklaşık olarak karbondioksitin 300 katı sera etkisindedir (Uzunçakmak, 2014).

1.2.4. Su Buharı (H₂O)

Sera etkisinin meydana gelmesinin en büyük payı su buharına aittir. Okyanus buharlaşmasının etkisiyle atmosferdeki su buharı varlığı artarak sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır. IPCC, insan faaliyetlerinin su buharındaki artış üzerinde

hiçbir etkisinin olmadığını ve bu nedenle su buharının sera gazı olarak değerlendirilemeyeceğini iddia etmektedir. Dünyanın yansıttığı uzun dalgalı kızılötesi ışığı en iyi emen gazdır (Pekin, 2006). UNFCCC'ye göre bir sera gazı olarak sınıflandırılmamaktadır. Troposferdeki yoğunluk; küresel ısınma nedeniyle artan konsantrasyonların iklim değişikliğine yol açacağı düşünülmektedir. Bu durum, su buharının yoğunluğunun artmasına neden olmakta ve hava buharlaşma oranını artırarak atmosfere daha fazla su buharı salınmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, ısıtılan hava daha fazla su buharı emmekte ve daha fazla ısınmaya yol açmaktadır (Atabey, 2013).

1.2.5. Ozon (O₃)

Ozon, yüksek enerjili ultraviyole ışığa maruz kalan oksijen moleküllerinin parçalanarak bir araya gelmesiyle oluşur. Bu gaz atmosferik sera etkisinin %7'sinden sorumludur; ayrıca, troposferik ve stratosferik ozon olarak bilinmektedir. Stratosferin yaklaşık 20-40 km yakınında yoğun olarak bulunur, güneşten gelen zararlı UV ışınlarının dünyaya ulaşmasını engeller ve troposferde çok düşük konsantrasyonlarda sera etkisine sahiptir. Ozon, dünyadan yansıyan uzun dalga boylu ışınların uzaya geçişini engellemektedir. Ancak ozonun moleküler yapısı hızla bozulduğundan, atmosfere klor ve brom içeren halokarbonların salınması nedeniyle stratosferdeki ozon miktarı azalır ve ozon tabakasının incelmeye başlamasına neden olur (Uzunçakmak, 2014).

1.2.6. Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit; karbonlu yakıtların eksik yanması sonucu oluşan ve atmosferdeki bir dizi reaksiyon sonucu karbondioksit şeklinde oluşan bir gazdır. Atmosferdeki CO konsantrasyonu geçici olup bölgeden bölgeye değişiklik gösterirken, neden olduğu CO₂'nin atmosferde kalma süresi oldukça uzundur. CO, CH₄ ve troposferik ozonun diğer atmosferik elementlerle kimyasal reaksiyonuna katkıda bulunduğunda, dolaylı olarak CH₄ ve troposferik ozonun konsantrasyonunun artmasına neden olur. Bu nedenle CO dolaylı olarak sera etkisine neden olmaktadır (Çevirgen, 2009).

Karbon monoksit atmosfere salındığında, iklim değişikliği ve küresel ısınma ile bağlantılı olan sera gazı miktarını etkilemektedir. Bu, kara ve deniz sıcaklığının ekosistemlere

dönüşmesi, fırtına aktivitesinin artması ve diğer aşırı hava olaylarına neden olması anlamına gelmektedir.

Karbon monoksit, kömür, petrol, doğal gaz ve odun dahil olmak üzere karbon bazlı yakıtlar yakıldığında oluşmaktadır. Sonuç olarak, otomobillerde, kamyonlarda, uçaklarda, gemilerde ve diğer araçlardaki içten yanmalı motorlar dahil olmak üzere birçok insan faaliyeti ve buluşu karbon monoksit yaymaktadır. Ormanları veya tarlaları temizlemek için çiftçiler tarafından yakılan ateşler ve fosil yakıtların yanmasını içeren endüstriyel süreçler CO oluşumunu sağlamaktadır. Ayrıca, orman yangınları ve volkanlar gazın doğal kaynakları arasında yer almaktadır.

1.2.7. Azot Oksitler (NO_x)

Atmosferdeki azot oksit oranının 200 yıl öncesine göre yüzde 15 daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri; azotlu gübrelerin tarımda kullanılması, bitki örtüsünün yanması ve sanayi sektöründen kaynaklanan emisyonların artmasıdır. NO ve NO₂ gibi nitrojen oksitlerin iklim değişikliği üzerindeki etkisi doğrudan değildir. Atmosferik NO_x konsantrasyonları geçicidir ve zamansal olarak değişkendir (EPA, 2002).

NO_x parçalanması, hidroksil (OH) artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle metan gibi sera gazlarının yaşam sürelerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Fosil yakıt yakma, biyokütle yakma ve topraktaki emisyon NO_x kaynakları arasında yer almaktadır. NO_x ayrıca yıldırım, amonyak oksidasyonu ve uçak yoluyla doğrudan troposfere yayılmaktadır. NO_x gazlarının ana kaynağı atmosferdeki oksidasyondur. Ancak topraktan kaynaklanan önemli miktarlarda NO_x, troposfere kaçmadan önce ağaç gölgesinde kullanılabilir. Atmosferdeki NO_x için başka bir yol da karada kuru birikimdir, bu tür bir birikim daha sonra doğrudan sera gazı nitröz oksit (N₂O) emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

1.2.8. Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)

NMVOC gazlarını içeren bileşikler propan, bütan ve etan gibi bileşiklerdir. Bu bileşiklerin azot oksitlerle (NO_x) beraber troposferik ozon ve diğer fotokimyasal oksitleyicilerin oluşumuna katılırlar. NMVOC emisyonları temel olarak taşıma, taşıma

yolları, endüstriyel işlemler, biyokütlenin yanması ve organik çözücülerin tüketiminden kaynaklanır. Atmosferdeki NMVOC konsantrasyonu uzayda sürekli olarak değişir. Gazın ömrü çok kısadır. Benzen ve 1,3 bütadien gibi belirli türler insan sağlığına doğrudan zararlıdır. Toplam NMVOC emisyonlarının ölçülmesi, en tehlikeli NMVOC'lerin emisyonlarının bir göstergesini sağlamaktadır (Bıyık, 2018).

Metan olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC'ler), kimyasal bileşimlerinde büyük farklılıklar gösteren ancak atmosferde benzer davranışlar sergileyen bir organik bileşikler topluluğu olarak kabul edilmektedir. NMVOC'ler, yanma faaliyetleri, solvent kullanımı ve üretim süreçleri dahil olmak üzere çok sayıda kaynaktan atmosfere salınmaktadır. Biyojenik NMVOC, türlere ve sıcaklığa bağlı miktarlarda bitki örtüsü tarafından yayılmaktadır. NMVOC'ler yer seviyesinde (troposferik) ozon oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

1.3. İklim Değişikliğinin Hukuki Çerçevesi

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) Küresel İklim Araştırma ve İzleme Projesi Dahilinde elde edilen bilimsel sonuçlarla, 1970'li yılların başlarında insanların çevre üzerindeki etkisi küresel iklimin bozulduğunu göstermiş ve WHO 'nun önderliğinde 1979 yılında İlk Dünya İklim Konferansı yapılmıştır. (Kabacıoğlu, 2012). Küresel iklimin korunması hedefi ile ilk önemli adımın atıldığı bu konferansta, konunun ne kadar önemi arz ettiğini ilk defa dünya ülkelerine sunulmuştur. Bu konferansta fosil yakıtların enerji amaçlı kullanımı ve ormansızlaşmanın devam etmesi durumunda atmosferdeki CO₂ birikiminin önemli ölçüde artabileceğine ve bu artışın sonucunda büyük ve uzun vadeli iklim değişikliklerinin meydana gelebileceğine dikkat çekildi. (Yamanoğlu, 2006).

1.3.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

Küresel ısınmanın gelecekte çok ciddi sonuçları olacaktır. Bu ısınmanın büyük ölçüde insan faaliyetlerinin sonucu olduğunu bilen hükümetler, harekete geçmek ve adım atmak zorunda hissediyorlar. Bu durumun bir sonucu olarak Birleşmiş Milletler himayesinde uluslararası müzakereler başlamış ve 1992 yılında Rio zirvesinde önemli bir adım atılmıştır (Yanarocak, 2007).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Rio Konferansı'nın önemli çıktılarından biri olup bu, soruna küresel bir yanıt için zemin hazırlamaya yönelik önemli bir başlangıç olmuştur. Şubat 1994'e kadar 50'den fazla ülke, 21 Mart 1994'te Birleşmiş Milletler'e (BM) onay veya kabul belgeleri sunarak UNFCCC'ye taraf oldu. Türkiye ise Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf olmuştur (Uzunçakmak, 2014). Bugün, 196 ülkeyi kapsayan bu sözleşme, uluslararası çevre alanı ile ilgili anlaşmalar arasından çok yüksek sayıda evrensel uyumu sağlamıştır (Çetinsoy, 2010).

Sözleşmedeki amaç; sera gazlarının atmosferde birikmesini durdurmak ve iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan etkilerini önlemektir (ÇŞB, 2018a). Bu amaç; 'Ekosistemlerin iklim değişikliğine doğal bir şekilde uyum sağlaması, gıda üretimini tehdit etmemesi ve ekonomilerin sürdürülebilir bir şekilde devam edebilmesi için bu tür seviyelere zaman içinde ulaşılmalıdır.' Sözü ile nitelendirilmektedir (ÇŞB, 2018a).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi; çerçeve sözleşmeler olarak genel kural, ilke ve yükümlülükleri tanımlanmaktadır (ÇŞB, 2018a). Sözleşme kapsamında tarafların uyması gereken ortak görevler; ulusal sera gazı emisyon envanterlerinin düzenli olarak derlenmesi, iklim değişikliğine uyum ve iklim değişikliği etkilerinin azaltılması, teknoloji transferi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir yönetim, uyum, Emisyon azalımı, bilim, eğitim, araştırma ve ulaşım gibi alanlarda iş birliğine ilişkin bilgilerin hazırlanması şeklindedir.

1.3.2.Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

Birleşmiş Milletlerin iki örgütü olan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nın ortak çabalarıyla 1988 yılında Kanada'nın Toronto kentinde yapılan Değişen Atmosfer Konferansı sonucunda IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) kurulmuştur. İnsan hayatının sebep olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere faaliyete başlayan Panel, uluslararası çapta faaliyetlerini sürdürmektedir (Atabey,2013).

IPCC'nin yayımladığı raporlar başlıca 4 ana gruptan oluşmaktadır.

1- Değerlendirme Raporları (Assessment Reports)

2- Özel Raporlar (Special Reports)

3- Yöntem Metotları (Methodology Reports)

4- BM dışı dillere çeviriler (Translations in non-UN languages)

IPCC kendi bilimsel araştırma çalışmak yerine daha önce yapılan çalışmaları bulup bu bilimsel çalışmaları geniş kapsamlı literatür çalışması yaparak kolay ve anlaşılır hale getirerek karar vericiler ve kamoyuna sunmaktadır (Gündoğan, 2016).

1.3.3. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü 11 Aralık 1997'de kabul edilmiştir. 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. Hali hazırda Kyoto Protokolüne 192 Taraf ülke bulunmaktadır. Kyoto Protokolü BMİDÇS'ni, sanayileşmiş ülkeleri ve ekonomileri, kararlaştırılan bireysel hedeflere uygun olarak sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve azaltmak için taahhüt ederek faaliyete geçmesini sağlamaktadır. Sözleşmenin kendisi, yalnızca bu ülkelerden politika ve önlemler almalarını ve periyodik olarak rapor vermelerini istemektedir Kyoto Protokolü, Sözleşmenin ilke ve hükümlerine dayanmaktadır. Yalnızca gelişmiş ülkeleri bağlayıcı nitelikte olup “ortak ancak farklılaştırılmış sorumluluk ve ilgili yetenekler” ilkesi çerçevesinde gelişmiş ülkelere daha ağır yükler getirmektedir. Çünkü atmosferdeki mevcut yüksek sera gazı emisyonlarından büyük ölçüde sorumlu olduklarını kabul etmektedir. İklim değişiklikleri ve küresel ısınma konularında mücadelenin sağlanmasını uluslararası çerçeve ise Kyoto Protokolü'dür. Kyoto Protokolü'ne taraf olan ülkeler tarafından karbon salınımlarının hesaplamaları ve azaltılması hususunda salınım kotaları bulunmaktadır. Protokolü tanıyan ülkeler kotaların aşılması amacıyla var olan karbon ayak izlerinin hesaplanması ve bu yönde ilgili envanteri hazırlanmaları gerekmektedir. Taraf olan ülkeler farklı hesaplama yöntemlerini kullanarak CO₂ miktarları hesaplayabilmektedir. Kyoto Protokolü Ek A listesinde altı tane sera gazı ve bunların emisyon kaynakları bulunmaktadır. Türkiye ve Beyaz Rusya hariç, Sözleşmenin tüm Ek I ülkeleri Protokolün Ek B listesinde yer almaktadır. Protokol, Ek B ülkeleri için belirli emisyon azaltım hedeflerini kapsamaktadır. Bu nedenle Ek B listesinde yer alan ülkelerin 2008 ile 2012 yılları arasında toplam sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerinin en az %5 altına indirmeleri gerekmektedir (Aşama 1). Çeşitli ülkelerin yaptırımları 2013-2020'de

(ikinci dönem) yeniden güncellenmiş ve 2020 yılında emisyonların 1990 yılına göre %18 oranında azaltılmasına karar verilmiştir (Türkeş vd., 2000). Türkiye 2009 yılında Kyoto Protokolüne taraf olmuştur. Türkiye, Protokolün kabul edildiği sırada Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olmadığından, Protokolün Ek I'deki yaptırım yükümlülüklerine sahip tarafları olan Ek B listesinde yer almamıştır. Bu koşullar nedeniyle Türkiye'nin 2008-2012 ve 2013-2020 dönemlerine ilişkin herhangi bir emisyon azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır.

Günümüzde, iki uluslararası anlaşmaya öncülük yapan iki tane uluslararası iklim politikası anlaşması mevcuttur. Bunlardan bir tanesi Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, ikincisi ise Kyoto Protokolü. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi; İklim değişikliği politikasının uzun vadeli bir hedef olması ve bu hedefe ulaşmak için gereken ilke ve prosedürler belirlenmiş olup, Kyoto Protokolü, sözleşmenin nihai amacına uygun belirli hedefler ve tedbirler belirleyerek iklimin korunmasının ilk adımını oluşturmaktadır (Karakaya, 2008).

1.4. Ulaşım Sektörünün Çevresel Etkileri

Ulaşım ve çevre konusu karmaşık ve bütünleyici kavramlardır. Çünkü ulaşım önemli sosyoekonomik faydalar sağlar, ancak aynı zamanda ulaşım çevre sistemlerini de etkilemektedir. Bir yandan ulaşım faaliyetleri, yolcu ve yük için artan hareketlilik taleplerini desteklerken, diğer yandan ulaşım faaliyetleri, olumsuz etkileri olabilecek çevresel etkilerle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, çevresel koşullar, inşaat ve bakım gibi işletme koşulları ve altyapı gereksinimleri ile ilgili olarak ulaşım sistemlerini etkilemektedir. Ulaşım ve çevre böylece geriye dönük etkileri olan bir sistem olarak algılanabilir.

Ulaştırma sektörü, küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %25'ini oluştururken, bu pay gelişmiş ekonomiler için yaklaşık %28'dir. Bu emisyonlara ek olarak, fosil yakıtların tedarik edilmesi, artırılması ve dağıtılması gibi ulaşım özgü çevresel etkiler ve taşıtlar ve terminaller ile ulaşım operasyonlarından yayılan gürültü vardır. Yolcu ve yük hareketliliğinin büyümesi, kirletici emisyon kaynağı olarak taşımacılığın rolünü genişletmektedir. Toplam emisyonlar, genellikle her bir taşıma türünün emisyon

faktörünün faaliyet seviyesinden bir fonksiyonudur, bu da çeşitli çevresel etkilere işaret etmektedir. Bu etkiler üç kategoriye ayrılır:

- Doğrudan etkiler; sebep-sonuç ilişkisinin genel olarak açık ve iyi anlaşıldığı durumlarda, ulaşım faaliyetlerinin çevre üzerindeki ani sonuçları. Örneğin, gürültü ve karbon monoksit emisyonlarının doğrudan zararlı etkileri olduğu bilinmektedir.
- Dolaylı etkiler; taşımacılık faaliyetlerinin çevresel sistemler üzerindeki ikincil (veya üçüncül) etkileri. Genellikle doğrudan etkilerden daha yüksek sonuçlara sahiptirler, ancak söz konusu ilişkiler genellikle yanlış anlaşılır ve kurulması daha zordur. Örneğin, içten yanmalı bir motorda çoğunlukla eksik yanmanın sonucu olan partiküller, diğer faktörlerin yanı sıra bu tür koşullara katkıda bulunduğundan dolaylı olarak solunum ve kardiyovasküler problemlerle bağlantılıdır.
- Kümülatif etkiler; taşımacılık faaliyetlerinin ek, çoğaltıcı veya sinerjik sonuçları. Doğrudan ve dolaylı etkilerin bir ekosistem üzerindeki genellikle öngörülemeyen çeşitli etkilerini dikkate alırlar. Karmaşık nedenleri ve sonuçları olan iklim değişikliği, ulaşımın rol oynadığı çeşitli doğal ve antropojenik faktörlerin kümülatif etkisidir.

Etkilerin karmaşıklığı, çevre politikası, ulaşımın rolü ve hafifletme stratejilerinde çok fazla tartışmaya yol açmaktadır. Çevresel ve ekonomik hususlar arasındaki önceliklerin zamanla değişmesi ve bunun da kamu politikası üzerinde etkisi olabileceği gerçeği, bu durumu daha da karmaşık hale getirmektedir. Ulaşım sektörü genellikle, çoğunlukla erişimden bağımsız olma eğiliminde olan yol altyapısının inşası ve bakımı yoluyla sübvansede edilmektedir. Bazen, ulaşım türleri, terminaller ve altyapıdaki kamu çıkarları çevresel sorunlarla çelişebilmektedir. Sahibi ve düzenleyici aynı ise (devletin farklı şubeleri), o zaman düzenlemelere etkili bir şekilde uyulmama riski bulunmaktadır.

Başta çevresel zararlar olmak üzere, ulaştırma faaliyetlerinden kaynaklanan toplam maliyetler, genellikle hizmet sağlayıcılar ve kullanıcılar tarafından tam olarak üstlenilmez. Gerçek ulaşım maliyetlerinin dikkate alınmaması, çeşitli çevresel sorunları açıklayabilmektedir. Ancak, karmaşık bir maliyet hiyerarşisi içeriden (çoğunlukla

operasyonlar), uyumdan (yönetmeliklere uymak), koşula (dökülme gibi bir olay riski) ve dış (toplum tarafından varsayılır) arasında değişen bir yelpazede yer almaktadır. Örneğin, dış maliyetler, ortalama olarak, tahmini otomobil sahibi olma ve işletme maliyetlerinin %30'undan fazlasını oluşturmaktadır. Çevresel maliyetler bu değerlendirmeye dahil edilmezse, arabanın kullanımı sübvansede edilmiş sayılabilir ve maliyetler çevre kirliliği olarak birikir. Araç sayısı, özellikle de otomobil sayısı sürekli arttığından, bu durum dikkate alınmalıdır. Ulaşım altyapıları hareketliliği desteklemek için sağlandığından, kamu sektörünün rolü bir muammayı temsil etmektedir. Yine de bu hüküm aynı zamanda nakliye de sübvansede eder ve bu nedenle ek çevresel etkilere neden olmaktadır.

1.5. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi; doğrudan ve dolaylı olarak bir kişinin, kurumun ya da herhangi bir ürünün ortaya çıkmasında, doğaya saldığı sera gazlarının genel toplamını ifade etmektedir. Sera gazları doğal ve insan kaynaklı olarak ortaya çıkabilmektedir (Özyonar ve Gökkuş, 2020).

Karbon ayak izi temel olarak herhangi bir kişi, kuruluş, olay veya ürün ve ürettiğı toplam sera gazı emisyonu miktarıdır. Sera gazları, atmosferdeki “sera etkisi” yaratan ve küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine katkıda bulunan gazlardır. Yani karbon ayak iziniz, yaşam tarzınızın çevresel etkisini ölçmenin bir yoludur. En basit ifadeyle örneğin, her gün işe arabayla giderseniz, karbon ayak iziniz, daha fazla sera gazı saldıığınız için toplu taşıma kullanan birinden daha büyük olabilmektedir.

Arazi alanındaki karbon ayak izini ölçmek, karbon ikileminin tek çözümünün karbon tutumu olduğu anlamına gelmez. Sadece işlenmemiş karbon atıklarımızla ilgilenmek ve atmosferde karbon birikmesini önlemek için ne kadar biyolojik kapasiteye ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Gerçekleştirilen işlem, iklim değişikliği sorununu, yükü bir doğal sistemden diğerine kaydırmakla kalmayıp bütünsel bir şekilde ele almamızı sağlamaktadır. Aslında iklim sorunu, gezegenin fosil yakıttan kaynaklanan tüm karbondioksiti nötralize edecek ve diğer tüm talepleri karşılayacak yeterli biyolojik kapasiteye sahip olmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede aynı zamanda iklim değişikliğini, bugün karşı karşıya olduğumuz tüm ekolojik tehditleri birleştiren daha geniş bir bağlamda göstermektedir. İklim değişikliği ormansızlaşma, aşırı otlatma,

balıkçılığın çökmesi, gıda güvensizliği ve türlerin hızla yok olması, hepsi tek bir kapsamlı sorunun parçasıdır. Bu sorun insan faaliyetlerinin dünyadan sağlayabileceğinden fazlasını talep etmektedir. Tek bir soruna odaklanarak, bir sorunu diğerinin pahasına çözmek yerine, tüm belirtilerinin ele alınması gerekmektedir. Ayrıca, kişisel çıkarları çok daha belirgin hale getirmektedir.

İklim değişikliğinin neden olduğu aşırı hava koşulları, hava kirliliği, azalan gıda üretimi, yükselen deniz seviyeleri ve salgın hastalıkların yayılması gibi küresel krizler, sürdürülebilir sosyo-ekonomik kalkınma sürecinde ülkeler için önemli sınavlar haline gelmiştir. İnsan faaliyetleri tarafından üretilen büyük miktarda karbon emisyonu bu süreçte en önemli faktördür (IPCC 2013).

Kapsamlı uluslararası iş birliği temelinde, birçok ülke karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemleri büyük bir ulusal strateji platformu olarak ele almaya karar vermiştir. Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için uygulanabilir ve bilimsel bir karbon emisyonu ölçüm yöntemini keşfetmek zorunluk halini almıştır.

Karbon ayak izi ölçümü, insan davranışlarının iklim değişikliği üzerindeki etkisini canlı bir şekilde ortaya koyuyor ve karbon emisyonlarını bilimsel olarak ölçmek için etkili bir araç sağlamaktadır. Karbon ayak izine dayalı kantitatif analiz, karbon emisyonlarının yoğunluk ve yoğunlaşma alanlarının araştırılmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda hedeflenen önlemlerin alınmasına ve bunların periyodik olarak denetlenmesine de temel oluşturmaktadır. Bu arada, farklı araştırma perspektiflerinin birleşik bir referans temeli olması için bilim adamları için farklı karbon tüketimi düzeylerini birleşik bir temayla ilişkilendirmeleri yararlı olmaktadır. Geniş karbon ayak izi ölçümleri geliştirirken, uluslararası ticaret de dahil edilmelidir. Artan uluslararası navlun ve daha az katı çevresel düzenlemelere ve daha yüksek karbon yoğunluğuna sahip ülkelerde daha fazla üretim ile, toplam karbon ayak izi, nakliye ve denizaşırı üretimden kaynaklanan emisyonları yansıtmalıdır.

Karbon emisyonlarını azaltma ve küresel sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etme sürecinde çeşitli alanlardaki paydaşlar tarafından birleştirilmiş hedeflerin ve eylemlerin benimsenmesine yardımcı olması karbon ayak izinin avantajları olarak sıralanabilir. Ekolojik ayak izi kavramı ortaya atıldığından beri insan sosyo-ekonomik sistemlerinin

taşıma kapasitesi ve sürdürülebilirlik mekanizmaları dikkat çekmeye başlamıştır. Karbon ayak izi, en önemli kavramsal uzantılarından birisi halini almıştır. Birçok bilim insanı karbon ayak izinin kapsamını kendi araştırma bakış açılarına göre tanımlamış olsa da henüz daha birleşik bir karbon ayak izi tanımı oluşturulmamıştır. Karbon emisyonlarının anlamından farklı olarak, karbon ayak izi, tüketici sorumluluğu perspektifinden (ürünlerin) tüm yaşam döngüsü boyunca karbon emisyonlarına odaklanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu yönden bakış açısı, “ayak izi” kelimesinin metaforik ifadesine de yansımıştır. “Karbon ayak izi” araştırmasının, iklim değişikliğinin makro bağlamında genelleştirilmiş bir araştırma paradigmasına doğru ilerlediği tam olarak bu metaforik ifadeye dayanmaktadır. Karbon ayak izi araştırma içeriği açısından, ilk tartışma esas olarak sera gazı emisyonlarının tanımını, anlamını, varlığını ve tanıtılmasını ve hatta kamu refahı propagandasının amacını içermektedir. Araştırmaların derinleşmesiyle birlikte, korelasyon ölçüm yöntemleri ve araçları bilim adamlarının odak noktası haline gelmiştir. Karbon ayak izinin özel uygulaması ve uygulaması mevcut araştırmaların odak noktasıdır. Araştırma kapsamı ve hedef konuları, araştırma içeriğine benzer geniş bir araştırma izini takip etmekteydi. Bireylerin ve ailelerin karbon ayak izine dayalı tartışmalar, toplumsal ilgiyi uyandırmaya ve sürekli tartışmaları kolaylaştırmaya yardımcı olabilmektedir. Bu durum şüphesiz bir başlangıç için ideal bir yoldur. Yaşam döngüsü analizine ve girdi-çıkıtlı analizine dayalı araştırma yöntemlerinin sürekli zenginleşmesiyle birlikte, karbon emisyonları üzerindeki karbon ayak izinin etkin ölçümü işletmelere, organizasyonlara veya endüstrilere uygulanmaya başlamıştır. Çevre sorunlarının dışsallıklarına verilen yoğun ilgi nedeniyle, karbon ayak izi tartışması giderek ulusal/bölgesel iş birliği düzeyine yükselmiştir. Karbon ayak izi araştırması nispeten olgun ve tamamlanmış olmasına rağmen, hala ayrıntılı literatür incelemesi ve sistematik özet eksikliği bulunmaktadır.

1.5.1. Türkiye’de ve Dünyada Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi, dünya genelinde ve Türkiye’de toplam ayak izinin en büyük paya sahip ve en hızlı büyüyen olup, hesaplamada kullanılan tek atıktır (atmosfere salınan sera gazlarından dolayı atık kabul edilmektedir). Değerlendirme, arazi tipine göre sınıflandırılan diğer ayak izlerinden farklı bir yerde incelenmesini gerektirmektedir. Ana faktör olan fosil yakıtların kullanılması dışında, doğal ekosistemlerin bozulması

nedeniyle atmosfere salınan sera gazları, kısacası karbon emisyonları ekosistemlerin depolayabileceğinden çok daha fazladır. Atmosferdeki en önemli sera gazlarından biri olan karbondioksit, tarihin en büyük çevre sorunlarından biri olan iklim değişikliğinin yanı sıra okyanus asitlenmesi gibi diğer ekolojik sorunlara da neden olmaktadır.

Günümüzde atmosfere salınan sera gazı miktarını ekosistemlerin ve ekonomilerin dengesini bozmadan korumak mümkün değildir. Türkiye, 1990 seviyelerine göre karbon emisyonunda en yüksek artışa sahip ülkedir. Karbon ayak izi, ayak izi hesaplamasında en yüksek emilimi sağlayan arazi türü olan orman alanı esas alınarak hesaplanmaktadır. Karbon ayak izi, küresel olarak toplam ayak izinin en büyük bileşeni ve Türkiye'nin ayak izinin en önemli parçasıdır. Karbon ayak izi, Türkiye'de tüketilen toplam ekolojik ayak izinin (kişi başı 1,24-1,36 kha) %46-49'unu oluşturmaktadır. Ülkenin CO₂ emisyonlarının yaklaşık %21'i ürünlerden, %19'u kişisel ulaşımdan ve %17'si gıda tüketiminden kaynaklanmaktadır. Kişisel ayak izinin yanı sıra sermaye birikimi de toplam karbon ayak izinin %20'sini oluşturan büyük bir paya sahiptir. Dünyanın karasal karbon depolama kapasitesinin tamamının biyokapasite hesaplamalarına dahil edilmemesi, karbon ayak izi açığının gerçekte olduğundan daha yüksek olduğunu göstermektedir.

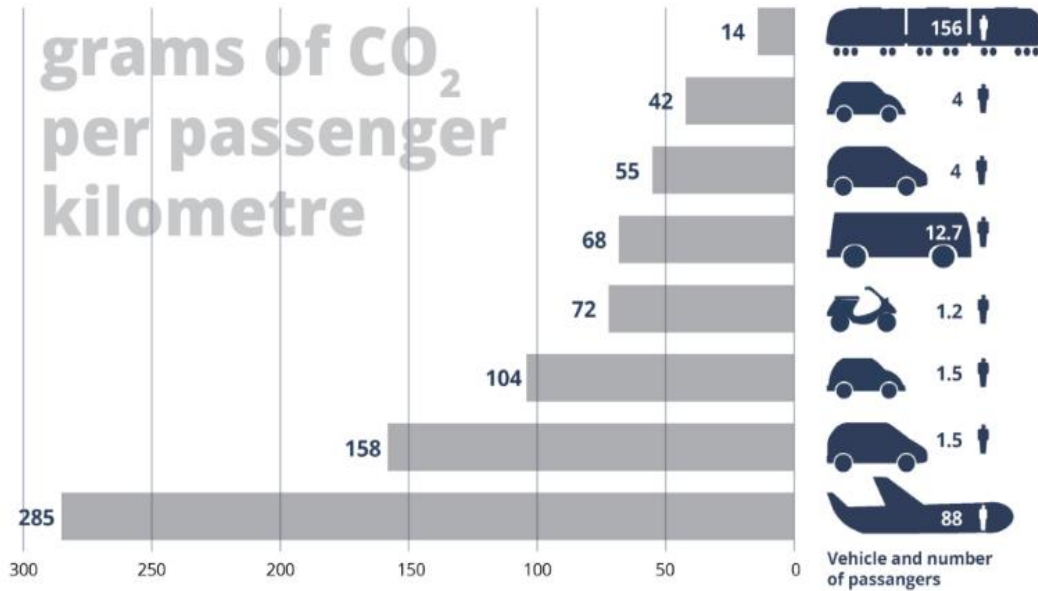
Karbon emisyonlarının bugüne kadarki en kapsamlı ve güncel hesaplaması, ABD, Çin, İngiltere, Norveç, İsveç ve Japonya, Duyurulan 2018'de rapor edilen dünyanın birçok ülkesinden bilim insanlarının ortak çalışması olan Küresel Kentsel Ayak İzi İzgara Modeli (GGMCF)'dir.

Dünya nüfusunun yarısı şehirlerde yaşarken, sadece 100 şehir dünyadaki karbon emisyonlarının %18'ini oluşturmaktadır. Dünyanın geri kalanı gibi, karbon ayak izi de Türkiye'nin ekolojik ayak izinin en büyük bileşeni durumundadır. Ana enerji kaynağı olarak doğal gaz ve ham petrol gibi fosil yakıtları kullanan Türkiye, bu kaynakları da ithal etmek durumundadır. Ayrıca enerji kullanımı ve üretiminde dışa bağımlılık, cari açığın en büyük etkenlerinden biridir. Doğrudan karbon ayak izimizi artıran bu faktörlere baktığımızda ülke olarak bu seviyeyi düşürmenin çok zor olduğu varsayılmaktadır. Hidro, güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltabilecek tek enerji kaynakları olabilmektedir. Türkiye ise bu kaynakların sadece bir kısmını kullanabilse de bu kaynakları üretme potansiyeline sahiptir (Özmen, 2009).

1.5.2. Ulaşımdan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi

Ulaşım sektörü, ekonomik büyümenin kilit bileşenlerinden biridir ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde artan taşımacılık talebini karşılamak için hızla büyümektedir. Bu durum birçok ülkede artan enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları açısından sorunlara yol açmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım ikinci en büyük karbon kaynağıdır. Ulaşım sektörü en yüksek emisyonu sahip sektördür. Bu emisyonlardan karayolu trafiği sorumludur. 1990 ve 2015 yıllarında OECD ülkelerinde ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını karşılaştırıldığında son 15 yılda tüm OECD ülkeleri ulaşım emisyonları değerlerinde sürekli bir artış göstermektedir.

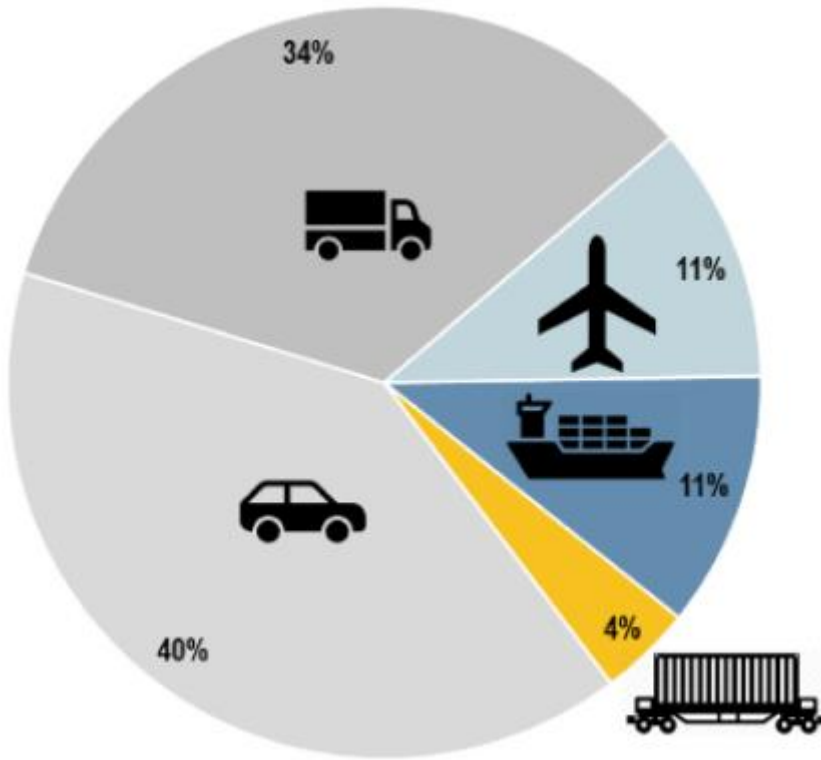
EEA'nın verilerine göre ülkemizin de içinde olduğu, yolcu ulaşımının karbon ayak izi, ulaşım araçlarına göre aşağıdaki gibidir:



Şekil 1.4. Yolcu Kapasitesi ve Kişi Başı Karbon Ayak İzleri (EEA, 2020)

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, COVID-19 krizi sırasında yer değiştirmenin (yani hareketliliğin) kesintiye uğraması, 2020'de küresel petrol talebini %57 azaltmıştır. Bu, benzeri görülmemiş bir düşüş seviyesi olarak tespit edilmiştir. Küresel sera gazı emisyonlarının beşte biri ulaşım sektöründen meydana gelmektedir. Tek başına ulaşım emisyonları, enerji sektörü emisyonlarının %24'ünü oluşturmaktadır. Bu istatistik, 2008

ile 2017 yılları arasında Türkiye'nin ulaşım sektöründe benzin kullanımından kaynaklanan yıllık sera gazı emisyonlarındaki değişimi göstermektedir. Sonuç olarak, Türkiye'nin ulaşım sektöründe benzin kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonları 2017 yılında yaklaşık 84,66 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Küresel sektörün neden olduğu kirliliğin en büyük payı yolcu taşımacılığı olarak saptanmıştır. 2018 rakamlarına göre ulaşım sektörü emisyonlarının yarısından fazlasından yolcu taşımacılığı alanında görülmektedir (Karakaş, 2021).



Şekil 1.5. Ulaşım Sektörü CO₂ Emisyonları

IPCC verilerine göre, dünya nüfusunun yalnızca yüzde 10'u tüm seyahatlerin yüzde 80'ini motorlu taşıtlarla gerçekleştirmektedir. Başka bir deyişle, nüfusun büyük çoğunluğu fiilen yer değiştir-e-memiştir. Ülkelerde kişi başına düşen GSMH'deki artışlar ile ulaşım emisyonlarındaki artışlar arasında doğrudan bir ilişki olduğu anlamını taşımaktadır. Öte yandan, trafik kirliliğinin %74'ü fosil yakıtlara dayalı yük ve karayolu kullanan yolcu trafiğinden kaynaklanmaktadır. Egzozlu araçlar hava kirliliğine, sera gazı etkisine, gürültü kirliliğine, elektromanyetik kirliliğe neden olacaktır. Bu kirlilikler nedeniyle insan ve hayvanların sağlık durumları kötüleşmektedir. Trafikte sıkışan otomobiller,

normal trafik koşullarına göre 2,5 kat daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Aynı zamanda, klimalı otomobiller, klimasız otomobillere göre %7 ila %20 daha fazla karbon emisyonu üretmektedir (Karakaş, 2021).

1.5.3. Karayolu Ulaşımdan Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Karbon emisyonları hakkında mevcut bilgiler yetersiz ve yanıltıcı olmaktadır. Akaryakıt satışları toplam ölçü vermektedir, ancak ayrıntı vermemektedir. Araçların kullanımı sonrası kilometre başına oluşan emisyon, yakıt ve CO₂ hakkında çok az bağımsız bilgi bulunmaktadır. Küresel taşımacılığın etkileri hakkında araştırmaların net olmadığı görülmektedir.

Karayolu ulaşım teknolojisinin gelişmesi ve ulaşımın hızla yaygınlaşmasıyla karayolu ağı ve karayolu sektörü yük taşımacılığının baskın modu haline gelmiştir. Karayolundaki araç sayısındaki artış, karayoluyla taşınan eşya hacmi ve taşıtlar karayolu taşımacılığının sektör için büyük payı oluşturan unsurlar arasında yer almaktadır.

Karayolu ulaşım faaliyetlerinin meydana getirdiği çevresel etkileri konusunda endişeler artmaktadır. Araç emisyon standartlarının sıkılaştırılması nitrojen oksitler, hidrokarbonlar, karbon monoksit ve partikül madde gibi zehirli gazların egzoz emisyonlarını azaltıyor olsa da karbondioksitteki (CO₂ artış devam etmektedir. Ulusal hükümetler ve AB, tüm bu emisyonları azaltmak için hedefler belirlemektedir. Yük taşımacılığının dış maliyetlerini azaltmak için politika önlemleri geliştirmektedir. Bu politika önlemlerinin net etkisini değerlendirmek için, faaliyet eğilimlerinin ne olacağını belirlemek gerekmektedir. Karbon ayak izi, bireylerin tüketim ve yaşam tarzı kalıplarıyla karmaşık bir şekilde ilişkilidir. Ulaşım sektörü, yaşam tarzını önemli ölçüde etkileyen ve şehir emisyonlarına en büyük katkıyı sağlayan ana sektörlerden biridir. Karbon ayak izi, insanların sayısı ile kişi başına düşen ortalama ayak izi arasındaki ilişkinin net bir resmini göstermektedir. Ulaşım kullanımından kaynaklanan kişi başına düşen ayak izinin gelirle birlikte arttığını açıkça göstermektedir. Karbon ayak izi terimi nispeten yeni bir kavramdır ve genellikle herhangi bir antropojenik faaliyetle ilişkili toplam sera gazı emisyonları olarak tanımlanabilmektedir. Bununla birlikte, çoğu durumda, basit olması için, karbon ayak izini ölçerken yalnızca karbon dioksit emisyonlarını dikkate alınmaktadır. Karbon ayak izi artık bireylerin, toplulukların, ulusların veya herhangi bir

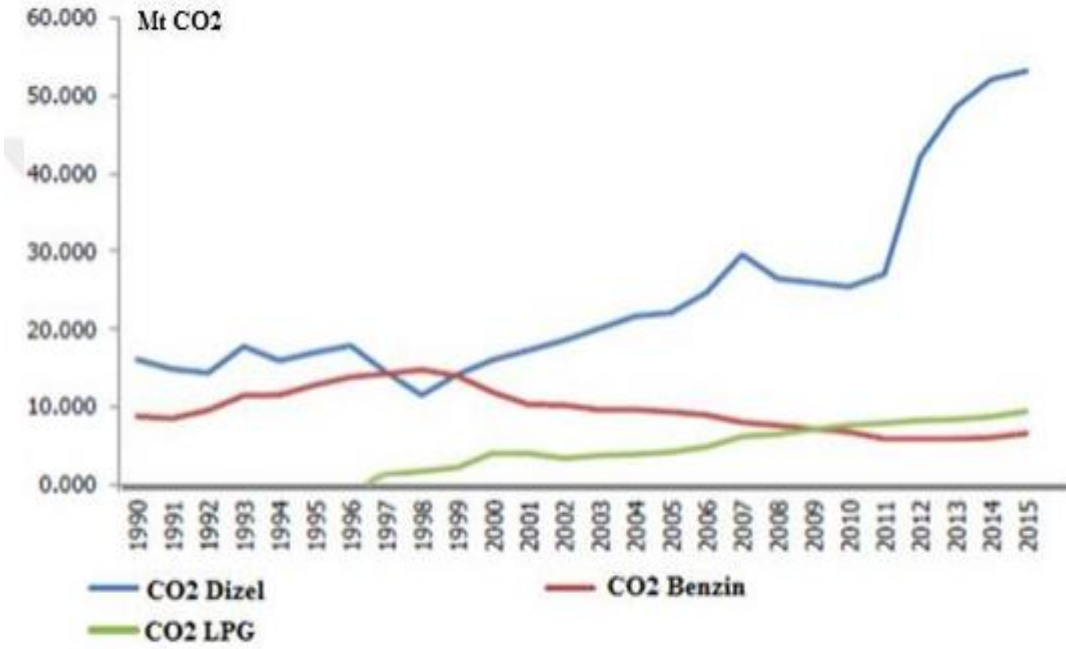
spesifik faaliyetin iklim değışikliğı etkisi ile eşanlamly hale gelmiştir. Karbon ayak izi, bireylerin tüketim ve yaşam tarzı kalıplarıyla karmaşık bir şekilde ilişkili halde olmasının nedeni, insanlar tarafından tüketilen gıda türü, evlerde yemek pişirme şekli, kullanılan ulaşım aracı veya evlerdeki cihaz türü gibi tüm bu faaliyetlerin önemli miktarda enerji tüketimi ve emisyon üretmesidir.

Kentsel konfigürasyon ve kentsel ulaşım sistemi, insanların seyahat modelleri üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Seyahat, yolculuk sıklığı, seyahat mesafesi ve ulaşım tercih türü vb. ile karakterize edilebilir. Hızla büyüyen ekonomiler ve nüfusla birlikte, artan bir kentsel yayılma ve otomobil seferberliği eğilimi bulunmaktadır. Bunun ulaşım talebi seviyesi, seyahat modelleri ve çevre üzerindeki etkisi üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Dünya çapında meydana gelen hızlı ve genişleyen kentleşme, kentsel alanlarda artan sayıda seyahati içermektedir. Şehirler geleneksel olarak ulaşım arzını genişleterek, yeni otoyollar ve/veya transit hatlar inşa ederek mobilitedeki büyümeye yanıt vermektedirler. Gelişmiş dünyada bu esas olarak, giderek artan sayıda aracı barındırmak için daha fazla yol inşa etmek ve böylece en önemli ayrımcı faktörün otomobile bağlı olduğu yeni kentsel yapılar oluşturmak anlamına gelmektedir.

Küresel ısınma ve iklim değışikliğı, yalnızca ekosistemlere değil aynı zamanda insan ırkına da kötü sonuçları nedeniyle son zamanlarda çok tartışılan iki konu olmuştur. Bunlar gerçekten de sera gazı emisyonlarının negatif yan ürünleri halini almaktadır. Ulaştırma sektöründe, karayolu taşımacılığı meydana gelen emisyonların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Dünyanın ulaşım enerjisi, dizel ve benzinin yakılmasından elde edilmektedir. Karayolu taşımacılığı (yani motorlu araçlar), daha spesifik olarak, bu emisyonların çoğunu üretmektedir. Karayolu taşımacılığının ürettiğı karbon ayak izinin tek kaynağı araç işletimi değildir. Yol yapımı projeleri, hafriyat, malzeme ve işçilik nakliyesi gibi sera gazı emisyonlarının miktarları önemli sonuçlar üreten faaliyetleri içermektedir. Arzu edilen kalite standartlarına uyum için gerçekleştirilen yol bakım ve çalışmaları kötüleşen altyapıyı geri getirmek için yapıldığından sera gazı emisyonlarına doğrudan etkisi bulunmaktadır.

AB otomotiv endüstrisi ekonomik anlamda büyük bir paya sahiptir. Sera gazı emisyonları yaratmakta ancak aynı zamanda AB'nin mali gelirine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. 2000 ve 2018 yılları arasında karayolu taşımacılığı karbon emisyonları

artış göstermiş ve yakıt tüketim vergisi potansiyel olarak benzin tüketiminde bir azalmaya yol açmıştır. Sürdürülebilirlik analizi, üye devletler arasında yakıt tüketim vergisinin uyumlu hale getirilmesi ihtiyacını vurgulamaktadır. Kısa vadede, AB'de emisyon azaltışlarını başlatmak için yakıt tüketim vergisi kaldıraç olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

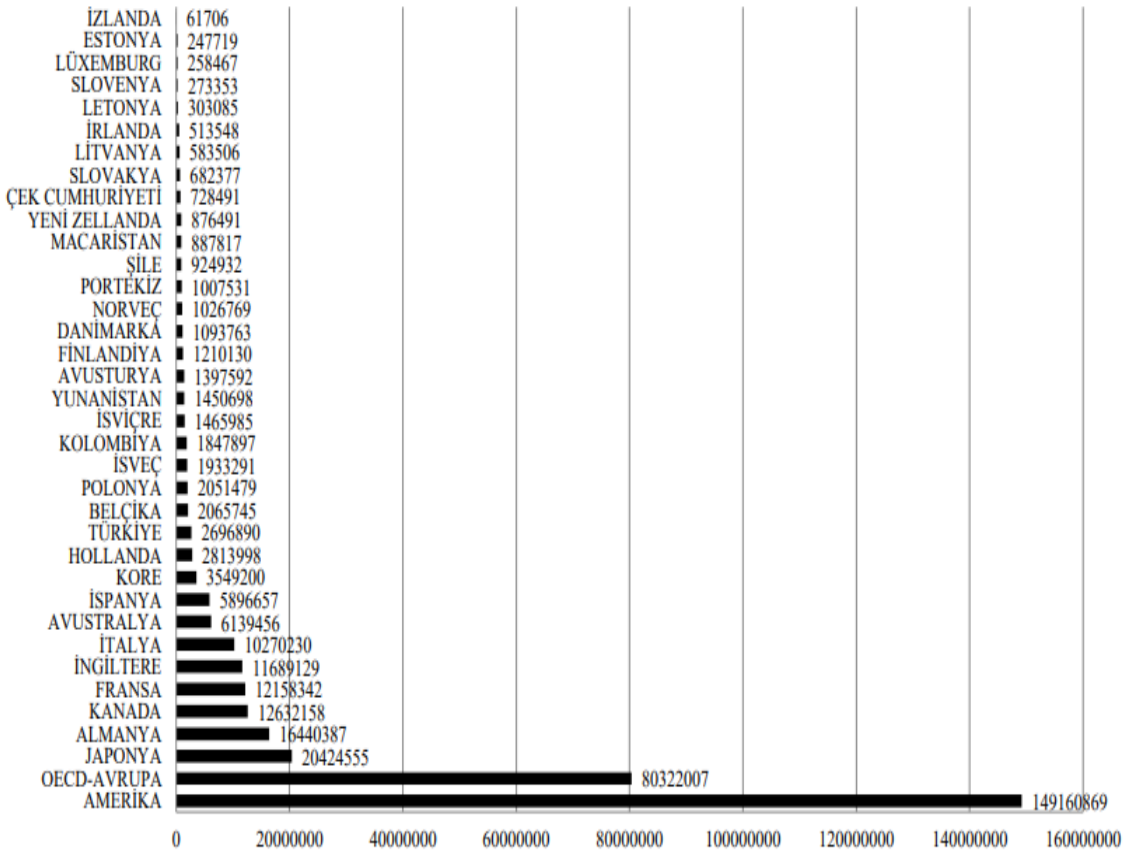


Şekil 1.6. Karayolu Taşımacılığında Akaryakıt Türlerine Göre Emisyon Dağılımları
(TÜİK, 2015)

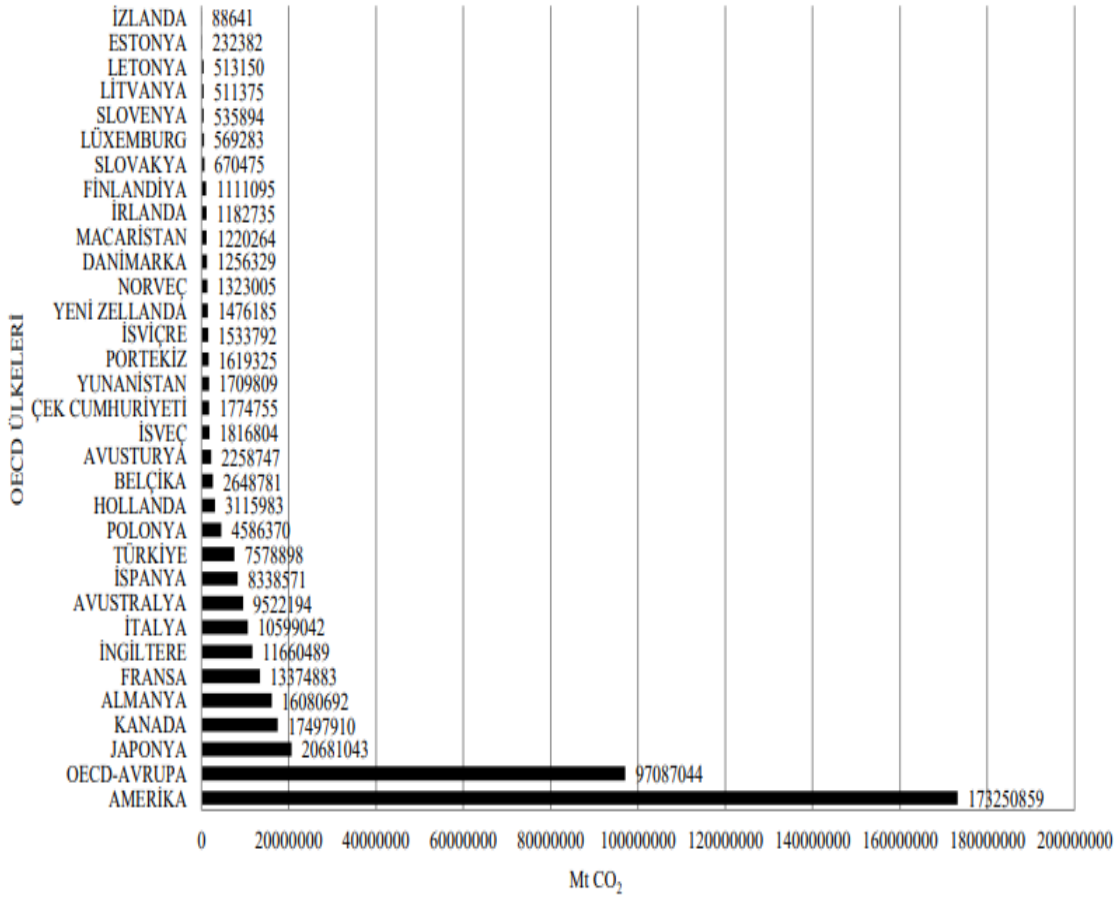
Kentler, ekonomik faaliyetlerin yüksek düzeyde biriktiği ve yoğunlaştığı, ulaşım sistemleriyle desteklenen karmaşık mekansal yapılaraya sahip yerler haline almaktadır. En önemli sorunlar genellikle kentsel alanlarla ilgiliyken, ulaşım sistemleri çeşitli nedenlerle kentsel hareketliliğin sayısız gerekliliklerini karşılayamamaktadır. Kentsel üretkenlik işgücünü, tüketicileri ve yükü birden fazla çıkış ve varış noktası arasında taşımak için ulaşım sisteminin verimliliğine büyük ölçüde bağlı olmaktadır. İnsanlık tamamen kırsal bir toplumdan, küresel nüfusun zaten yarısının kentsel vatandaşlar haline geldiği, ağırlıklı olarak kentsel yaşayan bir topluma geçiş yaşamaktadır. Bu oran önümüzdeki yıllarda daha da artacağı görülmektedir. Büyük kentsel yığılmalarda artan nüfus ve mal ve hizmet tüketimi, hammadde, enerji ve arazi açısından daha fazla kaynak gerektirmektedir. Son yıllarda şehirlerdeki arazi fiyatlarındaki önemli artışların da

gösterdiği gibi, kentsel alanlarda kaynaklar azalmaktadır. Artan nüfus daha yüksek emisyonlar, kaynak ihtiyacı ve arazi tüketimi açısından kentsel metabolizmayı önemli ölçüde etkileyen daha büyük trafik hacimleriyle birlikte meydana gelmektedir.

Karayolu taşımacılığı politikasına net bir yön vermek için yeni bir dizi tedbirin uygulamaya konması gerekmektedir. Karbon emisyonunun azaltılmasının önündeki ana engel, düşük karbonlu veya net sıfır ulaşım sistemine doğru değişimi hızlandırabilecek bir pazarın olmamasıdır. Bu aşamada, AB ilerleme kaydetmektedir, ancak hala büyük ölçüde dizel ve benzine bağımlı halde bulunmaktadır. Almanya, Hollanda ve Fransa, iklim değişikliği senaryolarının zorluklarını karşılamak için karayolu taşımacılığı karbon emisyonlarını azaltmak için iyi bir konumda olmasına rağmen, Avrupa Komisyonu'nun karayolu taşımacılığı politikasını modernize etmesi gerekmektedir.



Şekil 1.7. 1990 Yılında OECD Ülkelerinin Ulaşım Sektörü Karbon Ayak İzi Değerleri Karşılaştırılması (OECD, 2018)



Şekil 1.8. 2015 Yılı Ülkeler Bazında Ulaşım Sektörü Karbon Ayak İzi Değeri Karşılaştırılması (OECD, 2018)

OECD ülkelerine ait ulaşım kaynaklı CO₂ emisyonlarının değerleri 1990 ve 2015 yılları arasında karşılaştırılması sonucunda, 15 yıllık süreçte OECD ülkelerinin tamamında ulaşım kaynaklı emisyon değerlerinin yükseliş gösterdiği görülmektedir. Araştırma verilerinde ilk sırayı Amerika alırken 2015 yılına kadar olan emisyonların yaklaşık 2,5 kat artış gösterdiği saptanmaktadır. Ülkemize ait emisyon değerlerinin yaklaşık olarak 3 kat artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 1.7 ve Şekil 1.8’de 1990-2015 arasında OECD ülkelerine ait karbon ayak izi değerleri karşılaştırılması görülmektedir.

1.5.4. Ulaşımdan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Ulaşım kaynaklı emisyonlar, araçlar tarafından tüketilen yakıt miktarının, kullanılan yakıt türüne göre belirlenen standart bir emisyon faktörü ile çarpılmasıyla hesaplanır. Hesaplama yöntemlerinden Tier-1 yöntemi, ortalama işlem koşulları gerektiren, teknoloji

kullanımından bağımsız ve daha az veri gerektiren basit bir hesaplama yöntemidir. Tier 1 yöntemi yakıt bazlıdır, çünkü tüm yanma kaynaklarından kaynaklanan emisyonlar, yakılan yakıt miktarları (genellikle ulusal enerji istatistiklerinden) ve ortalama emisyon faktörleri temel alınarak tahmin edilebilir. Tier 1 emisyon faktörleri doğrudan sera gazları ile ilişkili bir yöntemdir. Bu emisyon faktörlerinin kalitesi gazlar arasında farklılık göstermektedir. Meydana gelen sera gazı emisyonları, yakıt yanmasının doğrudan bir sonucu olan veya kendi faaliyetlerinden sera gazının doğrudan salınan tüm emisyonları içermektedir. Tier-1 yöntemi, spesifik kaynak kategorilerini belirlemeye yönelik çeşitli kaynak kategorilerinin düzey üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Ulusal emisyon envanterinin eğilimi dikkate alınmaktadır. Mevcut ulusal envanter verilerine göre her bir kaynak kategorisinin değerlendirilmesini ve etkilerini görmek açısından iyi bir uygulamadır. Yalnızca tek bir yılın envanteri mevcutsa sadece düzey değerlendirmesi yapılabilmektedir.

Çalışmada 2019-2021 TÜİK istatistiki verileri kullanılmıştır. Tier-1 yöntemi kullanılan araştırmada LPG, benzin ve mazot kullanımından kaynaklı Yozgat ilinde karbon ayak izi hesaplanacaktır. CH₄ N₂O CO₂ hesaplanması amaçlanmıştır Ayrıntılı bir hesaplama yöntemi olarak Tier-2 hesaplama yöntemi, Tier-1 yöntemine göre daha fazla veri gerektirmektedir. Tier-2 hesaplama yöntemindeki bilgiler, ülkelere has nitelikteki emisyon faktörleri, tüketilen yakıt türüne bağlı olarak yakma teknolojilerinin karbon içeriğini sunmaktadır. Ulaşımında motorlu araçlar yakıt türüne ve kat edilen mesafeye bağlı olarak tüketimlerine göre hesaplanır. Tier-1 ve Tier-2 hesaplama yöntemine göre Tier-3 hesaplama yöntemi daha fazla veri gerektiren, yakıt tüketimini ve tesise özgü emisyon faktörlerini hesaplayarak en doğru sonuçları veren güvenilir bir yöntemdir. Araçların tüketmiş olduğu yakıt ve kat edilen yolun mesafesine bağlı taşınan yükün değerleri de gerekmektedir (IPCC, 2006)

Hesaplama sonuçların, yeterince doğru olacağı düşünülse de yanlış olmasına neden olabilecek birkaç hata kaynağı vardır. Bu hata kaynakları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Örneğin, benzin kullanan bir arabanın yaydığı CO₂ miktarı birçok şeye bağlı olacaktır:

- Motor boyutu ve araba ağırlığı (daha büyük motorlar ve arabalar daha fazla CO₂ yaymaktadır),

- Kullanılan yakıt türü ve yakıt verimliliği,
- Arabanın yaşı (eski bir araba, aynı boyuttaki yeni bir arabadan daha fazla CO₂ yayar),
- Yolcu sayısı (daha fazla yolcu, kişi başına daha düşük emisyon anlamına gelir),
- Araç bakımı (özellikle motor ve lastik basıncı ve durumu),
- Aracın nasıl sürüldüğü (hız, rölanti, çalıştırma ve durdurma, hızlanma, frenleme).

Aynısı, diğer motorlu ulaşım yöntemleri için de geçerli olacaktır. Çarpanlar, her ulaşım türünde belirli bir ortalama yolcu sayısını varsaymaktadır. Buna “ortalama yolcu yükü” denir. Bu durum gerçek yolcu yükünden oldukça farklı olabilir. Örneğin, neredeyse boş olan veya aşırı dolu olan büyük bir otobüse binerseniz, çarpanlar çok doğru olmayabilir.

Çarpanların ülkeden ülkeye değişip değişmediğini de dikkate alınmalıdır. Bunun bir nedeni, elektriğin çok farklı şekillerde üretilmesidir. Bir ülkedeki ana elektrik kaynağı (hidroelektrik, kömür, nükleer, diğer) kesinlikle CO₂ miktarında büyük bir fark yaratacaktır. Elektrikle çalışan trenler, tramvaylar veya diğer ulaşım araçlarının yaydığı CO₂ miktarı farklılık göstermektedir.

Ülkelerin hepsinin kendi ekonomileri, ulaşım sistemleri ve kirlilik yasaları vardır ve bunların aynı ulaşım türü için bile yolcu yükleri ve karbon emisyonları üzerinde etkisi olabilmektedir. Bu, birkaç ülkeden alınan sonuçları karşılaştırdığınızda bunu tartışmak için uygun bir konu olacaktır. Ne yazık ki, aynı şekilde hesaplanan tüm ülkeler için güvenilir çarpanlar bulunmamaktadır. Teorik olarak, tüm bunları hesaba katacak bir hesaplama yapmak mümkün olacaktır. Ancak, bugün bu kadar ayrıntılı ve doğru çarpanları bulmak için gereken tüm verilere sahip olunması gerekmektedir. Çeşitli ulaşım türlerini kullanan insanların sayısı ve oranı hakkındaki bilgiler oldukça doğru olmalıdır. Çarpan yoktur, bu nedenle hatalar yalnızca taşıma türüne karar verirken ve verileri kaydederken ortaya çıkmaktadır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Çalışma Alanı ve Verilerin Toplanması

Çalışmada, Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon ayak izi, IPCC'nin önerdiği TIER yaklaşımı kapsamında Tier-1 yöntemi kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yozgat ilinde faaliyet gösteren karayolu ulaşım türüne ait veriler kullanılarak, çevreye salınan CO₂ emisyon miktarları hesaplanmıştır.

2.2. Tier Metodu ile Hesaplama Yöntemi

Ulaşım kaynaklı emisyonlar, araçlar tarafından tüketilen yakıt miktarının, kullanılan yakıt türüne göre belirlenen standart bir emisyon faktörü ile çarpılmasıyla hesaplanır. Hesaplama yöntemlerinden Tier-1 yöntemi, ortalama işlem koşulları gerektiren, teknoloji kullanımından bağımsız ve daha az veri gerektiren basit bir hesaplama yöntemidir. Tier-1 yöntemi yakıt bazlıdır, çünkü tüm yanma kaynaklarından kaynaklanan emisyonlar, yakılan yakıt miktarları (genellikle ulusal enerji istatistiklerinden) ve ortalama emisyon faktörleri temel alınarak tahmin edilebilir.

Hesaplamalar;

Tablo 2.1. Yıllara Göre Tüketilen Yakıtın Ton Cinsinden Toplam Değeri

Yıllar	Benzin (Ton)	Motorin (Ton)	LPG (Ton)
2019	7.305,426	129.168,136	28.433,739
2020	7.528,107	147.887,17	26.942,87
2021	9.790,036	144.464,22	27.398,77

Yozgat ilinde karayolu ulaşımından kaynaklı karbon izi hesaplamasında kullanılan Tier-1 yöntemi 2019 yılı baz alınarak aşağıda verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.1’de emisyon hesaplamaları detaylı olarak verilmektedir.

Benzin için CO₂ hesaplaması:

$$\begin{aligned}
 \text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} &= 7.305,426 \text{ Ton} \\
 \text{Dönüşüm Faktörü} &= 44,80 \text{ TJ/Gg kt} \\
 \text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
 \text{Enerji Tüketimi} &= 7.305,426 \times 44,80 \times 10^{-3} = 327,28 \text{ TJ} \\
 \text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} &= 69.300 \text{ kg/TJ} \\
 \text{CO}_2 \text{ [Gg C]} &= \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi} \\
 \text{Karbon İçeriği} &= (327,28 \times 69.300) \times 10^{-6} = 22,68 \text{ Gg CO}_2 \\
 \text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \\
 \text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg C)} &= 0,99 \times 22,68 = 22,45 \text{ Gg C} \\
 \text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2) &= 22,45 \times 44/12 = 82,33 \text{ Gg CO}_2
 \end{aligned}$$

Kullanılan yakıtların yanması sonucunda CO₂ dışında CH₄ ve N₂O emisyonlarının da açığa çıkmaktadır. Bundan dolayı hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

Benzin için CH₄ hesaplamaları:

$$\begin{aligned}
 \text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} &= 7.305,426 \text{ Ton} \\
 \text{Dönüşüm Faktörü} &= 44,80 \text{ TJ/Gg kt} \\
 \text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
 \text{Enerji Tüketimi} &= 7.305,426 \times 44,80 \times 10^{-3} = 327,28 \text{ TJ} \\
 \text{Benzin için CH}_4 \text{ Emisyon Faktörü} &= 33 \text{ kg/TJ} \\
 \text{Karbon İçeriği} &= (327,28 \times 33) \times 10^{-3} = 0,01
 \end{aligned}$$

$$\text{Küresel Isınma Potansiyeli} = 28,00$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 28,00 \times 0,01 = 0,30 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg]} = \text{CH}_4 - \text{N}_2\text{O Emisyonu [Gg]} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4) = 1,11 \text{ Gg CO}_2$$

Benzin için N₂O hesaplamaları:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 7.305,426 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 7.305,426 \times 44,80 \times 10^{-3} = 327,28 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için karbon Emisyon Faktörü} = 3,20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg CH}_4] = C \times D \times 10^{-3}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 0,001$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg NO}_2) = 1,02 \text{ Gg CO}_2$$

$$\text{Eşdeğer CO}_2 \text{ Emisyonu} = \text{CO}_2 \text{ Emisyonu} + \text{CH}_4 \text{ Emisyonu} + \text{N}_2\text{O Emisyonu}$$

$$\text{Eşdeğer CO}_2 \text{ Emisyonu (Benzin)} = 84,46 \text{ Gg CO}_2$$

Dizel için CO₂ hesaplaması:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} = 129.168,14 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43,33 \text{ TJ/Gg}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 129.168,14 \times 43,33 \times 10^{-3} = 5.596,86 \text{ TJ}$$

Benzin için Karbon Emisyon Faktörü = 74.100 kg/TJ

Karbon içeriği [Gg C] = Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ] × Enerji Tüketimi [TJ kt]

Karbon İçeriği = $(5.596,86 \times 74.100) \times 10^{-6} = 414,73$

Karbon Emisyonu (Gg C) = Karbon İçeriği (Gg C) × Karbon Oksitlenme oranı

CO₂ Emisyonu (Gg CO₂) = 1.505,46 Gg CO₂

Dizel için CH₄ hesaplamaları;

Yakıt Tüketimi (Dizel) = 129.168,14 Ton

Dönüşüm Faktörü = 43,33 TJ/Gg

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] × 10⁻³ × Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg]

Enerji Tüketimi = 129.168,14 Ton × 43,33 × 10⁻³ = 5.596,86 TJ

Dizel için CH₄ Emisyon Faktörü = 3,90 kg/TJ

Karbon İçeriği [Gg CH₄] = C_xD_x10⁻³

CH₄ Emisyonu [kg] = Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ] × Enerji Tüketimi [TJ]

Karbon İçeriği = $(5.596,86 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02$

Karbon Emisyonu (Gg C) = Karbon İçeriği (Gg C) × Küresel Isınma Potansiyeli

Karbon Emisyonu (Gg C) = 0,61 Gg C

CO₂ Emisyonu [Gg] = CH₄-N₂O Emisyonu [Gg] × Küresel Isınma Potansiyeli

CO₂ Emisyonu (Gg CH₄) = 2,24 Gg CO₂

Dizel için N₂O hesaplamaları;

Yakıt Tüketimi (Dizel) = 129.168,14 Ton

Dönüşüm Faktörü = 43,33 TJ/Gg kt

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] × 10⁻³ × Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]

Enerji Tüketimi = 129.168,14 × 43,33 × 10⁻³ = 5.596,86 TJ

Dizel için CO₂ Emisyon Faktörü = 3,90 kg/TJ

Karbon İçeriği = $(5.596,86 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02 \text{ Gg N}_2\text{O}$

Karbon Emisyonu (Gg C) = Karbon İçeriği (Gg C) × Karbon Oksitlenme oranı

Karbon Emisyonu (Gg C) = 5,78 Gg C

CO₂ Emisyonu [Gg] = CH₄ – N₂O Emisyonu [Gg] × Küresel Isınma Potansiyeli

CO₂ Emisyonu (Gg N₂O) = 21,21 Gg CO₂

LPG için CO₂ hesaplaması:

Yakıt Tüketimi (LPG) = 28.433,74 Ton

Dönüşüm Faktörü = 47,31 TJ/Gg

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] × 10⁻³ × Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]

Enerji Tüketimi = $28.433,74 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.345,20 \text{ TJ}$

LPG için CO₂ Emisyon Faktörü = 63.100 kg/TJ

Karbon içeriği [Gg C] = Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ] × Enerji Tüketimi [TJ kt]

Karbon İçeriği = $(1.345,20 \times 63.100) \times 10^{-6} = 84,88 \text{ Gg C}$

CO₂ Emisyonu (Gg CO₂) = 309,68 Gg C

LPG için CH₄ hesaplamaları:

Yakıt Tüketimi (LPG) = 28.433,74 Ton

$$\begin{aligned}
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 47,31 \text{ TJ/Gg} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 28.433,74 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.345,20 \text{ TJ} \\
\text{LPG için Karbon Emisyon Faktörü} &= 62 \text{ kg/TJ} \\
\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4\text{]} &= C \times D \times 10^{-3} \\
\text{Karbon İçeriği} &= (1.345,20 \times 62) \times 10^{-6} = 0,08 \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= 2,34 \text{ Gg C} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} &= 8,56 \text{ Gg C}
\end{aligned}$$

LPG için N₂O hesaplamaları;

$$\begin{aligned}
\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} &= 28.433,74 \text{ Ton} \\
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 47,31 \text{ TJ/Gg} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 28.433,74 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.345,20 \text{ TJ} \\
\text{LPG için Karbon Emisyon Faktörü} &= 0,20 \text{ kg/TJ} \\
\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4\text{]} &= C \times D \times 10^{-3} \\
\text{Karbon İçeriği} &= (1.345,20 \times 0,20) \times 10^{-6} = 0,00026 \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel ısınma potansiyeli} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= 0,07 \text{ Gg C} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg N}_2\text{O)} &= 0,26 \text{ Gg C}
\end{aligned}$$

Tablo 2.2. Yozgat İlinde 2019 Yılına Ait Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesaplaması.

2019	A	B	C	D	E	F	G	H
CO ₂	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Karbon Oksitleme Oranı	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) $C=A \times B \times 10^{-3}$	D (kg/TJ)	(kg) $E=C \times D \times 10^{-6}$	F	D	$E=F \times D$ (Gg CO ₂)
Benzin	7305,426	44,80	327,28	69300,00	22,68	0,99	22,45	82,33
Motorin	129168,14	43,33	5596,86	74100,00	414,73	0,99	410,58	1505,46
LPG	28433,74	47,31	1345,20	63100,00	84,88	1,00	84,46	309,68
							Ara Toplam	1897,47
CH ₄ Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	7305,426	44,80	327,28	33,00	0,01	28,00	0,30	1,11
Motorin	129168,14	43,33	5596,86	3,90	0,02	28,00	0,61	2,24
LPG	28433,74	47,31	1345,20	62,00	0,08	28,00	2,34	8,56
							Ara Toplam	11,91
N ₂ O Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	7305,426	44,3	327,28	3,2	0,001	265,00	0,28	1,02
Motorin	129168,14	43,33	5596,86	3,9	0,02	265,00	5,78	21,21
LPG	28433,74	47,3	1345,20	0,2	0,00026	265,00	0,07	0,26
							Ara Toplam	22,49
Toplam (TJ)			21808,02 (TJ)	Eşdeğer CO₂ Emisyonu (Gg CO₂)				1931,87Gg CO₂

Yozgat ilinde karayolu ulaşımından kaynaklı karbon izi hesaplamasında kullanılan yöntem 2020 yılı baz alınarak aşağıda verilmiştir.

Benzin için CO₂ hesaplaması:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 7.528,107 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 7.528,107 \times 44,80 \times 10^{-3} = 337,26 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 69.300 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (337,26 \times 69.300) \times 10^{-6} = 23,37 \text{ Gg C}$$

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

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 23,14 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg CO}_2] = 23,14 \times 44/12 = 84,84 \text{ Gg CO}_2$$

Kullanılan yakıtların yanması sonucunda CO₂ dışında CH₄ ve N₂O emisyonlarının da açığa çıkmaktadır. Bundan dolayı hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

Benzin için CH₄ Hesaplamaları:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 7.528,107 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 7.528,107 \times 44,80 \times 10^{-3} = 337,26 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 33 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4] = E = C \times D \times 10^{-3}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (337,26 \times 33) \times 10^{-6} = 0,01$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4) = 1,11 \text{ Gg CO}_2$$

Benzin için N₂O hesaplamaları;

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 7.528,107 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 7.528,107 \times 44,80 \times 10^{-3} = 337,26 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 3,20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4] = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (337,26 \times 3,20 \times 10^{-6} = 0,0010$$

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

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 0,29 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg N}_2\text{O)} = 1,05 \text{ Gg CO}_2$$

Dizel için CO₂ hesaplaması;

$$\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} = 147.887,17 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43,33 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 147.887,17 \times 43,33 \times 10^{-3} = 6.407,95 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 74.100 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (6.407,95 \times 74.100) \times 10^{-6} = 474,83 \text{ Gg}$$

$$\begin{aligned}
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme oranı} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= 470,08 \text{ Gg C} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} &= 470,08 \times 44/12 = 1.723,63 \text{ Gg C}
\end{aligned}$$

Dizel için CH₄ hesaplamaları;

$$\begin{aligned}
\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} &= 147.887,17 \text{ Ton} \\
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 43,33 \text{ TJ/Gg k} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 147.887,17 \times 43,33 \times 10^{-3} = 6.407,95 \text{ TJ} \\
\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} &= 3,90 \text{ kg/TJ} \\
\text{Karbon içeriği [Gg CH}_4\text{]} &= C \times D \times 10^{-6} \\
\text{Karbon İçeriği} &= (6407,95 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02 \text{ Gg CH}_4 \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C); Karbon İçeriği (Gg C)} &\times \text{Küresel Isınma Potansiyeli} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= 0,70 \text{ Gg C} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} &= 2,57 \text{ Gg CO}_2
\end{aligned}$$

Dizel için N₂O hesaplamaları;

$$\begin{aligned}
\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} &= 147.887,17 \text{ Ton} \\
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 43,33 \text{ TJ/Gg kt} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 147.887,17 \times 43,33 \times 10^{-3} = 6.407,95 \text{ TJ} \\
\text{Dizel için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} &= 3,90 \text{ kg/TJ} \\
\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4\text{]} &= C \times D \times 10^{-3} \\
\text{Karbon İçeriği} &= (6.407,95 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02 \text{ Gg C}
\end{aligned}$$

Karbon Emisyonu (Gg C); Karbon İçeriği (Gg C) × Küresel Isınma Potansiyeli

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg N}_2\text{O)} = 6,62 \text{ Gg CO}_2$$

LPG için CO₂ hesaplaması:

$$\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} = 26.942,87 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 47,31 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 26.942,87 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.274,67 \text{ TJ}$$

$$\text{LPG için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 63.100 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (1.274,67 \times 63.100) \times 10^{-6} = 80,43$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme oranı}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 80,03 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = 80,03 \times 44/12 = 293,44 \text{ Gg CO}_2$$

LPG için CH₄ hesaplamaları:

$$\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} = 26.942,87 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 47,31 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 26.942,87 \times 47,31 \times 10^{-3} = 127467 \text{ TJ}$$

$$\text{LPG için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 62 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4\text{]} = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (1.274,67 \times 62) \times 10^{-6} = 0,08 \text{ Gg C}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 28 \times 0,08 = 2,21 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg]} = \text{CH}_4\text{– N}_2\text{O Emisyonu [Gg]} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} = 8,11 \text{ Gg CO}_2$$

LPG için N₂O hesaplamaları;

$$\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} = 26.942,87 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 47,31 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 26.942,87 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1274,67 \text{ TJ}$$

$$\text{LPG için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 0,20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği (Gg N}_2\text{O)} = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (1.274,67 \times 0,20) \times 10^{-6} = 0,000254$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 0,07 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg N}_2\text{O)} = 0,25 \text{ Gg CO}_2$$

Tablo 2.3. Yozgat İlinde 2020 Yılına Ait Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesaplaması

2020	A	B	C	D	E	F	G	H
CO ₂	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Karbon Oksitleme Oranı	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
	(t)	(TJ/kt)	$C=A \times B \times 10^{-3}$	D (kg/TJ)	(kg) $E=C \times D \times 10^{-6}$	F	D	$E=F \times D$ (Gg CO ₂)
Benzin	7528,107	44,80	337,26	69300,00	23,37	0,99	23,14	84,84
Motorin	147887,17	43,33	6407,95	74100,00	474,83	0,99	470,08	1723,63
LPG	26942,87	47,31	1274,67	63100,00	80,43	1,00	80,03	293,44
							Ara Toplam	2101,91
CH ₄ Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	7528,107	44,80	337,26	33,00	0,01	28,00	0,31	1,14
Motorin	147887,17	43,33	6407,95	3,90	0,02	28,00	0,70	2,57
LPG	26942,87	47,31	1274,67	62,00	0,08	28,00	2,21	8,511
							Ara Toplam	11,82
N ₂ O Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	7528,107	44,80	337,26	3,2	0,0010	265,00	0,29	1,05
Motorin	147887,17	43,33	6407,95	3,9	0,02	265,00	6,62	24,28
LPG	26942,87	47,31	1274,67	0,2	0,00025	265,00	0,07	0,25
							Ara Toplam	25,58
Toplam (TJ)			21808,02 (TJ)	Eşdeğer CO₂ Emisyonu (Gg CO₂)				2139,31 Gg CO₂

Yozgat ilinde karayolu ulaşımından kaynaklı karbon izi hesaplamasında kullanılan yöntem 2021 yılı baz alınarak aşağıda verilmiştir.

Benzin için CO₂ hesaplaması:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 9.790,036 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 9.790,036 \times 44,80 \times 10^{-3} = 438,59 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 69.300 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (438,59 \times 69.300) \times 10^{-6} = 30,39$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme oranı}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 30,09 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = 30,09 \times 44/12 = 110,33 \text{ Gg CO}_2$$

Kullanılan yakıtların yanması sonucunda CO₂ dışında CH₄ ve N₂O emisyonlarının da açığa çıkmaktadır. Bundan dolayı hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

Benzin için CH₄ hesaplamaları:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 9.790,036 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 9.790,036 \times 44,80 \times 10^{-3} = 438,59 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzinin CH}_4 \text{ Emisyon Faktörü} = 33 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg CH}_4\text{]} = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (438,59 \times 33) \times 10^{-6} = 0,01$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 28,00 \times 0,01 = 0,30 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} = 1,49 \text{ Gg CO}_2$$

Benzin için N₂O hesaplamaları:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Benzin)} = 9.790,036 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44,80 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 9.790,036 \times 44,80 \times 10^{-3} = 438,59 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için N}_2\text{O Emisyon Faktörü} = 3,20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg CH}_4\text{]} = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{N}_2\text{O Emisyonu (kg)} = (337,26 \times 3,20) \times 10^{-6} = 0,001 \text{ kg N}_2\text{O}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 265,00 \times 0,01 = 0,37 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} = 1,36 \text{ Gg CO}_2$$

$$\text{Eşdeğer CO}_2 \text{ Emisyonu} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$$

$$\text{Eşdeğer CO}_2 \text{ Emisyonu (Ulaşım)} = 1,09 + 0,015 + 0,01 = 1,115 \text{ Gg CO}_2$$

Dizel için CO₂ hesaplaması:

$$\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} = 144.464,22 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43,33 \text{ TJ/Gg}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 144.464,22 \times 43,33 \times 10^{-3} = 6.259,63 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 74.100 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon içeriği [Gg C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = (6.259,63 \times 74.100) \times 10^{-6} = 463,84$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme oranı}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 0,99 \times 463,84 = 459,20 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = 459,20 \times 44/12 = 1.683,74 \text{ Gg CO}_2$$

Dizel için CH₄ hesaplamaları;

$$\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} = 144.464,22 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43,33 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 144.464,22 \times 43,33 \times 10^{-3} = 6.259,63 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzin için CH}_4 \text{ Emisyon Faktörü} = 3,90 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} = E = C \times D \times 10^{-6}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu (kg)} = (6.259,63 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02 \text{ Gg CH}_4$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 0,02 \times 28,00 = 0,68 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg]} = \text{CH}_4\text{– N}_2\text{O Emisyonu [Gg]} \times \text{Küresel Isınma Potansiyeli}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CH}_4\text{)} = 2,51 \text{ Gg CO}_2$$

Dizel için N₂O hesaplamaları;

$$\text{Yakıt Tüketimi (Dizel)} = 144.464,22 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 43,33 \text{ TJ/Gg}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 144.464,22 \times 43,33 \times 10^{-6} = 6.259,63 \text{ TJ}$$

$$\text{Dizel için Karbon Emisyon Faktörü} = 3,90 \text{ kg/TJ}$$

$$\begin{aligned}
\text{Karbon içeriği (Gg N}_2\text{O)} &= C \times D \times 10^{-6} \\
\text{N}_2\text{O Emisyonu İçeriği} &= (6.407,95 \times 3,90) \times 10^{-6} = 0,02 \text{ Gg N}_2\text{O} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel ısınma potansiyeli} \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= 265,00 \times 0,02 = 6,47 \text{ Gg C} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg N}_2\text{O)} &= 23,72 \text{ Gg CO}_2
\end{aligned}$$

LPG için CO₂ hesaplaması:

$$\begin{aligned}
\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} &= 27.398,77 \text{ Ton} \\
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 47,31 \text{ TJ/Gg kt} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 273.998,77 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.296,24 \text{ TJ} \\
\text{LPG için CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} &= 63.100 \text{ kg/TJ} \\
\text{Karbon İçeriği [Gg C]} &= \text{Karbon Emisyon Faktörü [kg/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ kt]} \\
\text{Karbon İçeriği} &= (1.296,24 \times 63.100) \times 10^{-6} = 81,79 \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme oranı} \\
\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} &= = 298,41 \text{ Gg CO}_2
\end{aligned}$$

LPG için CH₄ hesaplamaları:

$$\begin{aligned}
\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} &= 27.398,77 \text{ Ton} \\
\text{Dönüşüm Faktörü} &= 47,31 \text{ TJ/Gg kt} \\
\text{Enerji Tüketimi [TJ]} &= \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]} \\
\text{Enerji Tüketimi} &= 27.398,77 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.296,24 \text{ TJ} \\
\text{Karbon içeriği [Gg CH}_4\text{]} &= E = C \times D \times 10^{-6} \\
\text{CH}_4 \text{ Emisyonu} &= (1.274,67 \times 62) \times 10^{-6} = 0,08 \text{ Gg CH}_4 \\
\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} &= \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Küresel ısınma potansiyeli}
\end{aligned}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = 8,25 \text{ Gg CO}_2$$

LPG için N₂O hesaplamaları;

$$\text{Yakıt Tüketimi (LPG)} = 27.398,77 \text{ Ton}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 47,31 \text{ TJ/Gg kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/Gg kt]}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 27.398,77 \times 47,31 \times 10^{-3} = 1.296,24 \text{ TJ}$$

$$\text{LPG için Karbon Emisyon Faktörü} = 0,20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg CH}_4\text{]} = C \times D \times 10^{-3}$$

$$\text{N}_2\text{O Emisyonu} = (1.296,24 \times 0,20) \times 10^{-6} = 0,00025 \text{ Gg N}_2\text{O}$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = 265,00 \times 0,00025 = 0,068 \text{ Gg C}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = 0,25 \text{ Gg CO}_2$$

Tablo 2.4. Yozgat İlinde 2021 Yılına Ait Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesaplaması

2021	A	B	C	D	E	F	G	H
CO ₂	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Karbon Oksitleme Oranı	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
	(t)	(TJ/kt)	$C=A \times B \times 10^{-3}$	D (kg/TJ)	(kg) $E=C \times D \times 10^{-6}$	F	D	$E=F \times D$ (Gg CO ₂)
Benzin	9790,036	44,80	438,59	69300,00	30,39	0,99	30,09	110,33
Motorin	144464,22	43,33	6259,63	74100,00	463,84	0,99	459,20	1683,74
LPG	27398,77	47,31	1296,24	63100,00	81,79	1,00	81,39	298,41
							Ara Toplam	2092,48
CH ₄ Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	9790,036	44,80	438,59	33,00	0,01	28,00	0,41	1,49
Motorin	144464,22	43,33	6259,63	3,90	0,02	28,00	0,68	2,51
LPG	27398,77	47,31	1296,24	62,00	0,08	28,00	2,25	8,25
							Ara Toplam	12,24
N ₂ O Emisyonu	Yakıt Tüketimi (ton) A	Dönüştürme Faktörü B	Enerji Tüketimi C	Karbon Emisyon Faktörü D	Karbon Emisyon İçeriği	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu
Benzin	9790,036	44,80	438,59	3,2	0,001	265,00	0,37	1,36
Motorin	144464,22	43,33	6259,63	3,9	0,02	265,00	6,47	23,72
LPG	27398,77	47,31	1296,24	0,2	0,00025	265,00	0,07	0,25
							Ara Toplam	25,34
Toplam (TJ)			23983,38(T J)	Eşdeğer CO₂ Emisyonu (Gg CO₂)				2129,06 Gg CO₂

3. BÖLÜM

BULGULAR

Tez çalışmasında Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarının 2019-2020-2021 yıllarına ait karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken Yozgat iline kayıtlı olan araç sayıları ve kullanılan benzin, dizel, LPG yakıt miktarları türlerine göre TUIK verilerinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. IPCC hesaplama yöntemlerinden yararlanılarak belirlenen emisyon miktarları sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. 2019-2020-2021 Yılı CO₂, CH₄ ve N₂O Emisyonlarının CO₂ Eşdeğer Miktarları

Yıl	CO ₂ (Ton/yıl)	CH ₄ (CO ₂ eq ton/yıl)	N ₂ O (CO ₂ eq ton/yıl)	Toplam CO ₂ (Ton/yıl)
2019	1.897,47	11,91	22,49	1.931,87
2020	2.101,91	11,82	25,58	2.139,31
2021	2.092,47	12,24	25,34	2.130,05

Hesaplanan değerler açısından değerlendirme yapıldığında, küresel ısınma potansiyelleri bakımından en yüksek değere sahip gazların sırasıyla CO₂ > N₂O > CH₄ olduğu belirlenmiştir. Yıllık emisyonlarına bakıldığında ise en yüksek karbon ayak izinin olduğu dönemin, 2020 yılına ait olduğu görülmektedir.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Tez çalışması kapsamında 2019 – 2021 yılları arasında Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır.

Çalışmada, Yozgat ilinde karayolundan kaynaklı karbon ayak izi hesaplaması için IPCC'nin önerdiği TIER yaklaşımı kapsamında Tier-1 yöntemi kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yozgat ilinde bulunan araç sayıları, yakıt türleri ve yakıt tüketimi gibi bilgiler ise TÜİK ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) web sitelerinde düzenli olarak yayımlanan veriler kullanılmıştır. Yozgat ilinde faaliyet gösteren karayolu ulaşım türüne ait veriler kullanılarak, karayolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyon miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre en yüksek CO₂ emisyon miktarı 2020 yılında gözlemlenmiştir. Söz konusu yılda CO₂ yüksek emisyon oluşumunun muhtemel sebebi 2020 yılında tüm dünyada etkili olan COVID-19 pandemisi ile ilişkilendirilmektedir. Pandemi sürecinde il merkezinde yaşayan insanların ulaşım amacıyla çoğunlukla toplu taşıma araçları yerine kendi hususi araçlarını tercih etmeleri, araçlardan kaynaklı CO₂ emisyonları üzerinde önemli bir artışa sebep olmuştur.

Yozgat ilinde ulaşım sektöründeki dağılımda çeşitli dalgalanmaların olduğu göze çarpmaktadır. Ulaşım sistemlerindeki ve ulaşım politikalarındaki zayıflıklar belirlenmeli ve karayolu taşımacılığının karbon ayak izini azaltmak için planlar geliştirilmelidir. Bu noktada, sosyal faydaların ve çevresel etkilerin gözetildiği, sosyo-ekonomik ve teknolojik yapıları içeren kısa, orta ve uzun vadeli kalıcı ve detaylı planlamalar yapılmalıdır. Sürdürülebilir ulaşım koşullarına uygun, yakıt tüketiminin azaltıldığı, enerji verimliliğinin iyileştirildiği, altyapı yatırımlarının planlı ve verimli kullanıldığı, ulaşım politikalarının insan ve çevre sağlığını önemli unsurlar olarak gördüğü bir sistem oluşturulmalıdır. Bu bilgiler ışığında, Yozgat ili karayolu ulaşım sistemi ile ilgili olarak;

- Şehir içerisinde toplu taşıma araçları olarak metro, tramvay gibi sistemlerin yaygın hale getirilmesi,

- Şehir içerisinde kullanılan toplu taşıma araçlarının saatlerinin yeniden gözden geçirilerek halkın kullanmasına teşvik edilmeli,
- Toplu taşıma araçlarının güzergahlarının yeniden belirlenerek her noktaya ulaşım sağlanması,
- Yol kenarlarında bisiklet yollarının artırılarak bisiklet kullanımının yaygın hale getirilmesi,
- Şehir kenarında bulunan boş arazilerin ağaçlandırılarak doğal yutak alanlarının genişletilmesi,
- Yeni üretilen araçlarda veya araç satış noktalarında yakıt ekonomisi ön plana çıkarılması ve CO₂ emisyonlarını gösteren bir etiket bulundurulması,

Satış noktasında sergilenen veya kiralamaya sunulan tüm yeni araba modellerinin resmi yakıt tüketimini ve CO₂ emisyon verilerini belirgin şekilde gösteren bir poster veya teşhir olma

- Yukarıda belirtilen maddelerin her birinin karşılaması gereken asgari gereklilikleri ortaya koymak gerekmektedir. Karayolu taşımacılığında kaynaklanan sera gazı emisyonlarının daha da azaltılması ve yeni binek otomobillerin yakıt kullanımı ve CO₂ emisyonları konusunda tüketici farkındalığının artırılması gerekmektedir.

Ulusal hükümetler ve AB üye ülkeleri tüm bu emisyonları azaltmak için hedefler belirlemektedirler. Yük taşımacılığının dış maliyetlerini azaltmak için politika önlemleri geliştirilmesi gerekmektedir. İklim değişikliği ile ilgili endişeler arttıkça, bireyler küresel iklim değişikliklerinin çevre üzerindeki etkilerinin giderek daha da fazla farkına varmaktadır.

Dünya iklim değişikliğinin etkisini azaltmak için çalışırken, insanlar günlük karbon ayak izlerini belirlemek ve potansiyel olarak azaltmak isteyebilir. Ulaşım yöntemini seçmek, bunu yapmanın bir yoludur. Elbette yürümek, bisiklete binmek veya koşmak bir yerden bir yere gitmenin en düşük karbonlu yollarıdır. Ancak araç paylaşımı, elektrikli araçlara veya toplu taşımaya geçiş gibi emisyonları da azaltabilir. Orta ve uzun mesafelerde trenler en çevre dostu seçenektir ve kısa mesafeli yurt içi seyahatlerde araç kullanmak uçak kullanmaktan daha çevreci bir seçenek olarak düşünülmektedir. Ancak bazı ülkeler

diğerlerinden daha büyük olduğundan, her zaman seyahat edilmesi gereken toplam mesafeyi ve sahip olunan seçeneklerin genişliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Binek araçlar ve kamyonlar için hafif hizmet sera gazı düzenlemelerinin şu şekilde olması öngörülmektedir:

- Tüketici seçimini korurken yakıt verimliliğini neredeyse ikiye katlanması gerekmektedir,
- Ülkenin petrole olan bağımlılığının azaltılması ve tüketiciler için pompada önemli tasarruf sağlanmalıdır.

İklim değişikliği nasıl kaçınılmaz gerçek ise, karayolu taşımacılığı endüstrisinin karbon ayak izini azaltmak için teknolojiyi kullanma ihtiyacı da vazgeçilmez bir gerçektir. Bu yönde önemli adımlar atılmazsa, lojistik sektörü dünyanın en kirletici endüstrisi haline gelecektir. Küresel olarak sürdürülebilir sosyal ve ekonomik kalkınmayı sağlamak için sadece halkın değil, aynı zamanda mal ve malzemelerin de etkin hareketliliğinin sahip olunması için bilimsel dayanaklı çözümler üretilmesi gerekmektedir.

Taşımacılık amacıyla kullanılan ağır vasıtalar, daha uzun ve bakımsız yollarda seyahat ederken çok fazla yakıt tüketmektedirler. Bazen sürücüler daha kısa ve daha hızlı bir alternatif olmasına rağmen bilinen bir rotaya bağlı kalmayı tercih ederler. Gelişmiş GPS ve veri analizinin kullanımı bu noktada faydalı olacaktır. Gerçek zamanlı trafik verileri, hava durumu güncellemeleri ve geçen süre, ortalama hızlar vb. uzun vadeli ortalamaların bir karışımının maksimum yakıt ve zaman verimliliği sağlayacak rotaları belirlemek için dikkate alınması gerekmektedir. Tek başına akıllı rota modellemesi, yolculuk başına araç başına oldukça büyük bir emisyon yüzdesini azaltma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

1. Atabey, T., 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Elazığ.
2. Aydın, Ü. 2022 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Karbon Ayak İzi Envanterinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Bıyık, Y., 2018, Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
4. Cansaran, A. ve Yıldırım, C., (2017). Çevre eğitimi, Ankara: Pegem Yayınevi.
5. Çavuş, F.M., Yıldırım Tancı, N., (2013). Yeşil İşletme ve Çevre Yönetim Sistemleri, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi, 48 (1): 73-82.
6. Çetinsoy, A. F., 2010. Küresel İklim Değişikliği: Avrupa Birliği ve Türk Tarımı. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 192s, İstanbul.
7. Çevirgen, M.S., 2009. İstanbul'da Denizyolu Ulaşımının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s.
8. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: İklim Değişikliği Özel İhtisas Raporu. 2532-548, 123.
9. Environmental Protection Index (EPI), 2018. Climate, Energy and Transportation, (Web sayfası: http://www.earthpolicy.org/data_center/C23, (Erişim tarihi: Mayıs 2023).
10. EPA, 2006. Life cycle assessment: principles and practice 2006, 600/R06/060, Ohio
11. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), 2018a. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. (Web sayfası: <http://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cercevesozlesmesi-i-4362>) (Erişim tarihi: Nisan 2023).
12. Gürsoy, B. F., 2023. Erciyes Üniversitesi Kampüsünde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Gündoğan, A.C., 2016. Paris Anlaşması Sonrası – IPCC Öncelikleri. (Web sayfası: <http://ekoik.com/paris-anlasmasi-sonrasi-ipcc-ve-oncelikleri/>) (Erişim tarihi: Nisan 2023).
14. IPCC, 1996, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, (Web sayfası: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/ch1ref5/), (Erişim tarihi: Mayıs 2023).

15. H.A. Çelik, 2020. Konya İlinde Ulaşımdan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Ve Çevresel Fayda Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
16. Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.1007.
17. Kabacıoğlu, N., 2012. Sanayi Kuruluşlarında Sera Gazı Salınımları Ve Sera Gazı Hesaplama Yöntemleri. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Kocaeli.
18. Karabıçak, Y. & Armağan, Y. (2004). Çevre Sorunlarının Ortaya Çıkış Süreci, Çevre Yönetiminin Temelleri ve Ekonomik Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9 (2).
19. Karakaya, E., 2008. Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. Bağlam Yayıncılık
20. Kıvılcım, İ., 2013. 2020'ye Doğru Kyoto-Tipi İklim Değişikliği Müzakereleri 'Avrupa Birliği'nin Yeterliliği ve Türkiye'nin Konumu', İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları, 92s, İstanbul.
21. Kyoto Protokolü, (Web sayfası: <https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363%3E,%20eri%C5%9Fim%20tarihi%202013>). (Erişim tarihi: Aralık 2022).
22. National Research Council (NRC), 2001, Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions, The National Academies Press, 0-309-07575, Washington, DC, USA.
23. Özyonar F. ve Gökkuş Ö. (2020). Kayseri İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Değişimi, 5. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
24. Protocol, K. (1997). Kyoto protocol. UNFCCC (Web sayfası: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.Php) (Erişim Tarihi: Eylül 2023).
25. Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G., 2000. Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası).
26. TÜİK, (Türkiye İstatistik Kurumu. (Web sayfası: <https://www.tuik.gov.tr/>) (Erişim tarihi: Ağustos 2023).

27. Pekin, M.A., 2006, Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
28. Uzunçakmak, M., 2014. Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları Ve iklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, 171s, Ankara
29. Yamanoglu, Çılgın, G., 2013. Türkiye’de Küresel Isınmaya Yol Açan Sera Gazı Emisyonlarındaki Artış İle Mücadele İktisadi Araçların Rolü. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139, Ankara.
30. Yanarocak, K., R., 2007. Marmaray Projesinin Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hatice Aydın
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 13.04.1993
Medeni Durum: Evli
e-mail: aydnnha.tice@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği (Tezsiz Yüksek Lisans)	2022
Lisans	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	2016
Lise	Akdağmadeni Anadolu Lisesi	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2023	Organik Mühendislik Limited Şirketi	10 ay
2021-2022	Sorgun Belediyesi	1yıl
2019 -2021	Akademi Çevre Danışmanlık Şirketi	2 yıl -3ay
2018-2019	Yozgat Şehir Hastanesi	1yıl

YABANCI DİL

İngilizce

KONGRE

4. Uluslararası AÇHARAKA Fen Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi
(26.06.2023).