



TEKİRDAĞ İLİ
KARAYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN
SERA GAZI EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

AYŞE AYÇA AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÖZTÜRK
2024

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEKİRDAĞ İLİ KARAYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN SERA GAZI
EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

AYŞE AYÇA AYDIN

ORCID: 0000-0002-7648-5855

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÖZTÜRK

TEMMUZ-2024

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

TEKİRDAĞ İLİ KARAYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Ayşe Ayça AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÖZTÜRK

Ulaşım sektörü genel olarak, kullanılan yakıtların %94'den fazlasının benzin ve dizel gibi doğrudan emisyonuna sebep olan petrol bazlı fosil yakıtlardan oluşması nedeniyle önemli bir sera gazı emisyon kaynağı konumundadır. Küresel yakıt enerjisi talebinin %27'sini ve toplam sera gazı emisyonunun %16,2'sini oluşturan ulaşım sektörü, özellikle karayolu ulaşımı ile çevresel sorun anlamında ciddi bir potansiyele sahiptir. Geline noktada sera gazı emisyonun önlenmesi veya azaltılmasına yönelik uygulamalar açısından, karayolu ulaşımının detaylı araştırmalarla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada öncelikle tüketilen yakıt miktarlarına bağlı olarak, Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun hesaplanması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tekirdağ ilinde CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için 2019-2022 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonunun yaklaşık %44 oranında artarak 1.890,03 Gg CO_{2e} miktarına ulaştığını, 2022-2023 yılları arasında ise yaklaşık %14 oranında azalarak 1628,03 Gg CO_{2e} değerine gerilediğini göstermektedir. Çalışmanın sonraki aşamasında il genelinde belirlenen güzergâhlar için eşdeğer CO₂ emisyon haritaları oluşturulmuştur. Devamında ise 2030, 2040 ve 2050 yılları için hazırlanan üç farklı senaryo ile, il genelinde karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonunun gelecekteki olası durumu değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalarla 2030-2050 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonlarının Senaryo-I, Senaryo-II ve Senaryo-III için sırasıyla %64, %41,3 ve %24,4 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Enerji Dengesi, Sera Gazı, Sera Gazı Emisyonu, Emisyon Envanteri

ABSTRACT

DETERMINATION OF GREENHOUSE GAS EMISSION SOURCED FROM ROAD TRANSPORTATION IN TEKIRDAG PROVINCE

Ayşe Ayça AYDIN

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tuba ÖZTÜRK

The transportation sector is generally a very important source of greenhouse gas emissions, as more than 94% of the fuels used consist of petroleum-based fossil fuels such as gasoline and diesel, which directly cause emissions. The transportation sector, which accounts for 27% of global fuel energy demand and 16.2% of total greenhouse gas emissions, has a serious potential in terms of environmental problems, especially with road transportation. At this point, it is important to evaluate road transportation with detailed research in terms of applications aimed at preventing or reducing greenhouse gas emissions. In this study, greenhouse gas emissions sourced from road transportation in Tekirdağ province were first calculated depending on the amount of fuel consumed. The results showed that the equivalent CO₂ emission for CO₂, CH₄ and N₂O gases in Tekirdağ province increased by approximately 44% between 2019 and 2022, reaching 1,890.03 Gg CO₂e, and decreased by approximately 14% between 2022 and 2023, reaching 1,628.03 Gg CO₂e. In the next stage of the study, equivalent CO₂ emission maps were prepared for the routes determined throughout the province. Subsequently, the possible future status of greenhouse gas emissions sourced from road transportation throughout the province was evaluated with three different scenarios created for the years 2030, 2040 and 2050. Accordingly, as a result of the calculations, it was determined that equivalent CO₂ emissions increased by 64%, 41.3% and 24.4% between 2030 and 2050 for Scenario-I, Scenario-II and Scenario-III, respectively.

Keywords: Climate Change, Energy Balance, Greenhouse Gases, Greenhouse Gas Emission, Emission Inventory

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
TEŞEKKÜR.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	4
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA ETKİSİ	5
2.1. İklim Değişikliği	5
2.1.1. İklim Değişikliğinin Etkileri	5
2.2. Küresel Isınma	7
2.2.1. Küresel Isınmanın Sistemsel Yansımaları.....	12
2.2.2. Küresel Isınmaya Bağlı Güncel Değerler.....	16
2.3. Dünyanın Enerji Dengesi	18
2.4. Sera Etkisi	22
3. SERA GAZI EMİSYONU VE KARAYOLU ULAŞIMI	24
3.1. Atmosferin Katmanlı Yapısı ve Özellikleri	24
3.2. Sera Gazları.....	27
3.3. Sera Gazı Emisyonunun Kaynakları	32
3.3.1. Doğrudan Endüstriyel Üretim	34
3.3.2. Tarım, Hayvancılık, Ormancılık ve Arazi Kullanımı.....	34
3.3.3. Enerji Kullanımı	35
3.4. Karayolu Ulaşımının Sera Gazı Emisyonuna Etkisi	36
3.5. Sera Gazı Emisyonu Yönetimi ve Envanter Metodolojisi	39
4. MATERYAL VE METOD	42
4.1. Tekirdağ İli Hakkında Genel Bilgi.....	42
4.2. Sera Gazı Emisyon Envanteri Çalışması.....	44
4.2.1. Tier-1 Emisyon Hesabı.....	44
4.2.2. Tier-2 Emisyon Hesabı.....	45

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	47
5.1. Yakıt Tüketimine Bağlı Sera Gazı Emisyonu	47
5.2. Trafik Hacmine Bağlı Sera Gazı Emisyonu ve Haritalandırma	55
5.3. Senaryolar Temelinde Sera Gazı Emisyonları	69
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri	29
Çizelge 4.1. İlçeleri ile Tekirdağ ili ve Türkiye nüfusu.....	43
Çizelge 4.2. 2019-2023 yılları arasında tüketilen yakıt miktarları	45
Çizelge 4.3. Emisyon ve dönüşüm faktörleri	45
Çizelge 4.4. Tipik yakıt tüketimleri.....	46
Çizelge 5.1. 2019 yılına ait emisyon değerleri	48
Çizelge 5.2. 2020 yılına ait emisyon değerleri	49
Çizelge 5.3. 2021 yılına ait emisyon değerleri	50
Çizelge 5.4. 2022 yılına ait emisyon değerleri	51
Çizelge 5.5. 2023 yılına ait emisyon değerleri	52
Çizelge 5.6. Tekirdağ ili Devlet Yollarına ait bilgiler.....	57
Çizelge 5.7. 2019 yılına ait ortalama trafik verileri.....	58
Çizelge 5.8. 2020 yılına ait ortalama trafik verileri.....	59
Çizelge 5.9. 2021 yılına ait ortalama trafik verileri.....	60
Çizelge 5.10. 2022 yılına ait ortalama trafik verileri.....	61
Çizelge 5.11. 2023 yılına ait ortalama trafik verileri.....	62
Çizelge 5.12. Yıllara göre yol dilimlerine ait eşdeğer CO ₂ miktarları	64
Çizelge 5.13. Senaryolara ait kabul oranları	70
Çizelge 5.14. Senaryo-I için yakıt türüne göre araç dağılımları.....	70
Çizelge 5.15. Senaryo-II için yakıt türüne göre araç dağılımları	71
Çizelge 5.16. Senaryo-III için yakıt türüne göre araç dağılımları	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İklim değişikliğinin sağlık riskleri ile ilişkisi ve etkileri.....	7
Şekil 2.2. Senozoik Çağ'da iklim koşullarının değişimi.....	8
Şekil 2.3. 1850-2022 yılları arasındaki sıcaklık anomalileri.....	10
Şekil 2.4. Farklı bölgelerde sıcaklık anomalileri.....	11
Şekil 2.5. Küresel sıcaklık dinamikleri.....	12
Şekil 2.6. Küresel ısınma eğilimleri	13
Şekil 2.7. İklimsel su dengesinin bölgesel dağılımı	14
Şekil 2.8. Su stresi yaşanan bölgelerin dağılımı.....	14
Şekil 2.9. Küresel ısınmanın ilerleyişi ve etkileri.....	16
Şekil 2.10. 1940-2023 yılı küresel ortalama sıcaklık anomalileri.....	16
Şekil 2.11. Küresel sıcaklık artışları.....	17
Şekil 2.12. 2023 yılındaki günlük sıcaklık artışı	18
Şekil 2.13. Dünya'ya gelen güneş enerjisinin dağılımı.....	20
Şekil 2.14. Atmosferde absorbe edilen güneş enerjisi ve dağılımı.....	21
Şekil 2.15. Dünya'nın enerji sistemi ve dağılımı.....	22
Şekil 3.1. Stratosferin yapısı.....	25
Şekil 3.2. Atmosferin katmanları.....	26
Şekil 3.3. Sera gazlarının dağılımı.....	28
Şekil 3.4. Atmosferdeki CO ₂ konsantrasyonu	30
Şekil 3.5. Dünya genelinde CH ₄ gazı emisyonu.....	31
Şekil 3.6. Dünya genelinde sera gazı emisyonu	33
Şekil 3.7. Küresel sera gazı emisyonunun sektörel dağılımı.....	34
Şekil 3.8. Enerji kullanımını kaynaklı sera gazı emisyonunun dağılımı	36
Şekil 3.9. Ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonu.....	37
Şekil 3.10. Taşıt araçlarına bağlı sera gazı emisyonları	38
Şekil 3.11. Ulaşım türlerine bağlı sera gazı emisyonları.....	39

Şekil 4.1. Tekirdağ il haritası	42
Şekil 5.1. Eşdeğer CO ₂ emisyonu.....	53
Şekil 5.2. Eşdeğer CO ₂ emisyonuna yakıt türlerinin katkısı	54
Şekil 5.3. Karayolu ulaşımı kaynaklı eşdeğer CO ₂ /kişi miktarı	55
Şekil 5.4. Tekirdağ ili Devlet Yolları haritası	56
Şekil 5.5. 2019 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritası	65
Şekil 5.6. 2020 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritası	65
Şekil 5.7. 2021 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritası	66
Şekil 5.8. 2022 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritası	66
Şekil 5.9. 2023 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritası	67
Şekil 5.10. Devlet Yollarına ait 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 yılı eşdeğer CO ₂ emisyon haritaları.....	68
Şekil 5.11. Yol dilimlerine ait eşdeğer CO ₂ emisyonları	69
Şekil 5.12. Senaryolara bağlı eşdeğer CO ₂ emisyonları.....	72

SİMGELER DİZİNİ

CO _{2e}	Eşdeğer karbondioksit
Gg	Gigagram
GgCO _{2e}	Gigagram eşdeğer karbondioksit
GtCO _{2eq}	Gigaton eşdeğer karbondioksit
kg/TJ	Kilogram/Terajoule
kt	Kiloton
tC/TJ	Ton karbon/terajul
TJ	Terajul
TJ/Gg	Terajul/gigagram
TJ/kt	Terajul/kilogram
W/m ²	Watt/metrekare

KISALTMALAR DİZİNİ

CF ₃ I	Tfifloroiyodometan
CHCl ₃	Trikolorometan
CH ₂ Br ₂	Dibromometan
CH ₂ Cl ₂	Diklorometan
CH ₃ Cl	Klorometan
CH ₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HFC	Hidroflorokarbon
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KIP	Küresel Isınma Potansiyeli
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
NASA	National Aeronautics and Space Administration
N ₂ O	Diazot monoksit
NF ₃	Azot triflorür
NH ₃	Amonyak
NMVOG	Metan harici uçucu organik bileşikler
NO _x	Azot oksitler
O ₃	Ozon
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
Pb	Kurşun
PDO	Pasifik Dekadal Salınımı
PFC	Perflorokarbon
PM _{2.5}	İnce partiküler madde
PM ₁₀	Kaba partiküler madde
SF ₅ CF ₃	Triflorometil sülfür pentaklorür
SF ₆	Kükürt hekzaflorür
SO ₂	Kükürtdioksit
UNEP	United Nations Environment Programme
VOC	Uçucu Organik Bileşik
WHO	World Health Organization

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütölmesi sürecinde desteğini ve emeğini esirgemeyen danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÖZTÜRK'e; çalıőmalarım süresince her türlü destekleri için anneme, babama, eőim Merih AYDIN'a ve her stresli anımda gülüşü ile içimi ısıtan oğlum Can Ali'ye; yüksek lisans yapmam için beni cesaretlendiren kardeőim Verda ALGÜL'e; Sayın Danıőmanım Tuba ÖZTÜRK ile tanışmama vesile olarak yardımların en büyüğünü yapan hem Müdürüm hem ablam Evren ŐAHİNCİ'ye; tez çalıőmamda özellikle NETCAD kullanımındaki yardımları için mesai arkadaőım Ümit EKİNCİLER'e ve tüm bu süreçte aynı ofiste görev yaptığım çalışma arkadaőlarıma büyük küçük her türlü yardımları için teşekkür ederim.

Bu ülkede kadınların bir birey olarak okuma, çalışma ve ilerleme hakkına kavuőmasını sağlayan Mustafa Kemal ATATÜRK'e teőekkürü borç bilirim.

Ayşe Ayça AYDIN

evre Mühendisi

1. GİRİŞ

Hava kirliliği genel olarak atmosferin kirlenmesine ve/veya ekosistemin bozulmasına neden olana tüm kaynakların yıkıcı etkileri olarak tanımlanmaktadır [1]. Atmosferin bileşiminde meydana gelen temel değişimler çoğunlukla ulaşım için gerekli olan da dahil olmak üzere enerji temin edilmesi için kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Atmosfere karışan ve başta insanlar olmak üzere tüm canlılar ile doğal çevre üzerinde zararlı etki oluşturma potansiyeline sahip olan her türlü madde, hava kirleticisi olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal bileşimleri, reaksiyon özellikleriyle, emisyonları, atmosferde kalıcılıkları, taşınma mesafeleri ve yayılma özellikleri, insan ve çevre sağlığı üzerindeki olası zararlı etkileri ile farklılık gösteren çok sayıda hava kirleticisi tanımlanmaktadır [2]. Ancak kaynakları, etkileri ve konsantrasyonları ile Dünya Sağlık Örgütü tarafında partiküler maddeler, yer seviyesi ozonu, karbonmonoksit, kükürt dioksit ve azot dioksit en önemli hava kirleticileri olarak bildirilmektedir.

Çevre ve halk sağlığı üzerindeki doğrudan etkileri nedeniyle canlılığın sürdürülebilirliği üzerinde ciddi bir tehdit oluşturan hava kirliliği, bu anlamda en önemli kirlilik türlerinden birisi olarak kabul edilmektedir [1]. Bu kirlilik sınıfı buna bağlı olarak da kirleticiler insanların mücadele edilebilmeleri, kontrol edebilmeleri veya korunabilmeleri noktasında çoğunlukla bireysel çabalardan çok daha fazlasını gerektiren kirleticilerdir. Bu nedenle de sorunun çözümü bakımından yol alınması ancak yetkililerinin bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeyde kararlılıkla harekete geçmesi ve mücadele etmesi ile mümkün olabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), özellikle orta ve düşük gelirli ülke insanların hava kirliliğinden çok daha fazla etkilendiğini, dünya nüfusunun %99'unun ince partiküler maddelere (PM_{2.5}) kılavuz seviyesini aşan düzeylerde maruz kaldığını bildirmektedir [3]. Düşük sosyo-ekonomik şartlarda yaşayan insanların endüstriyel hava kirliliği, altta yatan sağlık sorunları, yetersiz beslenme, stres gibi faktörler nedeniyle hava kirliliği kaynaklı sağlık problemlerinden çok daha fazla etkilendiği ve hastalıkları çok daha ağır yaşadığı belirtilmektedir [4]. Ayrıca Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı hava kirleticisi olarak ince partiküler maddeleri (PM_{2.5}) kanserin önde gelen nedenlerinden birisi olarak tanımlamaktadır [5]. Günümüzde hava kirliliğinin yanısıra çoğu hava kirleticisi kapsamında ele alınan sera gazları ilkim değişikliği üzerindeki etkilerine bağlı olarak farklı boyutlarda çevresel sorun oluşturmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle yakıt tüketimine bağlı olarak Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonu hesaplanmış, sonrasında belirlenen güzergâhlar için eşdeğer CO₂ emisyon haritalarının oluşturulması sağlanmış ve devamında araç sayısı ve yakıt türleri üzerinden geleceğe yönelik senaryolar geliştirilerek, ilde senaryo bazında sera gazı emisyonları ve yıllara bağlı değişimleri belirlenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde hızlı nüfus artışı, ekonomik ve endüstriyel faaliyetler, karayolu ulaşımını yaygın bir ulaşım şekli haline getirmektedir. Ancak bu yoğun kullanım aynı zamanda pek çok çevresel sorunun da temelini oluşturmaktadır. Karayolu taşımacılığının özellikle sera gazı emisyonu üzerindeki etkileri, iklim değişikliğine bağlı olarak küresel endişelere yol açmaktadır. Bu nedenle karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar, kaynağın tanımlanması ve yönetilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Lamb ve ark. [6] tarafından yapılan araştırmada enerji, sanayi, bina ve ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonunun 1990-2018 yılları arasındaki değişimi, küresel ve bölgesel boyutlarda değerlendirilmiştir. Çalışmada 2010-2018 yılları arasında küresel sera gazı emisyonunun 2014 yılından sonra artış hızında gözlemlenen genel yavaşlama eğilimine rağmen artmaya devam ettiği ortaya koyulmuştur. Aynı zamanda sera gazı emisyonunu 2018 yılında 58 GtCO₂eq ile insanlık tarihinin en yüksek seviyesine ulaştığı ve bunun temel olarak %34 enerji, %24 sanayi, %14 ulaşım kaynaklı gerçekleştiği raporlanmıştır. Bununla birlikte ulaşım ile ilişkili toplam sera gazı emisyonunda %73 ile açık ara en büyük bileşenin karayolu taşımacılığı olduğu ve bunu %8 ile deniz ve %7 ile havayolu ulaşımın takip ettiği bildirilmiştir. Ayrıca bölgesel açıdan Doğu Asya ve Kuzey Amerika'nın söz konusu küresel sera gazı emisyonunun %40'undan sorumlu olduğu ve sektörel eğilimlerin bölgelere göre büyük farklılıklar gösterdiği vurgulanmıştır.

Barth ve ark. [7] tarafından yapılan araştırmada, akıllı ulaşım sistemlerinin sera gazı emisyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada akıllı ulaşım sistemlerinden araç sistemleri, trafik yönetim sistemleri ve seyahat bilgi sistemleri değerlendirilerek, tekil kullanımlarının sera gazı emisyonu üzerinde önemli bir etki sağlayamayacağı bildirilmiştir. Bu çalışmaya konu olan çevre dostu akıllı ulaşım sistemi uygulamalarının ancak birlikte kullanımlarının sera gazı emisyonunun kontrolünde, anlamlı ölçüde fayda sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Patil [8] tarafından yapılan çalışmada, kentsel alanlarda sürdürülebilir ulaşım planlamaları ile sera gazı emisyonunu düşürülmesine yönelik stratejiler tartışılmıştır. Araç kullanımının yoğun olduğu şehirlerin yürüyüş ve bisiklet kullanımına elverişli hale getirilmesinin, trafik akışını optimize eden, yoğunluğu azaltan ve yollarda güvenliği sağlayan gerçek zamanlı verilerin kullanılmasının, ulaşım ağının herkes için ulaşılabilir ve ucuz hale getirilmesinin gerekliliği belirtilmiştir.

Özdemir ve ark. [9] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye'nin 2030 yılına kadar enerji kullanımı, endüstriyel ve tarımsal üretimden kaynaklanan CO₂ emisyonları ile toplam CO₂ emisyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Lineer ve logaritmik modellerde yapılan hesaplamalarla 2030 yılında Türkiye'nin kişi başına toplam CO₂ emisyonunun sırasıyla 7,6 ve 7,7 ton CO₂'e ulaşacağı raporlanmıştır.

Zhang ve ark. [10] tarafından yapılan çalışmada Çin'de ulaşım sektörü için güncel ve detaylı bir emisyon envanteri oluşturulması amaçlanmış, farklı senaryolarda 2020'den 2035'e kadar olan dönem için kirletici emisyonları tahmin edilmiştir. Çalışmada temel senaryo, kirliliğin azaltılması senaryosu, yeşil ulaşım senaryosu ve güçlendirilmiş düşük karbon senaryosu olmak üzere 4 senaryo oluşturularak Henan şehrindeki emisyonlar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Emisyon azaltma etkisinin, en çok düşük karbon senaryosunda görüldüğü, bunu yeşil ulaşım senaryosunun takip ettiği bildirilmiştir. Düşük karbon senaryosuna göre 2035 yılına kadar SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, VOC'ler, NH₃, CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarının sırasıyla %72, %30, %55,6, %56, %38,6, %39,7, %51,5, %66,1, %65,5, %55,4 ve %52,8 oranında azaltılabileceği raporlanmıştır.

Maizlish ve ark. [11] tarafından yapılan çalışmada, sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik ortaya koyulan ulaşım stratejilerinin, sağlık üzerindeki olumlu etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada San Francisco Körfezi'ndeki seyahat modelleri ve yaralanmalar, fiziksel aktiviteler, ince partiküler madde ve sera gazı emisyonu istatistikleri incelenmiştir. Genellikle düşük emisyonlu otomobillerle seyahat edilen, kısa mesafelerde yürüyüş ve bisiklet kullanımının tercih edilmesinin, sağlık üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Ortalama günlük yürüyüş ve bisiklet kullanımının 4 dakikadan 22 dakikaya çıkarılmasıyla kalp ve damar hastalıkları ile diyabet yükünün %14 azaldığı, trafik yaralanmaları yükünün %39 arttığı, sera gazı emisyonlarının %14 azaldığı raporlanmıştır.

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında Montreal Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi çeşitli çalışmalarla küresel ölçekte yönetim stratejisi ve entegrasyonun sağlanması amaçlanmaktadır. Bu çerçevede ülkemizde de iklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik önlemlerin belirlenmesi için somut çalışmalar başlatılmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması ile Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle hazırlanacak emisyon envanteri yardımıyla iklim değişikliği ile mücadele kapsamında sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik önlemlerin belirlenmesi ve planlanması için güvenilir bir ulusal veri tabanı oluşturulmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışma genel olarak iklim değişikliği, enerji dengesi, sera gazları, sera gazı emisyonunun belirlenmesi ve Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonu envanteri oluşturulmasını kapsamaktadır. Çalışmanın öncelikli amacı ulusal sera gazı emisyonu veri tabanına yerel ölçekte katkı sağlanması ve ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturmasıdır.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA ETKİSİ

2.1 İklim Değişikliği

İnsanlığın içinde bulunduğumuz bu son dönemde mücadele etmesi gereken en büyük çevresel kaynaklı sorunlarından birisi küresel boyutta yaşanan iklim değişikliğidir. İklim genel olarak bir yerde 30 yıldan daha az olmayacak şekilde uzun bir süre gözlemlenen meteorolojik koşullar olarak değerlendirilmektedir. Daha detaylı olarak iklim kavramı ile sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgar, yağış vs. gibi hava olayları düzeninin uzun vadeli bölgesel ve hatta küresel ortalaması ifade edilmektedir [12]. Buna bağlı olarak da iklim değişikliği dünyanın yerel, bölgesel ve küresel iklimini oluşturan ortalama hava koşullarında meydana gelen, etkileri büyük ölçekli olarak gözlemlenecek ve hissedilecek olan uzun vadeli değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Yerkürenin iklim sisteminde meydana gelen bu değişikliğin en önemli sebebi insanoğlunun kontrolsüz ve sınır tanımayan faaliyetleri olarak gösterilmekte ve söz konusu faaliyetler başta aşırı fosil yakıt kullanımı ve sanayileşme olmak üzere ormanların tahrip edilmesi, arazi kullanım değişikliği, tarımsal etkinlikler ve hayvancılık olarak sıralanmaktadır. Bunların yanısıra insan faaliyetleri ile baskı altına alınan doğal süreçlerin, El Nino, La Nina gibi döngüsel okyanus hareketleri, Pasifik Dekadal Salınımı (PDO) gibi iç değişkenliklerin ve volkanik faaliyetler, dünyanın yörüngesindeki değişiklikler gibi dış zorlamaların da iklim değişikliğine katkıda bulunduğu düşünülmektedir [12-14].

Büyük ölçüde sürdürülemez bir çevre ve rasyonel olmayan doğal kaynak yönetimi anlayışının sonucu olarak yaşadığımız iklim değişikliğinin, kısa veya uzun vadede kalıcı ve kontrol edilemez etkileri ile ekosistem üzerindeki tahribatı hızlandıracağı bir gerçektir. Aşırı rüzgarlar, kasırgalar, tayfunlar, tropikal fırtınalar, aşırı yağışlar, dolu fırtınaları, ani seller, toprak kayması, sıcak hava dalgaları, kuraklık, kontrol edilemeyen yangınlar, kutuplardaki ve karalardaki buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, asitleşme, çölleşme, tür dağılımındaki değişiklikler, biyoçeşitliliğin kaybolması bu değişimden kaynaklanan ve giderek daha da şiddetli şekilde tüm dünyayı etkileyecek olan doğa olaylarıdır [12,13,15,16].

2.1.1. İklim Değişikliğinin Etkileri

Günümüzde iklim değişikliğinin nedenleri ile ilgili çalışmaların yanısıra sorunun boyutları, ekolojik, sosyolojik, kültürel ve ekonomik sonuçları ile de ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Hızlı veya yavaş başlayan olaylar olarak sınıflandırılan değişimlerin yaşanmaya başlaması ile gündeme gelen araştırmalar iklim verileri, küresel kara ve okyanus

sıcaklıklarındaki değişiklikler gibi temel göstergelerin izlenmesi ve incelemesinin yanısıra çeşitli fiziksel, biyojeokimyasal ölçümler, geçmişle, günümüzle ve gelecekle ilgili değerlendirmelerde bulunabilmek için çeşitli model çalışmaları ile yerden, havadan, uzaydan yapılan gözlemler temelinde ilerlemektedir. Bu çalışmalarda 20. yüzyılın ortalarından itibaren iklim sisteminde gözlemlenen değişikliklerin artarak devam edeceği ve etkilerinin küresel çevresel değişikliklerin en önemli itici gücü olarak dünyanın her yerinde buna bağlı olarak da tüm insanların yaşamları üzerinde kendini göstereceği öngörülmektedir [12,13,15,16,17]. Bunların yanısıra günümüzde yaklaşık 3,6 milyar insanın iklim değişikliğinden öncelikli olarak etkilenen bölgelerde yaşadığı belirtilmektedir. Bunula ilgili olarak gerekli tedbirler alınmazsa 2050 yılına kadar 216 milyon insanın kendi ülkeleri içinde göç etmek zorunda kalabileceği, 2030 yılına kadar bu anlamda en çok etkilenecek kritik alanların ortaya çıkacağı ve sorunun giderek daha fazla genişleyip yayılacağı ifade edilmektedir [13,15,17].

Bunlarla birlikte iklim bölgelerinde gözlemlenen kaymalar da, yani kurak iklim kuşaklarının genişlemesi ve kutup iklim kuşaklarının daralması da yine sorunun farklı bir boyutu olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır. Bu kaymaların bitki ve hayvan türlerinin dağılım düzeni, yaşayış alanları ve ekolojik davranışları üzerindeki etkileri her geçen gün daha da artan şekilde görülecektir. Önümüzdeki yıllarda ayrıca tarımsal üretimin ve verimin toprak ile ilgili fiziksel, kimyasal, biyolojik yapı, nem, sıcaklık gibi edafik faktörler ve iklim arasındaki uyumsuzluk nedeni ile önemli ölçüde azalması beklenmektedir. Bu beklentinin temel dayanağını ise tarım için uygun iklim koşullarının verimsiz bölgelere kayacağını, verimli bölgelerin ise şiddetli iklim koşulları altında kalacağını gösteren çalışmalar oluşturmaktadır [18]. Dünyanın birçok bölgesinde kuraklığın bununla ilişkili olarak da yoksulluğun artacağı, insanların temiz suya ve gıdaya erişiminin zorlaşacağı yine iklim değişikliğinin potansiyel sonuçları olarak sıralanmaktadır. Bütün bu çalışmalar ve öngörüler iklim değişikliğinin 21. yüzyılda küresel sağlık üzerinde doğrudan veya dolaylı bir tehdit oluşturduğunu başta su ve gıda kaynaklı olmak üzere hastalık riskini arttırdığını açıkça ortaya koymaktadır [13,15,17]. Şekil 2.1’de iklim değişikliğinin sağlık riskleri ile ilişki ve insan sağlığı üzerindeki etkileri verilmektedir.



Şekil 2.1. İklim değişikliğinin sağlık riskleri ile ilişkisi ve etkileri [13].

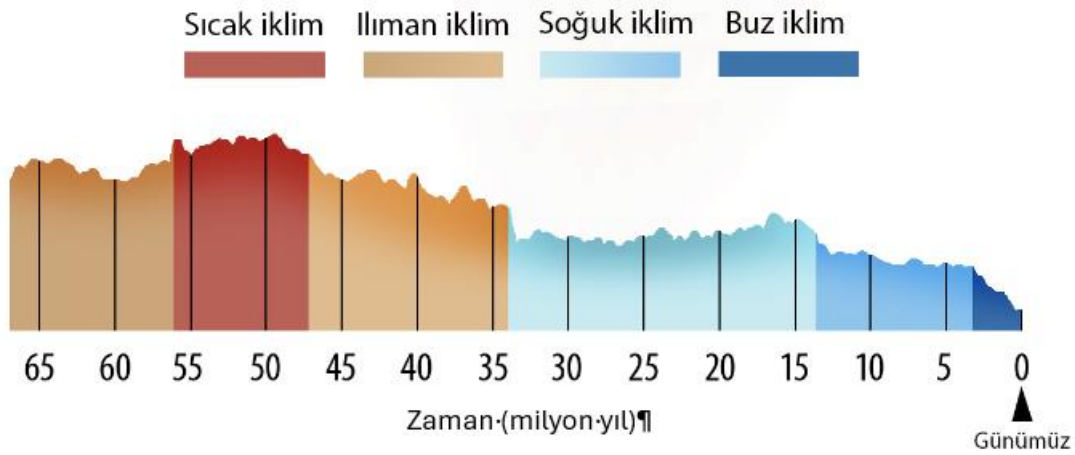
Dünya genelinde 2030 ve 2050 yılları arasında iklim değişikliğine bağlı olarak yalnızca sıtma, ishal gibi hastalıklar, yetersiz beslenme ve sıcaklık stresinden kaynaklanan yılda yaklaşık 250 bin ek ölümün yaşanacağı tahmin edilmektedir. Özellikle düşük gelirli ülkeler için sağlık üzerinde çok daha ağır etkilerin söz konusu olduğu ve sağlık alt yapısı zayıf olan ülkelerin bununla mücadele etmede zorlanacağı bilinmektedir.

Bu noktada iklim değişikliği ile mücadele önlem alınmadığı takdirde sorunun hız kesmen devam edeceği, aşırı iklim koşullarının yıkıcı güç haline geleceği ve tüm doğrudan ve dolaylı etkileri ile uluslararası sistemi ve dengeleri kararsızlaştıracağı gerçeği dikkate alınarak kararlılıkla uygulanmalıdır. Küresel ölçekte samimi ve acil eylem gerektiren bu mücadelenin aynı zamanda büyük sosyal, ekonomik, teknolojik değişiklikler ve dönüşümlerle ilerleyeceği bilinmelidir [13,15,17].

2.2 Küresel Isınma

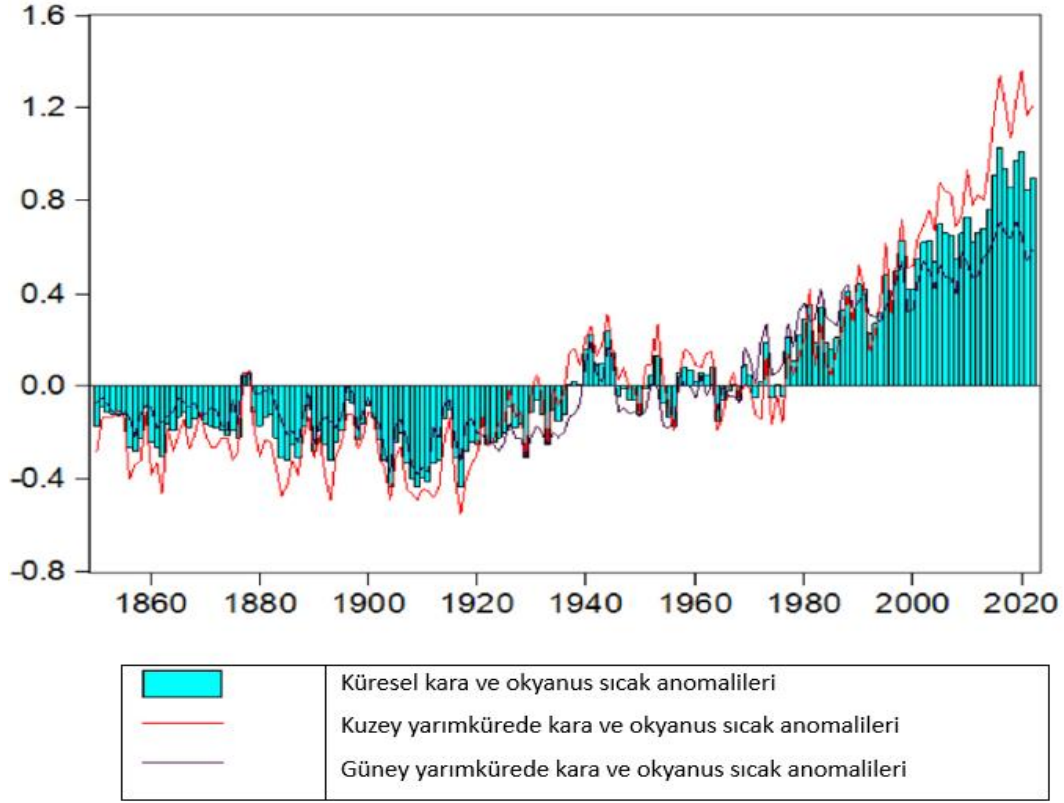
Küresel ısınma, dünyanın ortalama sıcaklığında başta fosil yakıt kullanımı olmak üzere insan faaliyetleri kaynaklı gözlemlenen uzun süreli bir artışı ifade etmektedir. İklim değişikliğinin temel nedeni ve göstergesi olarak yerkürenin bu döneminde yaşanan küresel ısınma ortaya çıkışı, ilerleyişi ve olası sonuçları ile oldukça büyük bir çevresel sorun konumundadır.

Yerküre tarihi hakkında yapılan bilimsel çalışmalar, dünyanın oluşumundan günümüze iklim sisteminin sabit olmadığını, farklı zaman dilimleri içinde önemli değişiklikler geçirdiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle dünya sistemindeki değişimlerle ilgili doğru değerlendirmelerin yapılabilmesi insanoğlunun yerküreyi bir sistem olarak dinamikleri ve dengeleri ile anlayıp yorumlayabilmesi ile ancak mümkündür. Dünyanın iklim sistemi okyanusların, kara yüzeylerinin, kriyosferin ve biyosferin etkileşimi tarafından kontrol edilmektedir. Bu sistemde meydana gelen değişiklikler çoğunlukla 66 milyon yıl önce başlayıp günümüze kadar devam eden Senozoik Dönem esas alınarak incelenmektedir. Dünya tarihinin bilimsel olarak üçüncü jeolojik zamanı kabul edilen Senozoik Çağ, her biri milyonlarca yıl süren ve kendi içlerinde de belirli süreçleri içeren paleojen (65-23 milyon yıl önce), neojen (23-2,6 milyon yıl önce), ve kuaterner (26 milyon yıl önceden günümüze) olarak üç döneme ayrılmaktadır. Erken döneminde sıcaklığın günümüzden yaklaşık 10⁰C daha fazla olduğu ve her döneminde farklı iklimlerin yaşandığı Senozoik Çağ'da sürecin daha kararlı ve sıcaktan, buzla kaplı kutuplar ve soğuk iklim koşullarına doğru ilerlediği düşünülmektedir [19,20]. Yapılan çalışmalarda yaklaşık 34 milyon yıl önce soğumaya başlayan yerkürede, 20 bin yıl önce ortalama yüzey sıcaklığının -7⁰C olduğu bu değer son 1000 yılda 0⁰C'ye yükseldiği belirtilmektedir [21,22]. Şekil 2.2'de Senozoik Çağ'da baskın olan iklim koşulları şematik olarak verilmektedir.



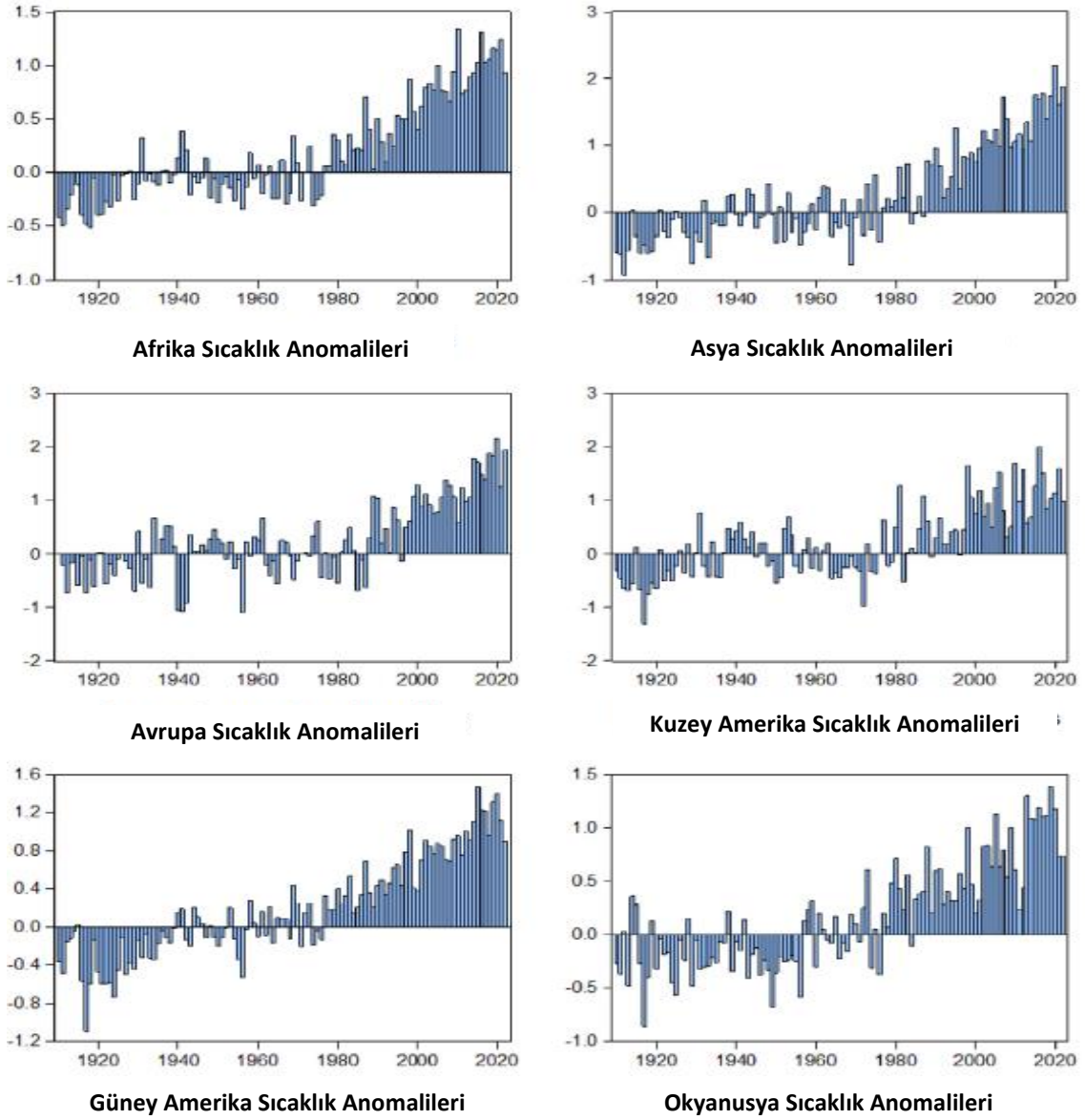
Şekil 2.2. Senozoik Çağ'da iklim koşullarının değişimi [23].

Yerkürenin bu farklı dönemlerine uzun süreli hakim olan sıcak, ılıman, soğuk, buz iklim koşulları ve geçişlerin yanısıra daha kısa süreli yaşanan değişikliklerin tamamen doğal süreçlere bağlı olarak gerçekleştiği kabul edilmektedir. Ancak başlangıç noktası Sanayi Devrimi kabul edilen ve yerküre tarihi açısından çok küçük bir zaman dilimini kapsayan içinde bulunduğumuz bu son dönemde tüm doğal süreç ve dengeler üzerinde insanoğlunun boyutları ve sonuçları çok da bilinmeyen doğrudan veya dolaylı müdahalesinin olduğu bilinmektedir. Endüstri Çağına geçiş süreci olarak da kabul edilen Sanayi Devrimi, ana enerji kaynağının kömür ve ana hammaddenin demir olduğu makineleşme dönemidir. Bu süreç sanayileşmeye bağlı olarak tüm dünyada ekonomik, teknolojik, sosyolojik, kültürel değişimlerin çok hızlı gerçekleştiği ve insanoğlunun yerküre üzerinde hiç olmadığı kadar etkili olduğu farklı bir dönemin başlangıcı konumundadır. Sanayi Devrimi ile bağlantılı olarak uygulanan ekonomik modellerin hızlı, kontrolsüz ve sınırsız endüstriyel üretim hedefleri, tüm dünyada başta gündelik hayatın öncelikleri ve alışkanlıkları olmak üzere yaşam şeklini söz konusu hedeflerle uyumlu olacak şekilde etkilemektedir. Canlılığın devamı açısından sürdürülebilir olmayan bu yaklaşımın sonuçları gelinen noktada doğanın tüm sistemlerinde karşılaşılan değişimler, bozulmalar ile küresel ve görünür boyutlardadır. Tüm dünyada sanayileşme ve aşırı endüstriyel üretim, kentleşme, hızlı nüfus artışının yanısıra ve hareketliliğin de artması fosil enerji kullanımını arttırmaktadır. Sanayi Devriminden günümüze yaklaşık son 200 yılda 1,1⁰C'nin üzerinde bir sıcaklık artışının gerçekleştiği ve günümüz şartlarında bu artışın her on yılda bir 0,2⁰C'nin üzerinde olacak şekilde daha da hızlanarak bin yıldır benzeri görülmemiş bir hızla devam ettiği bildirilmektedir [12,22]. Şekil.2.3'de 1900-2000 yılları arasındaki sıcaklık ortalamaları göre, 1850-2022 yılları arasında küresel, kıtasal kara ve okyanuslardaki sıcaklık anomalileri verilmektedir.



Şekil.2.3. 1850-2022 yılları arasındaki sıcaklık anomalileri [22].

Literatürde 1850 ve 2022 yılları arasındaki küresel ve kıtasal sıcaklık anomalilerinde, $-0,17^{\circ}\text{C}$ 'den $0,9^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar uzun vadeli bir artış eğiliminin görüldüğü belirtilmektedir. Aynı zamanda Kuzey Yarımküre'deki sıcaklık artışının, Güney Yarımküre'nin yaklaşık iki katı kadar olduğu ve bu durumun sanayileşme ve yüksek karbon emisyonu kaynaklı gerçekleştiği ifade edilmektedir. Şekil 2.4'de Afrika, Asya, Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika ve Okyanusya gibi dünyanın farklı bölgelerindeki sıcaklık anomalileri verilmektedir.

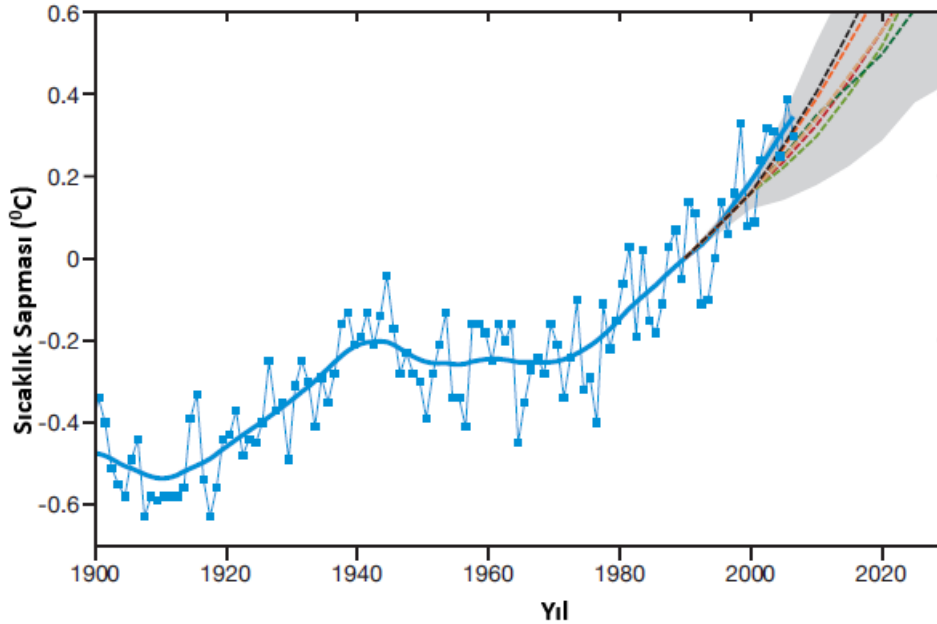


Şekil 2.4. Farklı bölgelerde sıcaklık anomalileri [22].

Yapılan çalışmalar Asya kıtasının $0,26^{\circ}\text{C}$ ile en yüksek, Okyanusya'nın ise $0,17^{\circ}\text{C}$ ile en düşük sıcaklık anomali değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum Asya'daki nüfus yoğunluğu ve ekonomik faaliyetlerin Okyanusya'ya göre çok daha fazla olması ile açıklanmaktadır. Ayrıca sıcaklık anomalilerindeki dalgalanmaların en fazla Avrupa en az Afrika kıtasında gerçekleştiği ve Avrupa'da son 30 yılda izlenen sıcaklık artışının dünya ortalamasının yaklaşık 2 katı olduğu belirtilmektedir [22].

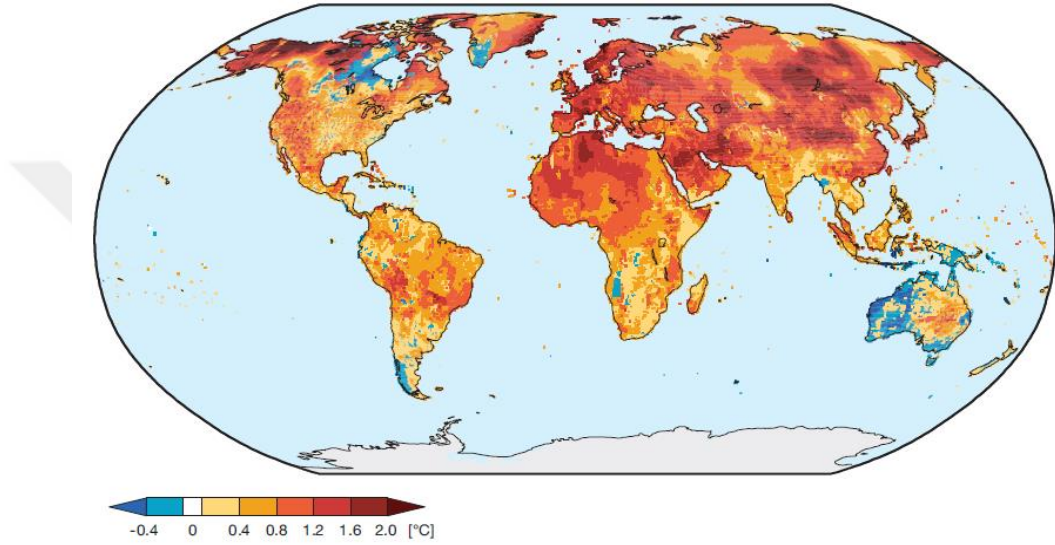
2.2.1 Küresel Isınmanın Sistemsel Yansımaları

Yerkürenin sıcaklık artışına hemen tepki vermediği bilinmekle birlikte gelinen noktada ısınmanın şiddeti arttıkça, etkilerinin de boyutları ve sonuçları ile şiddetlendiği görülmektedir. Küresel ısınma insanlığın varlığı ve sürdürülebilirlik hedefleri açısından önündeki en büyük engel konumundadır. Küresel enerji dengesindeki bozulmanın en dikkat çeken sonuçlarından birisi de sıcaklık artışının dönem veya bölgelere eşit dağılmamasıdır. Bunun sonucunda da dünyanın farklı bölgelerinde sıcak hava dalgaları, soğuk hava dalgaları, aşırı yağışlar, su baskınları, yoğun kış, kuraklık gibi aşırı hava şartlarına bağlı farklı sorunlar yaşanmaktadır. Etkileri ve şiddeti yerkürenin her bölgesi için aynı olmasa da küresel bir olgu olduğu ve küresel bir çaba gerektirdiği açıktır. Tüm dünyada mevcut ısınma seviyelerine bağlı kuraklık artışı, su stresi yaşanan coğrafyanın genişlemesi, toprak erozyonu, bitki örtüsü kaybı, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, kıyıların değişmesi, tropik ürün veriminin azalması, doğal yaşam alanlarının zarar görmesi, artan ve günlerce süren orman yangınları öncelikli gözlemlenen çevresel bozulmalardır. Ancak geçmişten günümüze yapılan ölçümler ve kaydedilen sıcaklık artışları esas alınarak oluşturulan senaryolar gelecekte mevcut durumun çok daha ağırlaşaacağını göstermektedir [18,24,25]. Şekil 2.5’de 1990-2006 yılları arasında kara ve denizdeki sıcaklık değişimleri ve gelecek senaryoları verilmektedir.



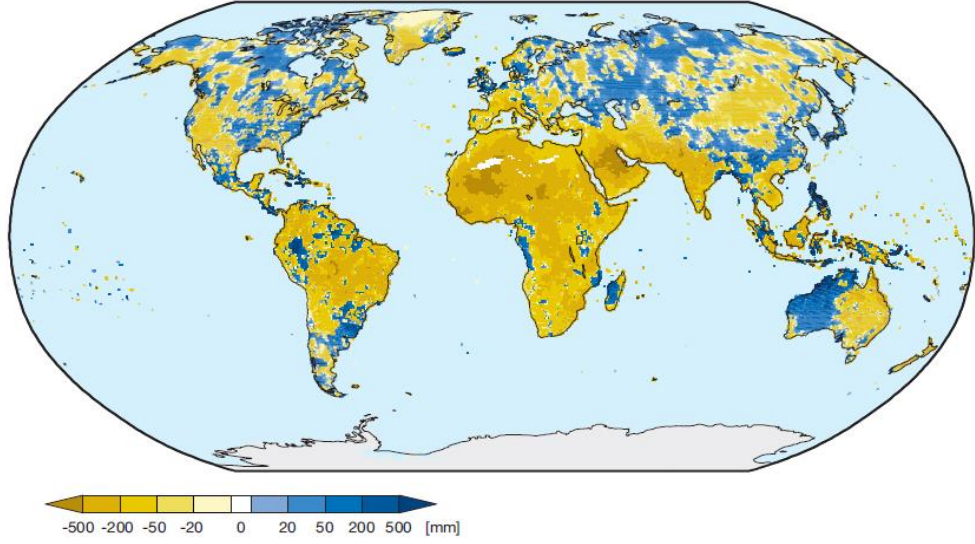
Şekil 2.5. Küresel sıcaklık dinamikleri [15].

Gelecekle ilgili senaryolarda 2030 yılına kadar ortalama sıcaklığın 2005 yılına kıyasla 0,4-0,6 °C aralığında artacağı, yakın gelecekte küresel ısınma eğiliminde kayda değer bir yavaşlama yaşanmayacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte son yıllarda sıcaklık artışında önemli bölgesel farklılıklar görüldüğü, bazı yerlerde 0,6 °C olarak gerçekleşen artışın bazı yerlerde 2 °C ve üzerinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.6'da 1975-2004 yılları arasında karasal alandaki küresel ısınma eğilimleri verilmektedir.



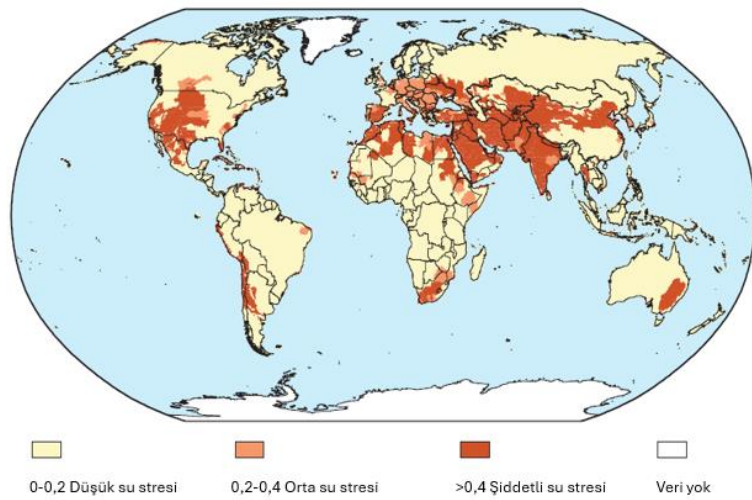
Şekil 2.6. Karasal ısınma eğilimleri [15].

Buna göre karalarda sıcaklık artışı, küresel ortalamadan daha hızlı seyretmektedir. Ayrıca yüksek enlem bölgelerinde küresel ısınma daha hızlı ilerlemekte ve burada yaşayan insanlar buna bağlı sorunlarla daha önce ve ciddi şekilde yüzleşmektedir. Özellikle son yıllarda Avrupa'da yaşanan sıcak hava dalgaları ve görülme periyotlarındaki artış, sonuçları ile değerlendirildiğinde durumun gelişmiş ya da gelişmekte olan tüm ülkeler açısından yıkıcılığını göstermesi açısından önemlidir. İklim koşullarında ısınmaya bağlı yaşanacak değişikliklerden birisi de yağış rejiminde görülen farklılıklardır. Isınma ile buharlaşmaya paralel olarak, yağış miktarı da dünyanın bazı bölgelerinde artmaktadır. Atmosferik nem göz önüne alındığında bu artış her ısınma derecesi için yaklaşık %1-2 civarında olmaktadır. Şekil 2.7'de 1975-2004 yılları arasında iklimsel su dengesinin bölgesel dağılımı verilmektedir.



Şekil 2.7. İklimsel su dengesinin bölgesel dağılımı [15].

Küresel ısınma tatlı su miktarı üzerinde de giderek artan bir etkiye sahiptir. Tatlı su dünya genelindeki suyun yalnızca %2,5'ine karşılık gelmekte, bunun 2/3'den fazlası da buzul ve kalıcı kar şeklinde depolanmaktadır. Antartika kıtasının %98'ini oluşturan buzullar dünyadaki tüm tatlı suyun yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Tatlı su, yenilenme hızı suyun küresel hidrolojik döngüde dolaşım hızına göre belirlenen yenilebilir bir kaynaktır. Döngünün işleyişi ile ilgili yağış, buharlaşma, kar ve buzların erimesinde görülen değişiklikler mevcut su kaynaklarını etkileyerek yerel ve bölgesel sorunlara neden olmaktadır. Şekil 2.8'de dünya genelindeki su stresi yaşanan bölgelerin durumu verilmektedir.

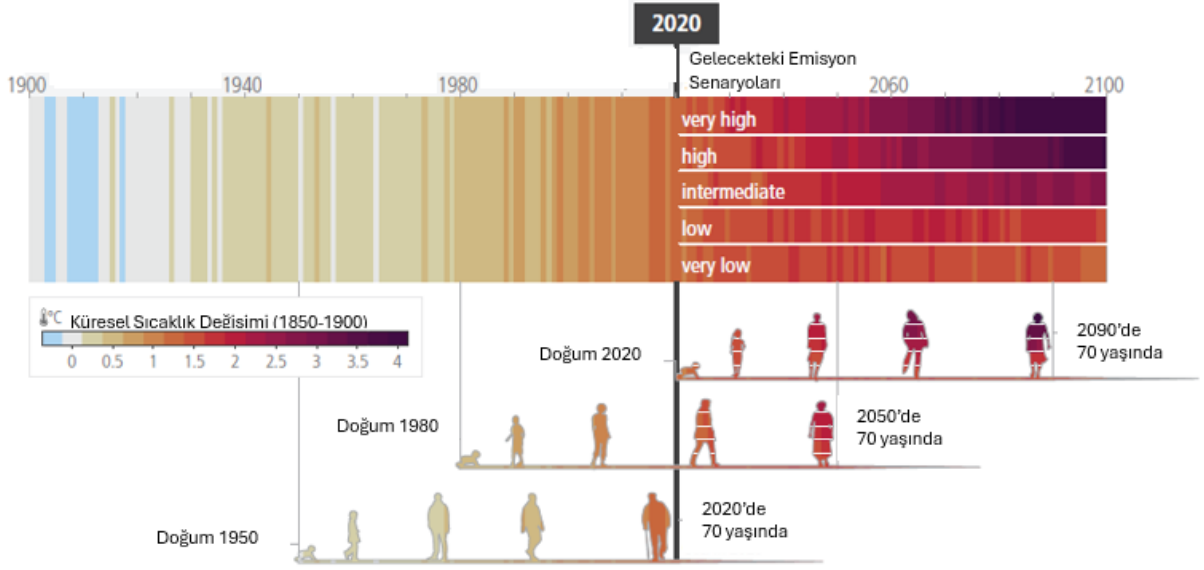


Şekil 2.8. Su stresi yaşanan bölgelerin dağılımı [15].

Genel olarak su stresi ve seviyeleri ile ilgili farklı yaklaşımlar olmakla birlikte literatürde çoğunlukla tüketilen tatlı su miktarının yenilenebilir kaynaklara oranını ifade etmektedir [26]. Mevcut su kaynaklarının %40'ından fazlasının bölge halkı tarafından kullanılıyor olması o bölge için su stresinin söz konusu olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Geleceğe yönelik tahminlerde küresel su talebinin 2050 yılına kadar %20-25 oranında artacağı, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'nın yüksek su stresi yaşayan bölgeler olacağı öngörülmektedir. Ayrıca yine 2050 yılına su stresi yaşayan kentsel nüfusun 1,7-2,4 milyara kadar çıkmasının beklendiği bildirilmektedir [15,27,28].

Küresel ısınmanın doğal sistemler üzerindeki etkilerinin ekonomik sistemlere de yansımalarının olacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Tarımsal üretim iklime doğrudan bağlı ve sıcaklık değişikliklerden en fazla etkilenen sektörlerden birisidir. Küresel ısınmanın neden olduğu kuraklık, toprağın yapısal özelliklerinin bozulması, tarımsal ekim alanlarının ve verimin azalması, üretim maliyetinin artması ile sonuçlanmakta bu da işgücü istihdamını doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalar sıcaklığın 1 °C artmasıyla kırsal kesimde tarımsal üretim için harcanan zamanın %7 oranında azalacağını göstermektedir. Ancak tarım dışı üretim kaybı, beklenenin aksine tarımdaki kayıptan çok daha büyüktür. Yüksek sıcaklık uzun vadede ekonomik üretim faaliyetleri ve işgücü piyasasının yapısını değiştirerek, bölgesel işgücünde yapısal dengesizliğe neden olmaktadır [22].

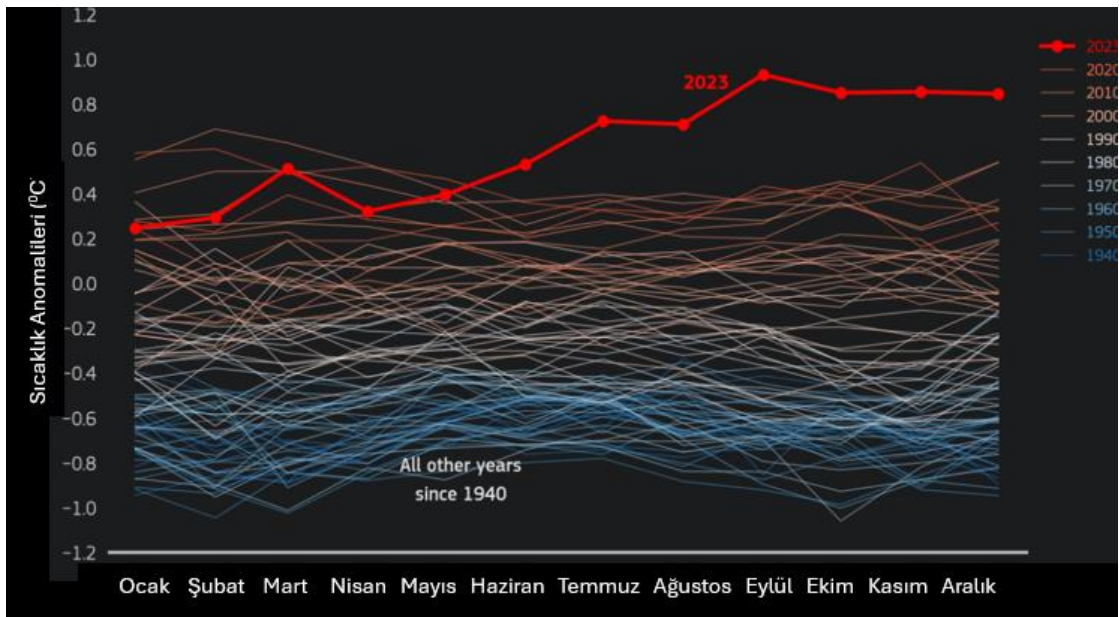
Tüm bu etkileri ve sonuçları ile küresel ısınma büyük ölçüde de sorumlusu olduğu değişikliklerin ve bozulmaların yansımaları olarak insanlığın yeni mücadele alanını oluşturmaktadır. Ekosistemin bir parçası olarak insanlığın bu değişikliklere göstereceği tepki çok da ön görülemezle birlikte yerküredeki devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.9'da 1850-1900 referans aralığına göre küresel ısınmanın ilerleyişi ve nesiller üzerinde 1900-2020 yılları arasında gözlemlenen, 2021-2100 yılları arasında öngörülen etkileri şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.9. Küresel ısınmanın ilerleyişi ve etkileri [29].

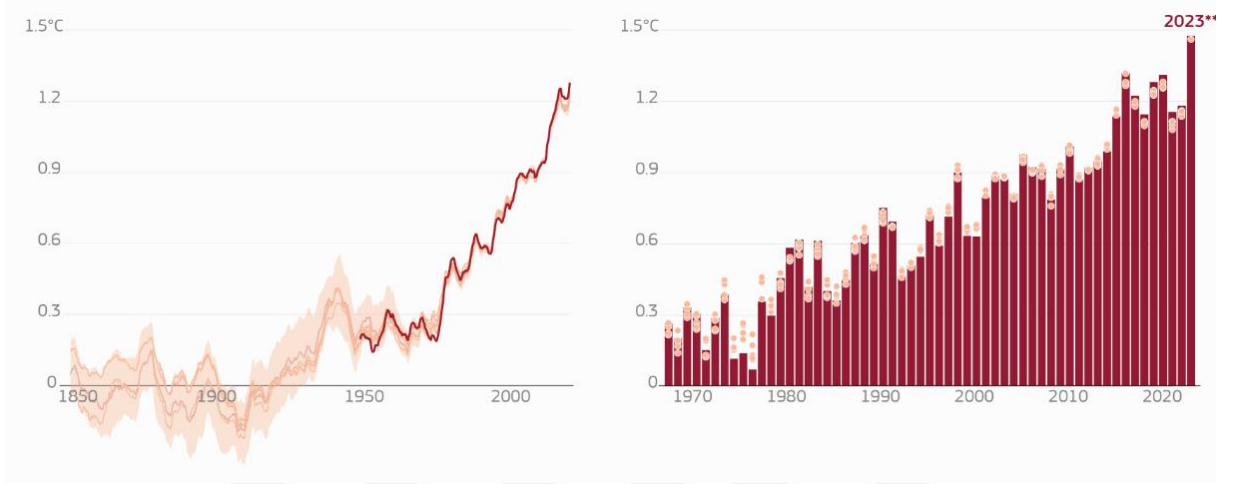
2.2.2 Küresel Isınmaya Bağlı Güncel Değerler

Küresel ısınma ile ilgili tablonun, özellikle son yıllarda tarihe geçen yüksek ortalama sıcaklıkların görülme sıklığındaki artışlar dikkate alındığında her geçen gün daha da ağırlaşacağı anlaşılmaktadır. Şekil 2.10'da 1940-2023 yılı arasında gözlemlenen küresel ortalama sıcaklık anomalileri verilmektedir.



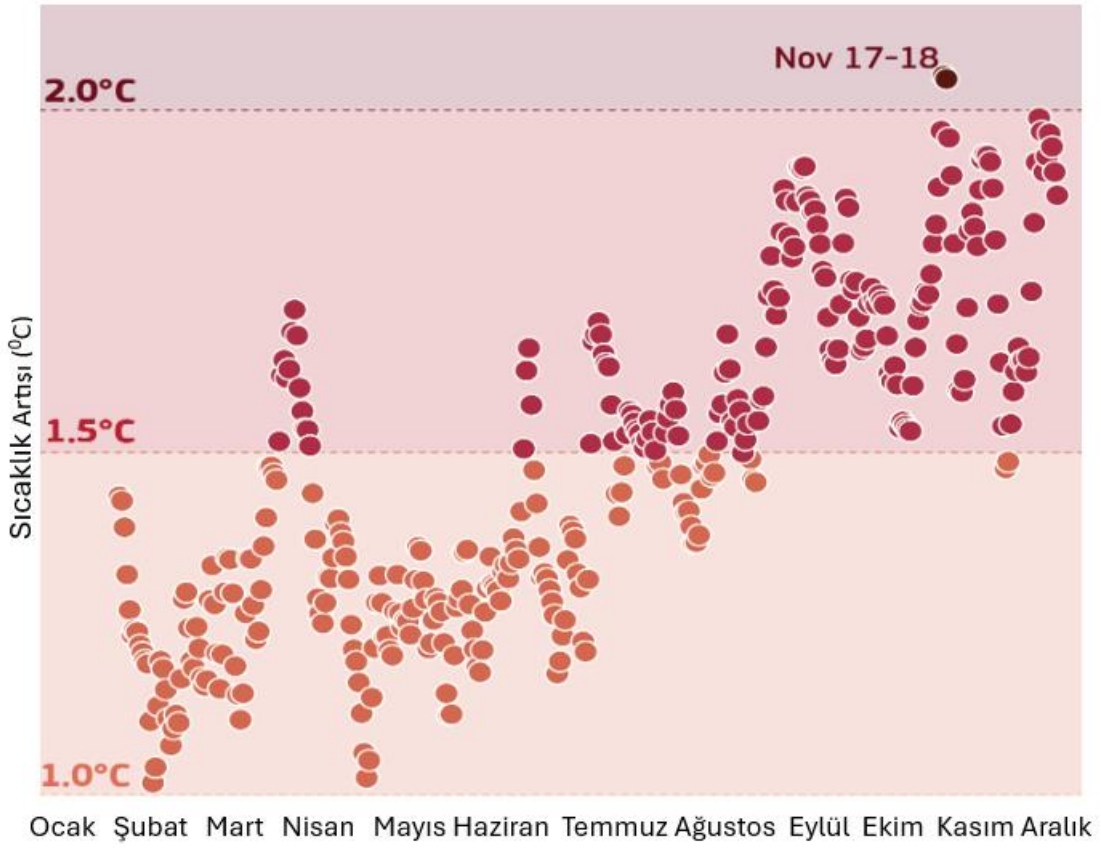
Şekil 2.10. 1940-2023 yılı küresel ortalama sıcaklık anomalileri [30].

2023 yılı kaydedilen 14,98 °C'lık küresel ortalama sıcaklık değeri ile 1850'den bu yana tarihteki en sıcak takvim yılı olarak yerini almıştır. Bu değer bir önceki en sıcak yıl olarak tarihe geçen 2016 yılından 0,17 °C daha yüksektir ve özellikle Temmuz ve Ağustos ayları kaydedilen en sıcak iki ay olarak ilan edilmiştir. Şekil 2.11'de 1850-2023 yılları ve 1967-2023 yılları arasındaki sırasıyla 5 yıllık ve yıllık sıcaklık artışları verilmektedir.



Şekil 2.11. Küresel sıcaklık artışları [30].

2023 yılı aynı zamanda küresel ortalama sıcaklığın bir yıl boyunca her gün için sanayi öncesi sıcaklığa göre yaklaşık 1 °C daha fazla seyrettiği kayıtlara geçen ilk yıl olma özelliğine sahiptir. Yılın yaklaşık %50'sinde sıcaklık söz konusu 1850-1900 döneminden 1,5 °C daha sıcak geçerken, Kasım ayında iki gün ilk defa 2 °C'nın üstüne çıktığı raporlanmıştır. Şekil 2.12'de 1850-1900 dönemine kıyasla 2023 yılındaki günlük sıcaklık artışı 1-1,5 °C, 1,5-2 °C ve 2 °C üstü olarak üç aralıkta verilmektedir.



Şekil 2.12. 2023 yılındaki günlük sıcaklık artışı [30].

Küresel ısınma açısından 2023 yılı ortalama sıcaklığın tüm okyanus havzalarının ve Avustralya dışındaki tüm kıtaların büyük bir kısmında en sıcak veya en sıcağa yakın değerlerin kaydedildiği bir yıl olarak değerlendirilmektedir [30].

2.3 Dünyanın Enerji Dengesi

Yerküre temel enerji kaynağı güneş olan karmaşık bir enerji sistemidir ve sıcaklığı sisteme giren ve çıkan enerji arasındaki dengeye bağlıdır. Enerji bütçesi veya radyasyon bütçesi olarak ifade edilen bu sisteme gelen-giden net enerji akışı, çoğunlukla güneş radyasyonunun oluşturduğu gelen enerji ile kısmen yansıyan, kısmen de dünyadan yayılan radyasyonun oluşturduğu giden enerji arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Bu ilişki dünyanın ısınım sal dengesinin buna bağlı olarak da küresel sıcaklığın stabilitesinin temelini oluşturmaktadır.

Dünya güneş etrafındaki dönüşünü elips şeklindeki yörüngesinde 365 gün, 6 saat, 9 dakikada tamamlamaktadır. Yerkürenin dönme eksenini ile yörünge eksenini arasındaki açısı, yani eksen eğikliği 23,45 derecedir ve bu eğiklik mevsimlerin oluşumu ile mevsimsel enerji dengesi açısından önemlidir [24,31,32]. Küresel olarak yıl boyunca kara yüzeyleri, okyanus ve atmosfer

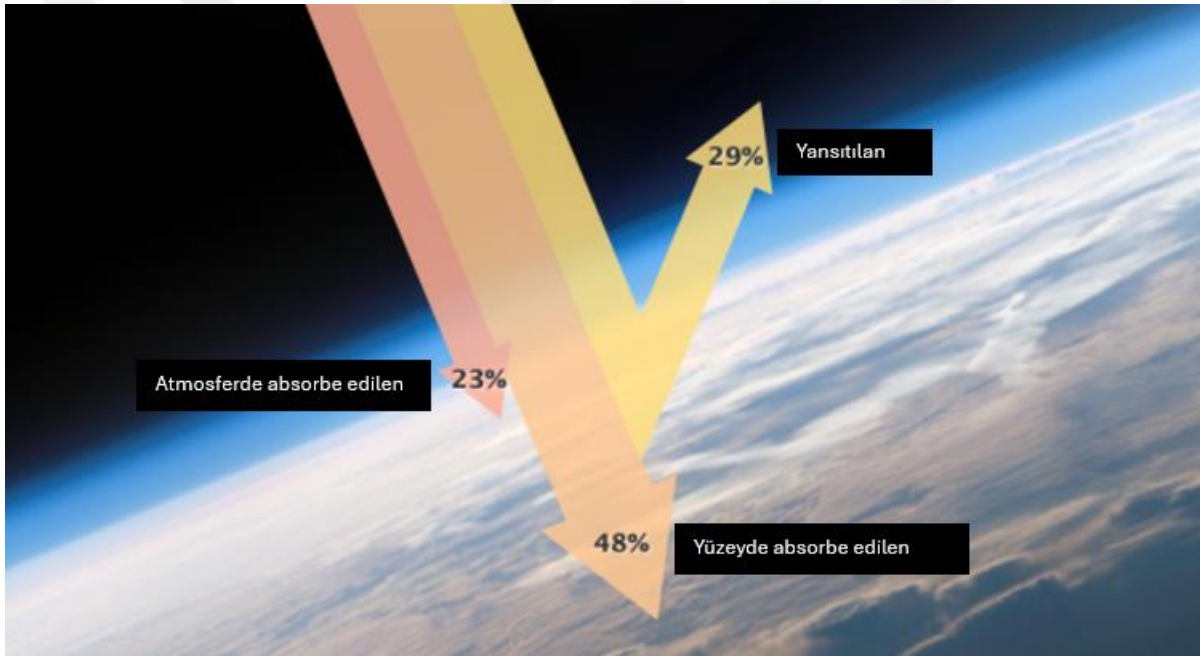
güneş enerjisini absorbe etmektedir. Güneş ışınları küre şeklinde olan dünyanın ekvator bölgelerine nispeten daha dik olarak, kutup bölgelerine ise artan bir açı ile gelmekte buna bağlı olarak da ekvator bölgeleri kutup bölgelerinden daha fazla ısınmaktadır. Atmosfer ve okyanus yüzey suyunun buharlaşması, konveksiyon, yağış, rüzgar ve okyanus sirkülasyonu yoluyla bu sıcaklık farkından kaynaklanan ısı dengesizliği gidermeye çalışmaktadır. Ancak güneş ısısının ekvatorlardan kutuplara doğru dağıtılması dünyanın ısı dengesi açısından tek başına yeterli değildir, aynı zamanda dünya yüzeyi ve alt atmosferden uzaya geri yansıtılması gerekir. Gelen-giden enerji miktarının herhangi bir nedenle artması veya azalması dünyanın ısı dengesini bozarak küresel sıcaklığın yükselmesine veya düşmesine neden olur.

Evrende mutlak sıfırın üzerinde sıcaklığı sahip olan her madde elektromanyetik spektrumdaki bir dalga boyu aralığında enerji yaymaktadır. Işığın enerjisi frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır. Güneş dünyanın güneşten ortalama mesafesindeki bir gezegene sağlayabileceği mümkün olan en yüksek oranda ısıyı sağlamaktadır. Ancak aynı anda dünyanın yalnızca yarısının güneş tarafından aydınlatılıyor olması toplam güneş ısıyı yarıya indirerek dünyaya ulaşan güneş enerjisini sınırlandırmaktadır. Bunun yanı sıra yalnızca ekvatora yakın bölgelere güneş ışığının dik gelmesi, dünyanın diğer bölgelerinin güneş ışığını artan enlemlerle birlikte kademeli olarak azalması ortalama güneş ısıyı yarı yarıya azaltmaktadır [24,32].

Güneşin yüzeyi yaklaşık 5500 °C sıcaklığındadır ve NASA tarafından yapılan ölçümlerde dünyanın güneşten yaklaşık 150 milyon km olan ortalama uzaklığında doğrudan güneşe bakan atmosferin tepesine ulaşan güneş enerjisinin ortalama yoğunluğunun 1360 W/m² olduğu belirtilmektedir. Dünya atmosferinin üst sınırına ulaşan güneş ışığı miktarının küresel ortalaması, toplam güneş ısı dengesinin ¼'ü kadar yani 340 W/m² kadar olmaktadır. Güneş ışığı mekânsal ve zamansal olarak değişiklik göstermektedir. Tropik enlemlerden kutup enlemlerine kadar büyük ölçüde değişen yıllık gelen güneş enerjisi miktarı, aynı zamanda orta ve yüksek enlemlerde de mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Dünyanın eksek eğikliği güneş etrafında dönerken yarımkürelerin doğrudan güneş ışığını sırasıyla almasına ve günlerin daha uzun olmasına neden olmaktadır. Tüm bu bölgesel güneşlenme ve yansıtma miktarlarındaki farklılıklar dünya sisteminin net ısı dengesindeki dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Buna bağlı olarak tropik bölgelerde absorbe edilen güneş ışığı miktarının yayılan ısı miktarından fazla olması net enerji fazlalığına, kutup bölgelerinde absorbe edilen güneş ışığı miktarının yayılan ısı miktarından az olması ise enerji açığı oluşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda

ortaya çıkan yoğunluk ve basınç farkı dünyanın farklı bölgelerinde farklı akımların oluşmasına yol açmakta, atmosfer ve okyanus çeşitli döngüsel hareketlerle gelen-giden enerji dengesini sağlamaya çalışmaktadır [24,32].

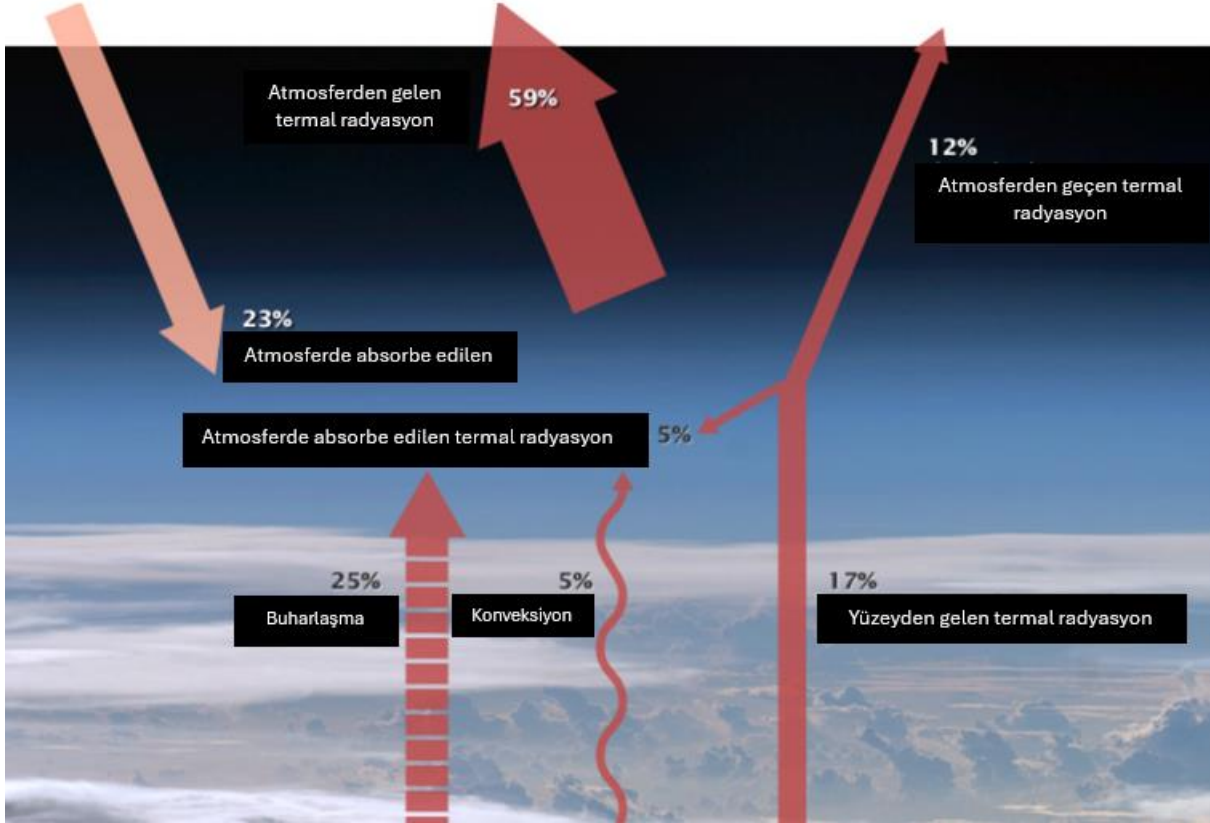
Genel olarak Dünya'ya gelen güneş radyasyonunun %46'si spektrumun kızılötesi (infrared) bölgesinde, %45'i görünür ışık (visible) bölgesinde, %9'u da mor ötesi (ultraviole) bölgesinde yer almaktadır. Güneş ışınları atmosferden geçerek yeryüzüne gelir, bu nedenle de yeryüzüne ulaşan ışınımın miktar ve doğrultusu atmosferde gerçekleşen temel süreçlerin özelliklerine göre farklılaşır. Atmosfere gelen güneş enerjisi farklı oranlarda saçılma, yansıma ve absorpsiyona uğrar, buna bağlı olarak da ancak belirli bir kısmı yeryüzüne ulaşabilir. Şekil 2.13'de Dünya'ya gelen güneş ışınımının dağılım oranları verilmektedir.



Şekil 2.13. Dünya'ya gelen güneş enerjisinin dağılımı [32].

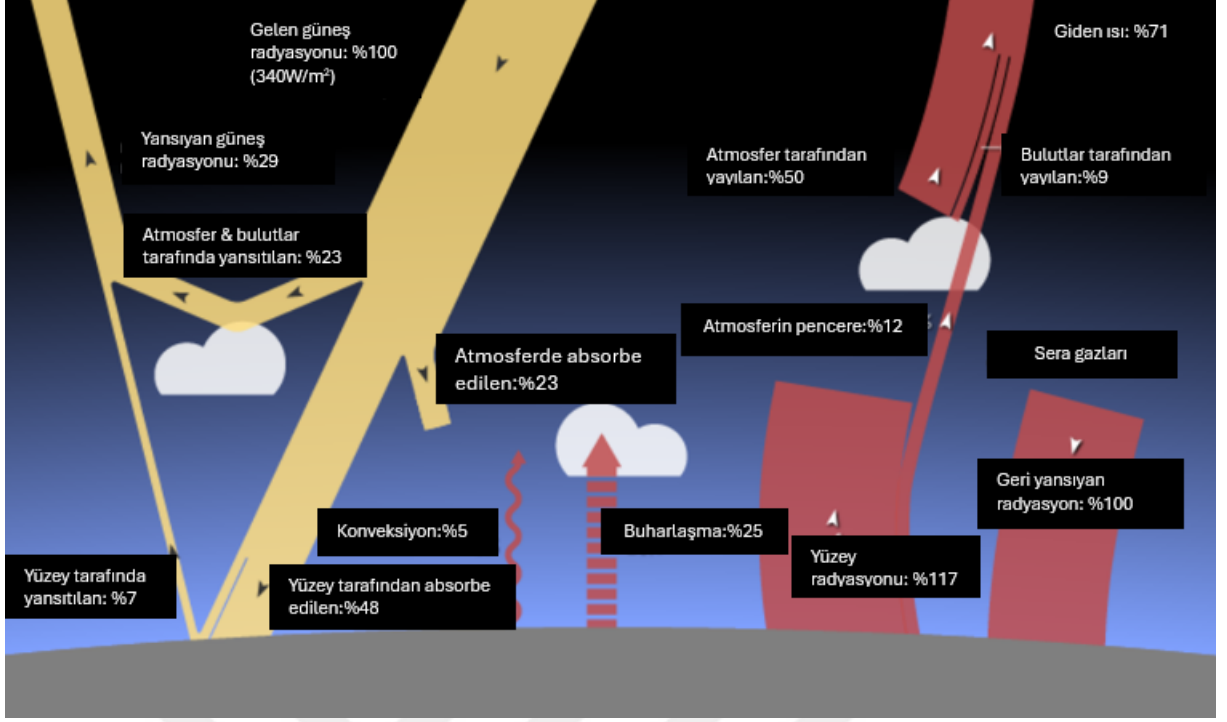
Güneş ışınlarının dünya atmosferindeki hava molekülleri, su molekülleri, aerosoller, bulutlar vs. gibi çeşitli atmosferik elemanlar tarafından ilerleme doğrultusundan saptırılıp, her yöne dağıtılmasına saçılma, bir yüzeye çarptıktan sonra geliş açısına eşit bir açıyla yüzeyden uzaklaşmasına, doğrudan geri gönderilmesine ise yansıma denilmektedir. Absorpsiyon genel olarak saçılma ve yansımadan farklı bir süreçtir. Bu süreç maddenin radyasyonu emerek ısınmasını, bunun sonucunda da elektromanyetik radyasyonun ısı enerjisine dönüşümünü içermektedir [33]. Bu süreçlerin birlikte ilerlediği dünyanın enerji dengesi çerçevesinde atmosferin üst kısmına gelen güneş enerjisi yaklaşık %71 oranında atmosfer ve yer yüzeyi

tarafından emilmekte, yaklaşık %29'u ise bulutlar, atmosferik maddeler, deniz buzulları, kar vs. gibi yüzeyler tarafından uzaya geri yansıtılmaktadır. Dünya sistemi tarafından absorbe edilen güneş enerjisinin yaklaşık %23'ü atmosferde bulunan su buharı, aerosoller, ozon vs. tarafından, %48'i ise atmosferden geçerek yer yüzeyi tarafından soğurulmaktadır. Şekil 2.14'de atmosferde absorbe edilen güneş enerji ve dağılımı verilmektedir.



Şekil 2.14. Atmosferde absorbe edilen güneş enerji ve dağılımı [32].

Dünya sistemi içerisinde absorbe edilen enerji, madde tarafından termal kızılötesi enerji şeklinde yayılmaktadır. Yüzeyin yaydığı ısı, mutlak sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Maddenin sıcaklığı ile yaptığı ışıınım arasındaki ilişki Dünya'nın sürekli ısınmasını önleyen temel mekanizmadır. Bununla birlikte dünyanın ortalama sıcaklığının sabit kalabilmesi için atmosferin ve yer yüzeyinin bu sürece katkısı asimetrikdir. Atmosfer gelen güneş ışığının %59'una eşdeğer ısı yaymaktadır Buna karşılık yüzeyden yayılan ısı yalnızca %12 seviyesindedir. Bu durum güneş enerjisine bağlı ısınmanın büyük bir kısmının yüzeyde, ışıınımsal soğumanın ise atmosferde gerçekleştiğini göstermektedir [24,32,34]. Şekil 2.15'de Dünya'nın gelen güneş enerjisine bağlı enerji sistemi ve dağılımı verilmektedir.



Şekil 2.15. Dünya'nın enerji sistemi ve dağılımı [32].

2.4 Sera Etkisi

Dünyanın enerji dengesi içerisinde, başta su buharı ve karbondioksit olmak üzere atmosferdeki bazı gazlar tarafından ısının, atmosferden çıkışının yavaşlatılması veya önlenmesi sera etkisi olarak ifade edilmektedir [32,35]. Sera etkisi teorisi buzul çağını tetikleyen mekanizmaların araştırılması sırasında bazı gazların ısıyı yakalayabilme özelliğine sahip olduklarının anlaşılması ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmalarda atmosferde bulunan bazı gazların atmosferik sıcaklığı düzenleme özelliğine sahip olduğu, bunun sonucunda da atmosferin yalıtkan bir örtü gibi davranarak yer yüzeyinin ve atmosferin alt katmanının ısınmasını ve küresel ortalama sıcaklığın korunmasını sağladığı belirlenmiştir. Bu durum günümüzde radyatif denge şartlarına göre -18°C civarında olması beklenen Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 15°C 'ye kadar yükselmesinin temel nedeni olarak açıklanmaktadır. Buna göre atmosferik olarak gelişen bu doğal sera etkisinin yerkürenin sıcaklığını, yaşamın mümkün olacağı bir seviyeye yükselterek, koruyan çok önemli bir enerji dengeleme süreci olduğu belirtilmektedir [25,32,35].

Süreç genel olarak Güneş'ten gelen görünür ışığın büyük bir kısmının atmosferden geçerek yer yüzeyine ulaşması ile başlamaktadır. Isınan yüzey tarafından bu enerjinin bir kısmının termal kızılötesi radyasyon olarak uzaya geri gönderilmesi, bir kısmı ise atmosferdeki

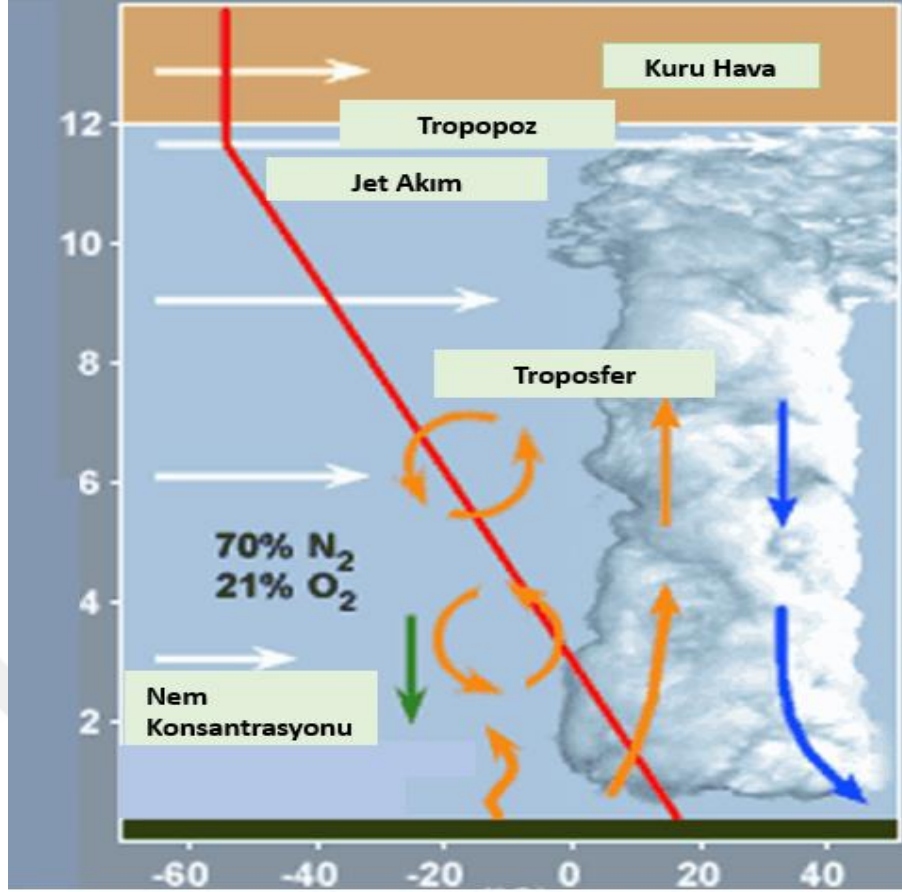
su buharı, karbondioksit gibi termal kızılötesi radyasyonun birçok dalga boyuna karşı opak olan gazlar tarafından emilerek her yöne doğru artan miktarda ısı olarak tekrar yayılması ile devam etmektedir. Bu sırada aşağıya doğru yayılan ısının bir kısmının yine yüzey tarafından emilmesi ile alt atmosferin ısının artması, yüzey sıcaklığının doğrudan Güneş’den gelen enerjiye göre çok daha sıcak olmasının sebebi olarak gösterilmektedir. Söz konusu sürecin ilerleyişinde uzun dalga boylu radyasyonu güçlü şekilde absorbe eden su buharı, karbondioksit, metan vs. gibi atmosferik gazlar temel bileşenleri oluşturmakta ve sera gazı olarak tanımlanmaktadır. Sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları dünyanın ısı dengesi açısından “doğal sera etkisi” ile “arttırılmış sera etkisi” arasındaki farkı belirlemektedir. Buna bağlı olarak da başta karbondioksit olmak üzere atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu artıran her türlü faaliyet uzaya geri gönderilecek termal kızılötesi radyasyonun atmosferden çıkışını engelleyerek küresel ısı dengesinin bozulmasına yol açmaktadır [25,32-34].

3. SERA GAZI EMİSYONU VE KARAYOLU ULAŞIMI

3.1 Atmosferin Katmanlı Yapısı ve Özellikleri

Dünya'nın tamamını çevreleyen ve çeşitli gazların karışımından oluşan atmosfer aynı zamanda mikroskobik katı ve sıvı partiküller de içeren nispeten ince bir zarftır. Kapalı bir sistem olmamasına rağmen uzayla kütle alış-verişi çok sınırlıdır ve oldukça karmaşık bir içsel mekanizmaya sahiptir. Üst noktalarına ulaşan güneş ışınlarının bir kısmını doğrudan absorbe etmektedir. Toplam kuru kütesinin yıllık ortalama $5,13 \cdot 10^{18}$ kg olduğu tahmin edilen atmosfer, aşağıdan yukarıya termal özellikler (sıcaklık değişiklikleri), kimyasal bileşim, hareket, yoğunluk ve basınca bağlı olarak farklılık gösteren katmanlardan oluşmaktadır. Bunlar troposfer, olmak üzere beş temel tabaka ve birkaç tane de sınır veya geçiş tabakası olarak ifade edilmektedir [36-38].

Troposfer: Atmosferin en alt katmanıdır ve hava akımları, bulutlar, nem, yağış, basınç değişiklikleri gibi bilinen meteorolojik olayların neredeyse tamamının gerçekleştiği başlıca bölümüdür. Kalınlığı ısınan havanın yükselmesi, soğuyan havanın çökmesi ve merkezkaç kuvvetinin etkisine bağlı olarak ekvatorda en yüksek, kutuplarda en düşük değerindedir. Buna göre troposferin yer yüzeyinden yüksekliğinin ekvatorda 18-20 km, kutuplarda 6 km, dünya genelinde ise yaklaşık 12 km olduğu belirtilmektedir. Troposfer su buharı ve asılı katı partiküllerin %99'u olmak üzere, atmosferin toplam kütesinin dörtte üçünün bulunduğu katmandır. Kuvvetli hava akımları nedeniyle karışma bölgesi olarak da ifade edilen bu tabakada gazların yoğunluğu ve sıcaklık yerden yükseldikçe hızlı bir şekilde azalmaktadır ve literatürde üst sınıra yakın sıcaklık değeri -51°C olarak verilmektedir. Troposfer ve stratosfer arasında tropopoz olarak adlandırılan çok ince bir ara tabaka daha bulunmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı yaz ve kış aylarına göre değişmekle birlikte kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorda ise 18 km kadardır. Şekil 3.1'de stratosferin yapısı verilmektedir.



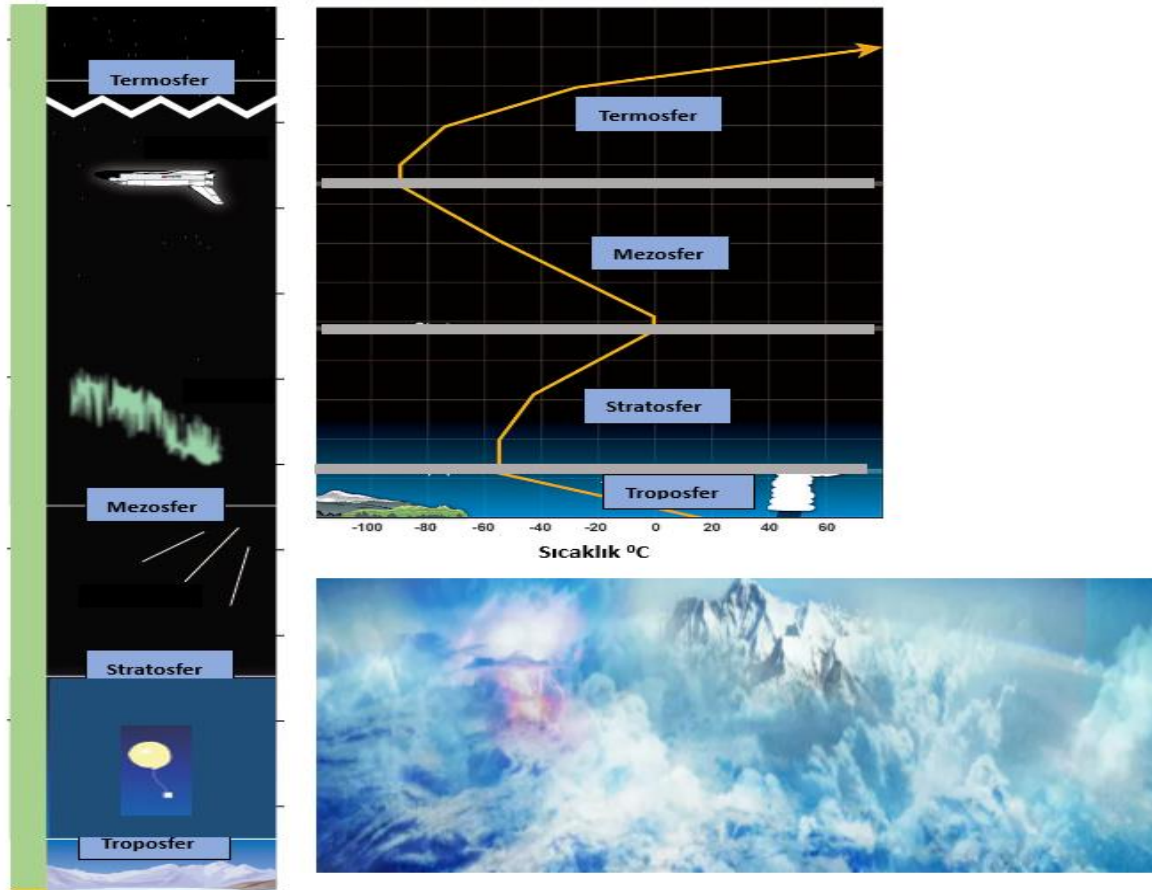
Şekil 3.1. Stratosferin yapısı [39].

Stratosfer: Atmosferde troposferden sonra başlayan ve yer yüzeyinden genel olarak 12-50 km arasındaki yükseklikte yer alan atmosferik katmandır. Atmosferin bu bölgesindeki fotokimyasal reaksiyonlara bağlı olarak stratosfer, güneşten gelen ultraviyole ışınlarının ozon tarafından absorbe edilmesi sonucunda yüksekliğe bağlı sıcak artışıyla karakterize edilmektedir. Atmosferin toplam kütesinin yaklaşık %20'sini içeren stratosfer aynı zamanda oldukça stabil bir tabaka olarak nitelendirilmektedir. Stratosfer ve mezosfer arasında stratopoz olarak ifade edilen ve stratosferle bağlantılı sıcaklığın en yüksek olduğu atmosferik bir sınır seviyesi daha tanımlanmaktadır.

Mezosfer: Yer yüzeyinden yaklaşık 50-80 km arasındaki yükseklikte, stratosfer ve termosfer arasında yer alan atmosfer tabakasıdır. Mezoferde genel olarak yükseklik arttıkça sıcaklığın azaldığı ve -85°C'ye kadar düştüğü belirtilmektedir. Ayrıca hızla atmosfere giren meteorların sürtünmeye bağlı olarak yandıkları tabakadır. Mezosfer ve termosfer arasında mezofere geçiş bölgesi olarak nitelendirilen mezopoz tabakası yer almaktadır.

Termosfer: Mezosferin üzerinde yer yüzeyinden yaklaşık 80-500 km arasındaki yükseklikte bulunan ve üst atmosfer olarak tanımlanan atmosfer katmanıdır. Güneşten gelen yüksek enerjili ışınların absorbe edildiği tabaka, ultraviyole radyasyonu ve güneş kaynaklı jeomanyetik aktivitedeki değişikliklere tepki olarak yüksek sıcaklık ve büyük değişkenlik ile karakterize edilmektedir. Termosferle ekzosfer arasında da termopoz adı verilen bir geçiş katmanı bulunmaktadır.

Ekzosfer: Termosferin üzerinde başlayan ve atmosferin en son katmanı olarak kabul edilen tabakadır. Üst sınırının kesin olmamakla birlikte yaklaşık 10 bin km yükseklikte olduğu kabul edilmektedir. Moleküler yoğunluğun ve yerçekiminin çok düşük olduğu bu tabaka atmosfer ile uzay arasındaki geçiş bölgesini oluşturmaktadır. Ancak atmosfer ile uzay arasında belirgin bir sınır olmadığı için çoğunlukla yer yüzeyinden yaklaşık 100 km yüksekte Kármán Hattı adı verilen hayali bir sınır kullanılmaktadır [36-40]. Şekil 3.2’de atmosferin katmanları şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.2. Atmosferin katmanları [36-38,40].

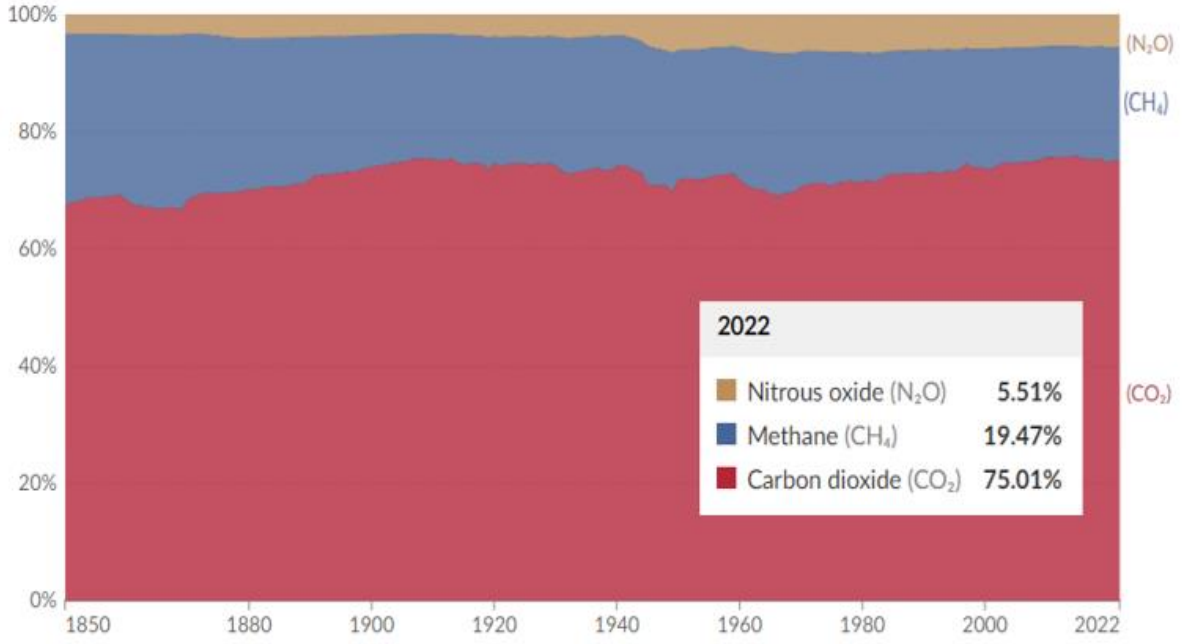
Dünya atmosferinin bileşimi, fiziksel yüzey-atmosfer arayüzü yoluyla antropojenik aktivitelerin yanısıra atmosfer ile etkileşim halindeki toprak ve okyanuslardaki doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden de kısmen etkilenmektedir. Bununla birlikte atmosferdeki kuru havanın hacimce %78,08'i azot %20,95'i oksijen ve %0,93'ü argondan geri kalan yaklaşık %0,04'lük kısmı ise içerisinde karbondioksit, metan, diazot monoksit, ozon gibi sera gazlarının da bulunduğu eser gazlardan oluşmaktadır. Bu gazlara ilaveten özellikle değişken bir atmosferik bileşen olarak su buharı da çoğunlukla alt ve orta troposferin içeriğinde yer almaktadır [36,38,41].

3.2 Sera Gazları

Sera gazları güneş enerjisini absorbe ederek ısının atmosferden çıkışını önleyen veya yavaşlatan bu nedenle de dünyanın ısı dengesi açısından büyük önem taşıyan gazlardır [18,42,43]. Ancak günümüzde iklim değişikliği nedeniyle çağımızın en önemli ve acil küresel sorunlarından birisi haline gelen sera gazları karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), kükürt hekzaflorür (SF₆), azot triflorür (NF₃), triflorometil sülfür pentaflorür (SF₅CF₃), halojenli eterler (C₄F₉OC₂H₅, CHF₂OCF₂OC₂F₄OCHF₂, CHF₂OCF₂OCHF₂ vs.) ve diğer halokarbonlar (CF₃I, CH₂Br₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂) olarak kapsamlı bir şekilde sıralanmaktadır [18,44,45]. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda doğrudan yedi sera gazı dikkate alınmaktadır. Bunlar;

- Karbondioksit (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Diazot monoksit (N₂O)
- Hidroflorokarbonlar (HFCs)
- Perflorokarbonlar (PFCs)
- Kükürt hekzaflorür (SF₆),
- Azot triflorür (NF₃)

Bunlar içerisinde hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürt hekzaflorür, azot triflorürler gibi florlu gazlar genel olarak F-gazlar olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.3'de toplam sera gazı emisyonu içerisinde gazların dağılım oranları verilmektedir.



Şekil 3.3. Sera gazlarının dağılımı [46].

Küresel ısınma üzerinde doğrudan etkili bu gazların yanısıra ışınımsal zorlamanın öncüleri olarak envantere dahil edilen dolaylı sera gazları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Azot oksitler (NO_x)
- Karbonmonoksit (CO)
- Metan olmayan uçucu organik bileşikler ((NMVOC)
- Kükürt dioksit (SO₂)

Azot oksitler, karbonmonoksit ve NMVOC'ler fotokimyasal reaksiyonlarla, sera gazı görevi gören troposferik ozon konsantrasyonunda artışa neden oldukları, kükürt dioksit de aerosol oluşumuna katkıda bulunduğu için dolaylı sera gazı olarak sınıflandırılmaktadır [18,47]. Bunların yanısıra sera gazı listelerinde doğrudan yer almamakla birlikte ozon gazı ve su buharı da küresel ısınma açısından büyük önem taşımaktadır. Çizelge 3.1'de çeşitli sera gazlarının atmosferde bulunma süreleri ve belli bir zaman diliminde absorbe edecekleri termal radyasyonun göstergesi olan Küresel Isınma Potansiyelleri (KIP) verilmektedir.

Çizelge 3.1. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri [18].

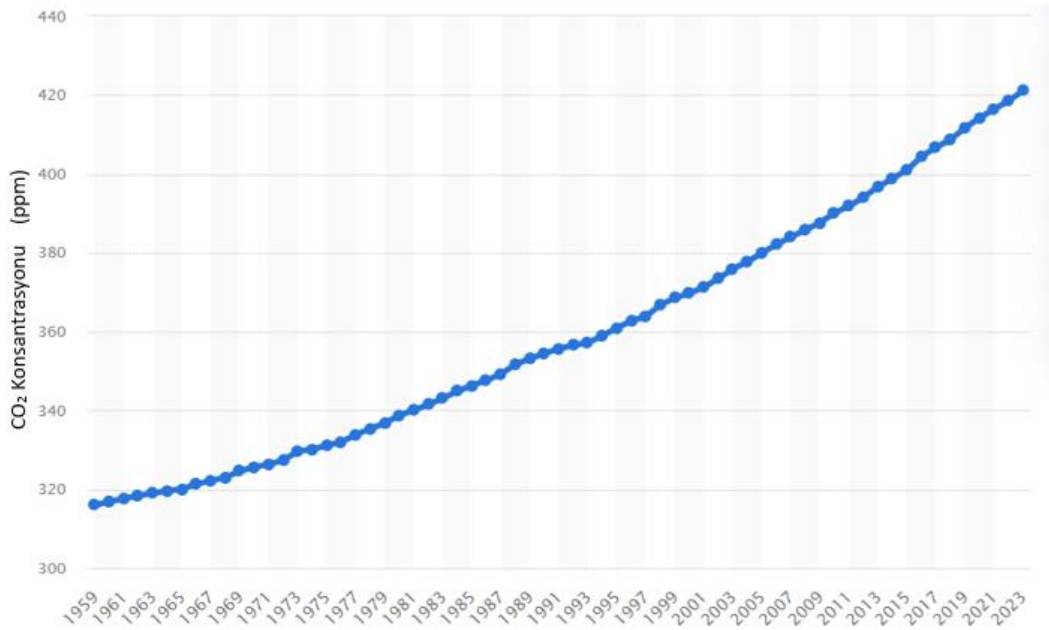
Sera Gazı	Bulunma Süresi (yıl)	Küresel Isınma Potansiyeli		
		20 yıl	100 yıl	200 yıl
CO ₂	Değişken	1	1	1
CH ₄	12±3	56	21	6,5
N ₂ O	120	280	310	170
CHF ₃	264	9100	11700	9800
CH ₂ F ₂	5,6	2100	650	200
CH ₃ F	3,7	490	150	45
C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	3000	1300	400
C ₂ HF ₅	32,6	4600	2800	920
C ₂ H ₂ F ₄	10,6	2900	1000	310
CH ₂ FCF ₃	14,6	3400	1300	420
C ₂ H ₄ F ₂	1,5	460	140	42
C ₂ H ₃ F ₃	3,8	1000	300	94
C ₂ H ₃ F ₃	48,3	5000	3800	1400
C ₃ HF ₇	36,5	4300	2900	950
C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700
C ₂ H ₃ F ₅	6,6	1800	560	170
SF ₆	3200	16300	23900	34900
CF ₄	50000	4400	6500	10000
C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000
C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100
C ₄ F ₁₀	2600	4800	7000	10100
c-C ₄ F ₈	3200	6000	8700	12700
C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000
C ₆ F ₁₄	3200	5000	7400	10700

Karbondioksit: Karbondioksit iklim değişikliğine neden olan en önemli sera gazlarından birisi olarak havadan ağır, renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan bir gazdır. Aslında atmosferde karbon döngüsü olarak nitelendirilen ve karbonun atmosfer, toprak, okyanuslar, kara ve canlı organizmalar arasındaki dolaşımını ifade eden sürecin doğal bir parçası olarak sürekli bulunmaktadır. Karbon döngüsü tüm hücre yaşamının temel yapısal maddesi olan karbonun farklı rezervuarlardaki konsantrasyonunu dengeleyen önemli bir doğal süreçtir. Bu döngüde

karbondioksit bitki ve hayvanların solunumu, volkanik patlamalar, biyolojik parçalanma, karbonlu maddelerin yanması, okyanus-atmosfer değişimi vs. yoluyla absorbe edilerek veya ortama salınarak hareket etmektedir. Okyanuslar yerkürenin $\frac{3}{4}$ 'ünü kapladıkları için yüzeye en yakın karbon kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Karbon döngüsünün ana kanalları;

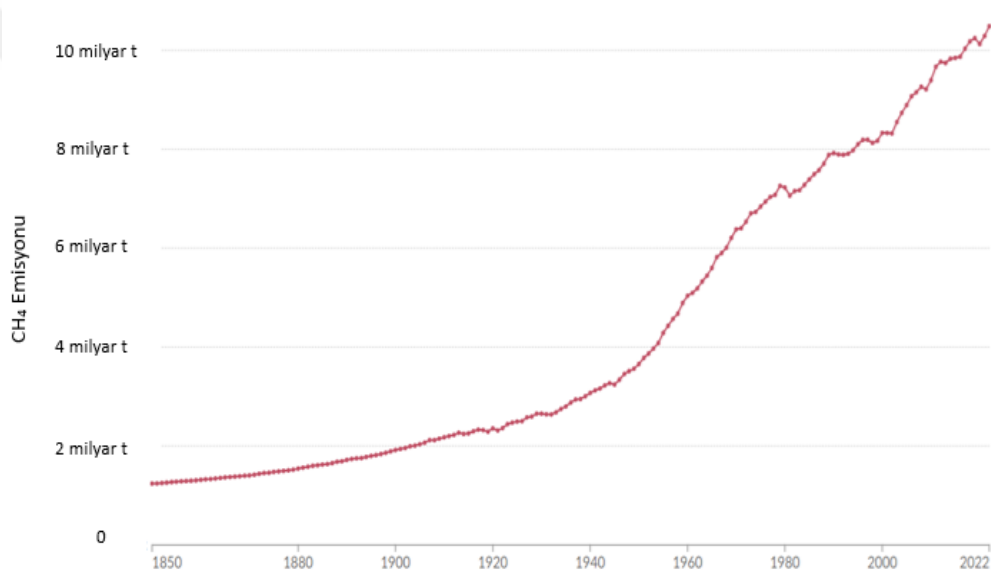
- Okyanuslar,
- Karasal biyosfer,
- Sedimentler,
- Atmosfer

Atmosfer karbonun gaz halindeki oksijenle birleşmesi ve döngü boyunca karbondioksit olarak hareket etmesi için bir kanal görevi görmektedir. Bu doğal işleyiş ve ana kanallar insan faaliyetleri nedeniyle hem atmosfere olması gerekenden çok daha fazla karbondioksit girişinin gerçekleşmesi hem de karbondioksiti absorbe ederek ortamdan uzaklaştıracak mekanizmaları olumsuz yönde etkileyecek koşulların oluşturulması ile bozulmaktadır. Özellikle döngünün atmosfer kısmının aşırı karbondioksit emisyonuna bağlı olarak doğal denge şartlarından oldukça uzaklaştığı ifade edilmektedir. Bu anlamda elektrik üretimi, ısınma ve ulaşımda kömür, petrol gibi fosil yakıtların kullanılması sorunun başlangıç noktasındaki en önemli insan kaynaklı aktiviteler olarak sıralanmaktadır [18,25,43,48]. Şekil 3.4'de 1959-2023 yılları arasında atmosferdeki CO₂ konsantrasyonları verilmektedir.



Şekil 3.4. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu [49].

Metan: Düşük konsantrasyonlarda renksiz ve kokusuz bir gaz olan metan, diğer bir önemli sera gazı olarak hem doğal hem de antropojenik kaynaklı açığa çıkmaktadır. Atmosfere metan gazı girişi fermentasyon ve sulak alanlar gibi doğal proseslerin yanısıra tarım, hayvancılık, kömür madenciliği ve atıkların depolanması ile doğal gazın ve petrolün çıkarılması, işlenmesi/rafine edilmesi, depolanması, iletimi/taşınması, dağıtımı gibi insan kaynaklı faaliyetlerle gerçekleşmektedir. Karbondioksit göre atmosferdeki ömrü çok daha kısa olan metanın, 100 yıllık bir zaman dilimindeki küresel ısınma potansiyeli karbondioksitin 21 katıdır. Bununla birlikte küresel olarak toplam metan gazı emisyonunun %50-65'inin insan aktiviteleri kaynaklı olduğu belirtilmektedir. Şekil 3.5'de 1850-2022 yılları arasında dünya genelindeki CH₄ gazı emisyonu verilmektedir.



Şekil 3.5. Dünya genelinde CH₄ gazı emisyonu [50].

Diazot monoksit: İnert bir gaz olan diazot monoksit karbondioksitten 310 kat daha etkili bir sera gazıdır ve toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %6,1'ini oluşturmaktadır. Azot döngüsüne bağlı olarak atmosferde bulunan diazot monoksit nitrifikasyon, denitrifikasyon gibi doğal proseslerin yanısıra antropojenik kaynaklı olarak da atmosfere karışmaktadır. Küresel diazot monoksit emisyonunun yaklaşık %40'ını tarımsal üretimde özellikle azot bazlı gübre uygulamaları, nitrik asit vs. gibi kimyasalların üretimi ve karayolu ulaşımı başta olmak üzere, insan kaynaklı faaliyetler oluşturmaktadır.

Florlu Gazlar: Hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürt hekzaflorür ve nitrojen triflorür olmak üzere dört kategoride ele alınan florlu gazlar, atmosferik kararlılık ve yüksek

küresel ısınma potansiyelleri nedeniyle sera gazları içerisinde özel öneme sahip gazlar olarak değerlendirilmektedir. Diğer sera gazlarının aksine neredeyse tamamen insan aktivitelerinden kaynaklanan florlu gazlar, düşük konsantrasyonlarına rağmen etkileri ve atmosferde sürekli artma eğilimlerine bağlı olarak küresel endişelere sebep olmaktadır. İnsan faaliyetleri nedeniyle açığa çıkan en güçlü ve en uzun ömürlü sera gazı türü olan florlu gazlar alüminyum ve yarı iletken üretiminin yanısıra soğutucular, köpük oluşturucu maddeler, yangın söndürücüler ve solventlerdeki kullanımlarına bağlı olarak atmosfere karışmaktadır [18,43,47,48].

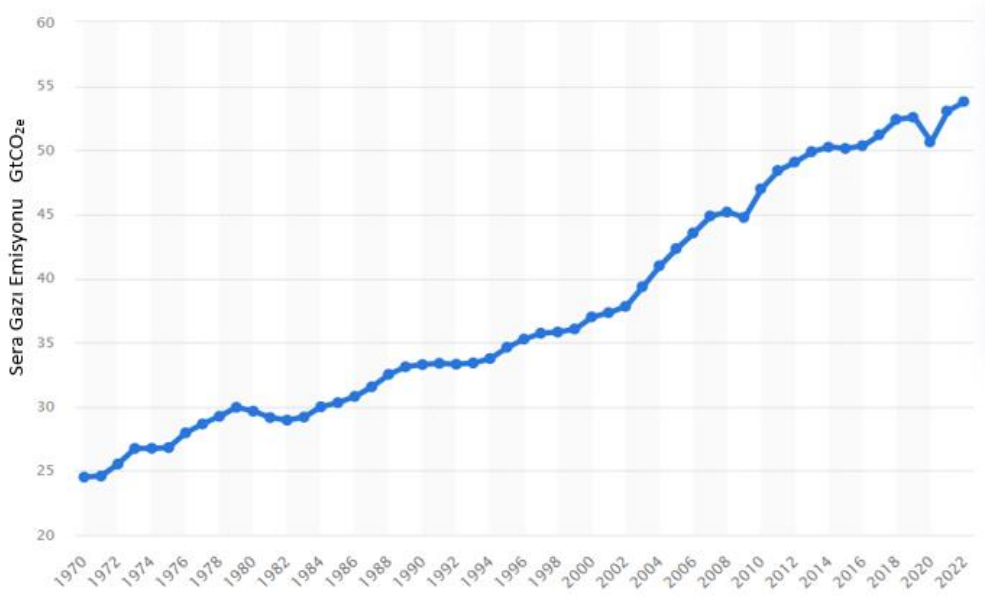
Ozon: Atmosferde bulunduğu yere göre değerlendirilen ozon, stratosfer gazı olarak atmosferin üst seviyelerinde oluşturduğu ozon tabakası ile zararlı güneş ışınlarının yer yüzeyine ulaşmasını engellemektedir. Yer seviyesi ozonu olarak da ifade edilen troposferdeki ozon ise, güneş ışığı varlığında azot oksitler (NOx) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) dahil olduğu bir dizi fotokimyasal reaksiyona bağlı olarak açığa çıkan önemli bir sera gazı ve hava kirleticisidir. Doğrudan bir kaynağı olmayan ozon stratosferde doğal mekanizmalar yoluyla oluşurken, troposferde metan, azot oksitler, karbon monoksit varlığına bağlı olarak antropojenik kaynaklı oluşmaktadır. Atmosferde metan gazı konsantrasyonunun kontrolüne yönelik her türlü çalışma, troposferdeki ozon konsantrasyonu üzerinde azalmaya yönelik olumlu etki göstermekte ve genel olarak troposferik ozon oluşumu kontrolünün hava kirliliği kontrolüne dayandığı kabul edilmektedir [43,51].

Su Buharı: Sera gazı olarak değerlendirilen ve mevcut sera etkisi şartlarının yaklaşık %50'sinden sorumlu olduğu kabul edilen su buharı, aynı zamanda atmosferde en çok bulunan sera gazı konumundadır. Su döngüsünün doğal bir bileşeni olan atmosferik su buharı, tüm dünyada sıcaklık artışına bağlı olarak hem su, hem de karasal alanlardaki buharlaşma ile artmaktadır. Termodinamik kanunlarına göre atmosferdeki her santigrad derecelik sıcaklık artışının, atmosferdeki su buharı miktarının yaklaşık %7 oranında artmasına sebep olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar sıcak havanın, soğuk havaya göre daha fazla nem tuttuğunu ve her on yılda bir toplam atmosferik su buharının yaklaşık %1-2 oranında arttığını göstermektedir [43,52].

3.3 Sera Gazı Emisyonunun Kaynakları

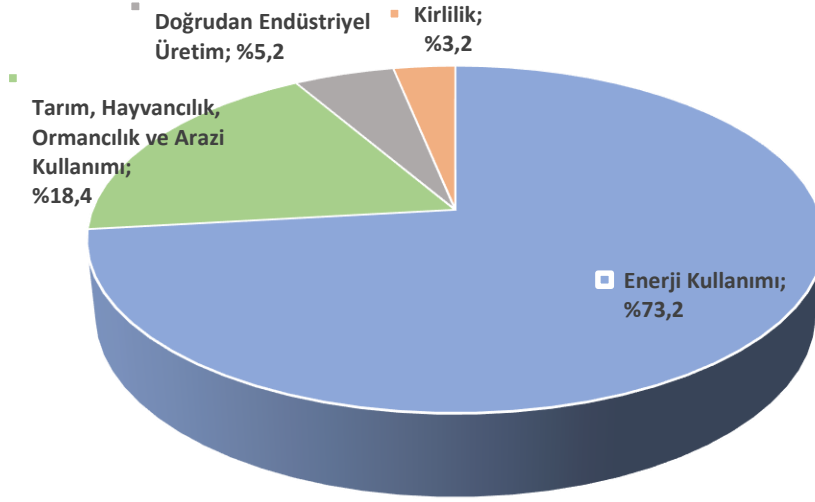
Küresel anlamda sosyal, ekonomik, teknolojik ve tarımsal üretim ile ilgili yaşanan her türlü gelişme, kalkınma sera gazı emisyonunu doğrudan veya dolaylı olarak arttırmaktadır. Yapılan çalışmalar 1990 yılından 2022 yılına kadar toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %60

oranında artarak 53,8 milyar ton eşdeğer karbondioksit (CO_{2e}) ulaştığını göstermektedir. Şekil 3.6’da 1970-2022 yılları arasında dünya genelindeki sera gazı emisyonları verilmektedir.



Şekil 3.6. Dünya genelinde sera gazı emisyonu [53].

Doğal dengenin bir parçası olarak sera gazı emisyonu ile sonuçlanan süreçler, yerkürenin enerji dengesi açısından canlı yaşamını mümkün kılan en önemli mekanizmalardır. Ancak sanayi devrimi ile birlikte sera gazı emisyonunun küresel sorun boyutlarına gelmesi, tamamen insan aktiviteleri kaynaklı emisyonlarla olmaktadır. Günümüzde tüm dünyadaki sera gazı emisyonu %73,2 ile enerji kullanımı, %18,4 ile tarım, hayvancılık, ormancılık ve arazi kullanımı, %3,2 ile kirlilik ve %5,2 ile doğrudan endüstriyel üretim başlıkları altında toplanan faaliyetlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu sınıflandırma ile kirlilik kategorisinde genel olarak, katı atık depolama sahalarından açığa çıkan deponi gazları (%1,9) ve atıksular (%1,3) dikkate alınmaktadır. Şekil 3.7’de küresel sera gazı emisyonunun sektörel dağılımı verilmektedir



Şekil 3.7. Küresel sera gazı emisyonun sektörel dağılımı [54].

3.3.1 Doğrudan Endüstriyel Üretim

Endüstriyel üretim, tüm dünyada uygulanan ekonomik kalkınma modelleri ile de ilişkili olarak sera gazı emisyonunu arttıran önemli bir faktördür. Mamûl ve yarı mamûl elde edilmesinde aşamalı ve kapsamlı bir işleme sürecini tanımlayan endüstriyel üretim, sera gazı emisyon kaynağı olarak elektriğin son kullanımı, tesis içinde veya dışında enerji üretimi, sızıntı ve doğrudan proses kaynaklı olmak üzere farklı başlıklar altında değerlendirilmektedir. Doğrudan endüstriyel üretimden kaynaklanan emisyon sınıfı ile, proses süresince yan ürün olarak sera gazlarının açığa çıktığı ve küresel emisyonun yaklaşık %5,2'ine karşılık gelen faaliyetler ifade edilmektedir. Bu kapsamda öncelikle klinker üretimi sırasında açığa çıkan karbondioksit nedeniyle çimento sanayi (%3) ve böcek ilacı, gübre, plastik vs. olmak üzere farklı sektörlerde kullanılan kimyasalların üretimine bağlı kimya ve petrokimya sanayi (%2,2) dikkate alınmaktadır.

3.3.2 Tarım, Hayvancılık, Ormanlık ve Arazi Kullanımı

Tarım, hayvancılık, ormanlık ve arazi kullanımı başlığı altında değerlendirilen aktiviteler küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %18,4'üne karşılık gelmektedir. Bunun içerisinde sadece hayvancılığa bağlı enterit fermentasyon ve hayvan gübresi kaynaklı sera gazı emisyonunun oranı, %5,8 olarak belirtilmektedir. Tarım alanları üzerinde sentetik ve organik gübre kullanımı, azotu sabitleyen ürünlerin yetiştirilmesi, organik toprakların drenajı ve sulama

gibi çeşitli uygulamalar topraktaki azot miktarını buna bağlı olarak da sera gazı emisyonunu etkilemektedir. Bununla birlikte karasal alanların yönetimi, karbondioksitin tutulması veya atmosfere verilmesi ile küresel sera gazı emisyonu üzerinde pozitif veya negatif yönde belirleyici olmaktadır. Bu noktada ekili dikili alanlar, otlaklar, ormanlar buna bağlı olarak da arazi kullanımı veya arazi kullanım değişikliği emisyon kaynakları ile ilgili yapılan değerlendirmelerde dikkate alınmaktadır. Bunun temel nedeni karasal ekosistemde bitki, atmosfer ve toprak arasında gerçekleşen karbondioksit alış-verişinin arazi örtüsü buna bağlı olarak da arazinin kullanımı ile doğrudan ilişkili olmasıdır.

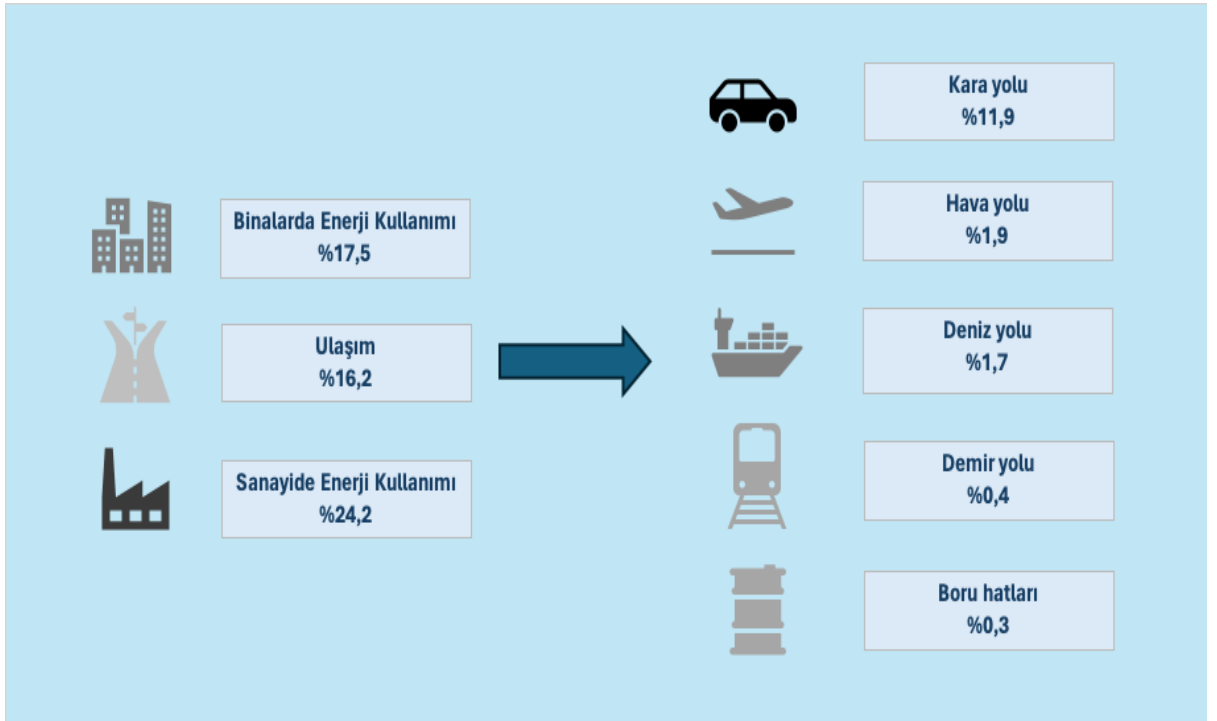
Doğal süreçte bitkiler, fotosentez yoluyla atmosferden karbondioksiti alarak, karbonun bir kısmının yeraltı ve yerüstü biyokütle olarak depolanmasını sağlamaktadır. Bu nedenle topraktaki bitki örtüsünün tahrip edilmesine yönelik her türlü faaliyet atmosferdeki sera gazının kontrolü ile ilgili doğal mekanizmaların işleyişini engellemektedir. Özellikle yapılarında büyük miktarda karbon depolayan ağaçlar böylelikle de ormanlar, sera gazı emisyonunun azaltılması ve küresel iklim değişikliği ile mücadele çalışmalarında çok önemli bir yer tutmaktadır. Ancak bu kapsamda orman yangınları ve ormanların yok edilmesi ile mücadele tek başına yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda yeşil örtünün artırılması, yoğun kentleşmenin önüne geçilmesi, ormanların rasyonel yönetilmesi, bozulmuş orman alanlarının ıslah edilmesi gibi çalışmaların da paralel olarak yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

3.3.3 Enerji Kullanımı

Enerji kullanımı, küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %73,2'sini oluşturan başlıca kaynak konumundadır. Endüstride, binalarda enerji kullanımından ve ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonu genel enerji kullanımı başlığı altında dikkate alınan en önemli alt kategorilerdir.

Enerji, sanayileşme ile ekonomik büyüme ve kalkınmanın, mobilitenin itici gücü olarak ülkelerin gelişmişlik derecesi ilgili bir gösterge konumundadır. Dünyada hızlı nüfus artışı, değişen yaşam standartları, sanayileşme ve kentleşme eğilimi enerji talebinin artmasına, bu talebin karşılanması da daha fazla sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Bu kategoride ele alınan endüstriyel üretime bağlı sera gazı emisyonu, proses için gerekli enerjinin temin edilmesinde kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan emisyonu ifade etmektedir ve hesaplanan küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %24,2'sini oluşturmaktadır. Söz konusu sektörel emisyonlar birim ürün başına enerji tüketimi ile doğrudan

ilişkilidir ve sanayide enerji verimliliğine yönelik çalışmalar emisyon kontrolü açısından faydalı sonuçlar vermektedir. Binalarda enerji kullanımı kategorisi ise ev ve iş yerlerinde ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma ile çeşitli cihaz ve ev aletleri için elektrik üretiminden kaynaklanan ve toplam emisyon içerisinde yaklaşık % 17,5'lik orana karşılık gelen emisyonu temsil etmektedir. Sera gazı emisyon kaynağı olarak enerji kullanımı başlığı altında değerlendirilen ulaşım/ulaştırma, toplam emisyonun %16,2'sinden sorumlu, çoğunlukla fosil yakıt kullanımına bağlı doğrudan emisyonları içermektedir. Bu kategoride aynı zamanda çok az miktarda elektriğe bağlı dolaylı emisyon ve petrol, gaz, su veya su buharının boru hatları vasıtasıyla yurtiçi ve yurt dışı ölçekli taşınması da yer almaktadır [18,54,55]. Şekil 3.8'de enerji kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonunun başlıca alt kategorilere göre dağılımı verilmektedir.

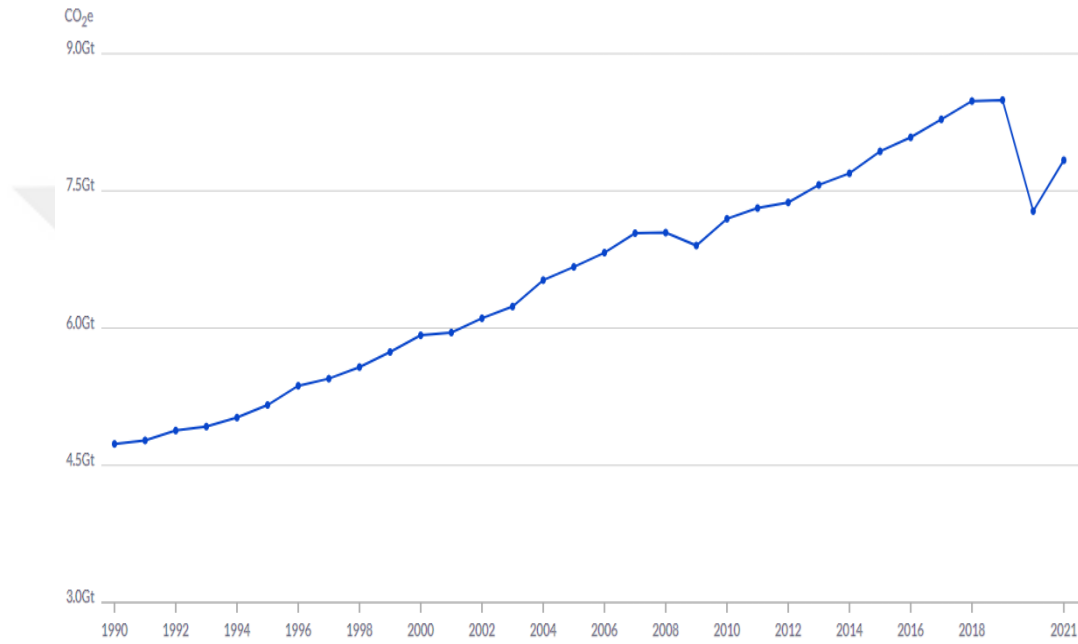


Şekil 3.8. Enerji kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonunun dağılımı [54].

3.4 Karayolu Ulaşımının Sera Gazı Emisyonuna Etkisi

Ulaşım sektörü genel olarak insan veya herhangi bir yükün, bulunduğu konumdan başka bir konuma otomobil, kamyon, tren, gemi, uçak vs. gibi çeşitli taşıtlarla ulaşım yolları üzerinden aktarılmasını veya hareketini içermektedir. Sektörde karayolu, havayolu ve denizyolu ulaşımı büyük ölçüde fosil yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlu taşıtlara dayanmaktadır. Ulaşımında kullanılan yakıtların %94'den fazlasını benzin ve dizel gibi doğrudan emisyona sebep olan petrol bazlı fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Bu durum ekonomik büyüme, mobilite ve seyahat

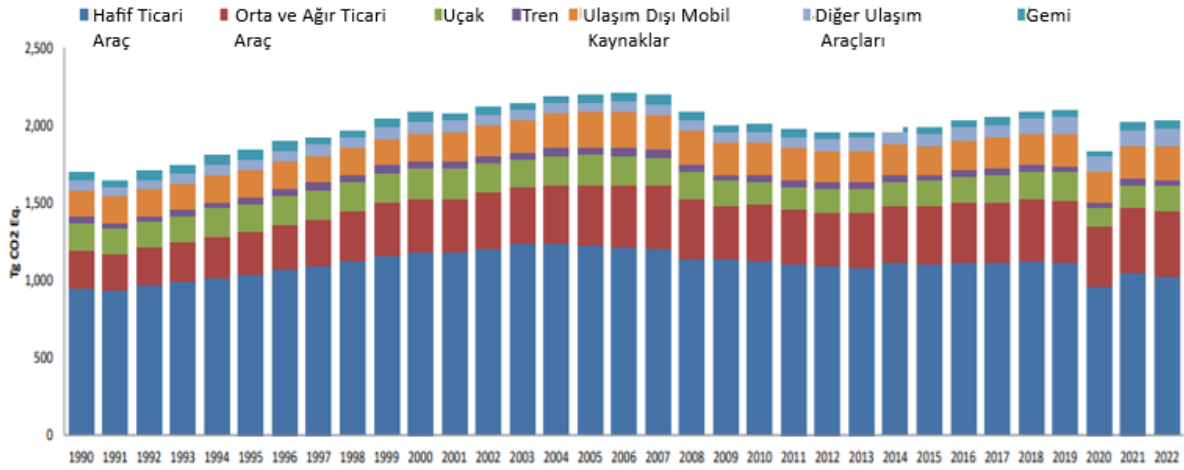
talebinin artması, kentleşmede genişleme ve yayılma eğilimi, yetersiz toplu taşıma alt yapısı ve çoğunlukla kişisel araç tercihi ile birlikte taşıt kaynaklı emisyon artışının başlıca sebepleri olarak değerlendirilmektedir. Doğrudan ve dolaylı emisyonlarla dördüncü en büyük sera gazı emisyon kaynağı konumunda olan ulaşım sektörü aynı zamanda, küresel yakıt enerjisi talebinin %27'sini ve toplam sera gazı emisyonunun %16,2'sini oluşturmaktadır [18,54,55]. Şekil 3.9'da 1990-2021 yılları arasında dünya genelindeki ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonları verilmektedir.



Şekil 3.9. Ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonu [56].

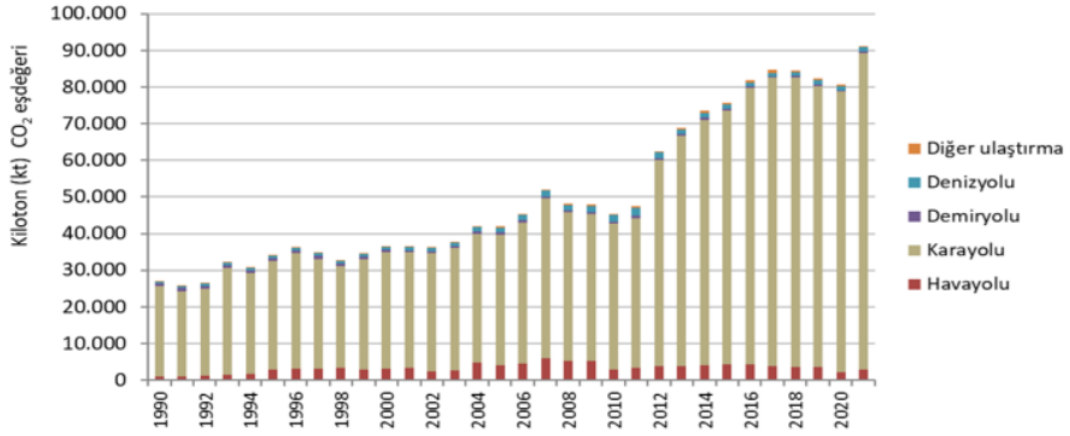
Taşıtlardan ileri gelen sera gazı emisyonu, fosil yakıtların yanmasına bağlı olarak karbondioksit ağırlıklıdır. Küresel karbondioksit emisyonunun yaklaşık 1/5'i ulaşım, bunun da 3/4'ü karayolu ulaşımı kaynaklı gerçekleşmektedir. Bu miktarın yaklaşık %45,1'i otomobil ve otobüslere, geri kalan %29,4'ü ise kargo dahil kamyon ağırlıklı yük taşımacılığına bağlı açığa çıkmaktadır. Havayolu ulaşımı, toplam ulaşım nedeniyle açığa çıkan emisyonun yaklaşık %11,7'sini, denizyolu %10,5'ini, demiryolu ise %2,5'ini karşılamaktadır. Karbondioksitin yanısıra fosil yakıtların yanmasına bağlı olarak taşıtlardan daha az miktarda metan ve diazot monoksit gazları da atmosfere salınmaktadır. Ayrıca araçlardaki klima sistemlerinin ve soğutmalı taşımacılığın neden olduğu hidroflorokarbon emisyonu da yine ulaşım kaynaklı olarak değerlendirilmektedir.

Ulaşım sektörünün antropojenik sera gazı emisyonunda en yüksek değerlere ulaştığı ülkelerden birisi olan Amerika’da, 1990-2022 yılları arasında fosil yakıt kullanımına bağlı taşıt emisyonlarının %19 oranında arttığı ve 2022 yılında toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %29’unu oluşturduğu belirtilmektedir [54-56]. Şekil 3.10’da Amerika’da 1990-2022 yılları arasında taşıt araçlarına bağlı sera gazı emisyonları verilmektedir.



Şekil 3.10. Taşıt araçlarına bağlı sera gazı emisyonları [57].

Ülkemizde ise 1990-2021 yılları arasında toplam sera gazı emisyonunun %151 oranında artarak, 572 milyon ton eşdeğer karbondioksit (CO_{2e}), aynı yıllar arasında ulaşımdan kaynaklanan emisyonun ise yaklaşık %238 oranında bir artışla 91200 kiloton eşdeğer karbondioksit (CO_{2e}) değerine ulaştığı ve toplam emisyonun yaklaşık %16’sını oluşturduğu ifade edilmektedir. Şekil 3.11’de Ülkemizde 1990-2021 yılları arasında ulaşım türlerine bağlı sera gazı emisyonları verilmektedir.



Şekil 3.11. Ulaşım türlerine bağlı sera gazı emisyonları [58,59].

Aynı zamanda yine 2021 yılı verilerine göre ulaşımdan kaynaklanan karbondioksit emisyonunun %94,8'inin karayolu, %3,2'sinin havayolu, %1,2'sinin denizyolu, %0,4'ünün demiryolu geri kalan %0,4'ün ise diğer ulaşım türleri kaynaklı olarak açığa çıktığı bildirilmektedir [58,59,60].

3.5 Sera Gazı Emisyonu Yönetimi ve Envanter Metodolojisi

Sera gazı emisyonu yönetimi, genel olarak emisyon envanterinin hazırlanması ile başlayan bir süreçtir. Emisyon envanteri belirli bir süre ve sınır dahilinde antropojenik olarak açığa çıkan ve sera etkisine neden olan gazların miktarının belirlenmesidir. Aynı zamanda bir ülkenin ekonomik faaliyetlerinin sera etkisine katkısını ve yurtiçi karbon ayak izini yansıtmaktadır. Envanter çalışmaları ile sera gazı emisyonunun mevcut durumu ve kaynakları hakkında temel bilgiler sağlanmakta, emisyonlar izlenerek gelecekteki durum ve riskleri belirleyen senaryolar oluşturulmaktadır. Ayrıca emisyonların azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, bu konuda stratejiler geliştirilerek, plan ve politikalar oluşturulmasına temel olmaktadır. Genel olarak emisyon envanterinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar standart ve yöntemlerin belirlenmesi, veri toplama prosedürlerinin oluşturulması ve bir yönetim planı geliştirilmesi, verilerin toplanması, emisyonların azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi, uygulamaların izlenmesi ve raporlanması ilkelerine dayanmaktadır [18,61,62].

Sera gazı emisyonu buna bağlı olarak da iklim değişikliği, küresel boyutlu bir sorun olarak çözümü noktasında da uluslararası ölçekli politikalar, çalışmalar ve kararlılık gerektirmektedir. Bu amaçla 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından oluşturulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği

Paneli (IPCC) tarafından iklim değişikliğinin etkileri, riskleri ve hızının azaltılması ile ilgili seçenekleri içeren bilimsel, teknik değerlendirme raporları hazırlanmaktadır. Birleşmiş Milletler ve WMO üyesi ülkelerin bir organizasyonu olarak IPCC, ülkelere iklim politikalarının geliştirilmesine yönelik bilgi sağlamanın yanısıra raporları ile uluslararası iklim değişikliği müzakerelerinin temel dayanağını oluşturmaktadır. IPCC, raporlar dahil tüm faaliyetlerini kendi içerisinde farklı uzmanlık alanlarında oluşturulan üç temel Çalışma Grubu ve bir Görev Gücü üzerinden yürütmektedir. Buna göre çalışma konuları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Çalışma Grubu-I: Fiziksel Bilim Temeli; iklim değişikliğinin çeşitli bileşenleri ile bilimsel olarak araştırılması ve değerlendirilmesi,

Çalışma Grubu-II: İklim Değişikliğinin Etkileri, Uyum ve Kırılganlık; iklim değişikliğinin doğal dengeler, canlı yaşamı sürdürülebilirliği üzerine etkilerinin araştırılması ve değerlendirilmesi,

Çalışma Grubu-III: İklim Değişikliğinin Azaltılması; iklim değişikliğinin ve olası etkilerinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir çevre ve kalkınma yaklaşımlarının araştırılması ve değerlendirilmesi,

Görev Gücü: Ulusal Sera Gazı Envanteri; ulusal sera gazı emisyonlarının ve yutaklarının hesaplanması ve raporlanmasında kullanılacak metodolojilerin geliştirilmesi [18,63].

“Ulusal Sera Gazı Envanteri” çalışma alanı kapsamında IPCC, hesaplama ve raporlamalar için standart metodolojiler içeren kılavuzlar yayınlamakta ve periyodik olarak bu kılavuzlarda iyileştirmelere gitmektedir. 2006 IPCC Kılavuzları genel rehberlik ve raporlama, enerji, endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı, tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı, atık başlıklarından oluşan beş cilde ayrılmaktadır. Envanterlerin ülkeler arasında karşılaştırılabilir olması ve emisyon seyrini tam olarak yansıtabilmesi için ortak bir anlayışa ve temel kavramlara dayalı olarak hazırlanması gerekmektedir. Buna bağlı olarak envanter çalışmaları ile ilgili temel yaklaşımlar 2006 IPCC Kılavuzlarında aşağıdaki başlıklarla açıklanmaktadır.

- İnsan kaynaklı emisyonlar ve yutaklar,
- Ulusal bölge,
- Envanter yılı ve zaman serisi,
- Envanter raporlama,
- Sera gazları,
- Diğer gazlar,
- Sektör ve kategoriler

Sera gazı emisyonu envanter çalışmalarında; ilgili prosesler, kaynaklar ve yutaklar enerji, endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı, tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı, atık ve diğer olmak üzere öncelikle sektörler ayrılmalıdır. Sonrasında ise her bir sektör kendi arasında kategorilere ve alt kategorilere ayrılarak değerlendirilmektedir. Bunlar içerisinde enerji, mobil yanma dahil fosil yakıt kullanımına bağlı olarak, sera gazı emisyon envanteri çalışmaları açısından en önemli sektörlerden birisini oluşturmaktadır.

2006 IPCC Kılavuzlarında fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonunun tahmininde üç yöntem yer almaktadır. Tier-1, Tier-2 ve Tier-3 olarak ifade edilen bu yöntemler metodolojik karışıklık ve veri gereksinimine göre sıralanmaktadır.

Tier-1: Tier-1 yöntemi yakıt bazlı bir emisyon hesaplama yaklaşımıdır. Yanma kaynaklı emisyonlar genellikle ulusal enerji istatistiklerinden elde edilen yakıt miktarları ve ortalama emisyon faktörleri dikkate alınarak tahmin edilebilmektedir. Karbondioksit için emisyon faktörleri büyük oranda yakıtın karbon içeriğine bağlıdır, buna karşılık yanma verimliliği vs. gibi yanma koşulları ile nispeten daha az ilişkilidir. Bu nedenle karbondioksit emisyonları, toplam yakıt miktarı ve yakıtın karbon içeriğine bağlı olarak doğru şekilde hesaplanabilmektedir.

Tier-2: Tier-2 yönteminde yanma kaynaklı emisyonlar, Tier-1 yöntemine benzer şekilde yakıt istatistikleri yardımıyla tahmin edilmektedir. Bu yöntemde diğerinden farklı olarak hesaplamalarda ülkelere özgü emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Emisyon faktörleri yakıtlara, yakma teknolojilerine ve tesislere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu durum yakıt gruplarının karbon içeriklerine ve yakma teknolojilerine ilişkin ayrıntılı verilerle, kaynakları uygun şekilde yansıtabilecek tahminler yapılabilmesine imkan vermektedir.

Tier-3: Tier-3 yönteminde ayrıntılı emisyon modelleri ya da tesis düzeyinde ölçümler ve veriler kullanılmaktadır. Diğerlerine göre çok daha karmaşık ve ayrıntılı bilgi gerektirmekle birlikte doğru uygulandığında yöntem, özellikle karbondioksit dışındaki sera gazları için daha iyi tahminler yapılmasını sağlamaktadır [44].

4. MATERYAL VE METOT

Tez çalışması kapsamında, yakıt tüketimine bağlı olarak Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyon envanterinin çıkarılması ve belirlenen güzergâhlar için eşdeğer CO₂ emisyon haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun yanısıra araç sayısı ve yakıt türleri üzerinden geleceğe yönelik senaryolar geliştirilerek, ilde senaryo bazında sera gazı emisyonları ve yıllara bağlı değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1 Tekirdağ İli Hakkında Genel Bilgi

Tekirdağ ili ülkenin Kuzeybatısında, Marmara Denizinin kuzeyinde ve Marmara Bölgesi'nin Ergene Bölümünde yer almakta olup, doğudan İstanbul, kuzeyden Kırklareli, batıdan Edirne, güney batıdan Çanakkale, güneyden Marmara Denizi ile çevrilidir. Güney Ergene bölgesinden ve kuzeyden gelen yolların Marmara denizine ulaştıkları yerde geniş bir körfezin kıyısında yaklaşık 6313 km²'lik bir alan üzerine kurulu olan il, 3 önemli karayolunun da dahil olduğu gelişmiş bir ulaşım ağı içerisinde bulunmaktadır. Marmara Denizi gibi Karadeniz'e de kıyısı olan Tekirdağ ili büyük bir dış ticaret limanı ve İstanbul-Ankara demiryolu hattı ile İstanbul ve Avrupa'ya bağlanmaktadır. Şekil 4.1'de Tekirdağ il haritası verilmektedir.



Şekil 4.1. Tekirdağ il haritası [64].

6 Aralık 2012 tarihli ve 28489 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren 6360 sayılı "On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" kapsamında Büyükşehir statüsüne geçen Tekirdağ ilinin Çerkezköy, Çorlu, Ergene, Hayrabolu, Kapaklı, Malkara, Marmara Ereğlisi, Muratlı, Saray, Süleymanpaşa ve Şarköy olmak üzere toplam 11 ilçesi ve 363 mahallesi bulunmaktadır. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 2023 yılı

nüfusu 1167059 kişi olan ilde yıllık nüfus artış oranı %21,31'dir [64-66]. Çizelge 4.1'de 2019-2023 yılları arasında ilçeleri ile Tekirdağ ili ve Türkiye nüfusu verilmektedir.

Çizelge 4.1. İlçeleri ile Tekirdağ ili ve Türkiye nüfusu [66].

İlçeler	Nüfus				
	2019	2020	2021	2022	2023
Çorlu	270.944	279.251	284.907	290.155	294.020
Çerkezköy	174.529	185.234	196.736	206.829	213.243
Ergene	63.821	64.820	66.028	67.038	68.695
Hayrabolu	32.268	31.574	31.245	30.521	30.930
Kapaklı	120.489	124.609	130.813	137.514	142.662
Malkara	52.453	52.101	51.616	50.988	51.406
Muratlı	29.028	29.892	29.716	30.067	30.411
Şarköy	32.267	32.658	33.062	33.466	34.047
Saray	49.605	50.248	50.394	50.766	21.224
Marmara Ereğlisi	26007	27.061	28.336	29.549	31.191
Süleymanpaşa	204.001	203.617	210.547	215.558	219.230
Tekirdağ	1.055.412	1.081.065	1.113.400	1.142.451	1.167.059
Türkiye	83.154.997	83.614.362	84.680.273	85.279.553	85.372.377

Tekirdağ günümüzde konumu nedeniyle sahip olduğu güçlü sanayi alt yapısına bağlı olarak, hemen hemen tüm sektör ve alt sektör gruplarında endüstriyel üretimin yapıldığı önemli bir sanayi şehridir. İlde 967 tanesi OSB'lerde, 454 tanesi sanayi sitelerinde olmak üzere toplam 2593 sanayi tesisi bulunmaktadır. Faaliyette bulunan bu tesislerin %51,12'si mikro ölçekli, %24'ü küçük ölçekli, %18,48'i orta ölçekli ve %6'sı büyük ölçekli işletmelerden oluşmaktadır. Sanayi işletmelerinin sektörel dağılımında %13,23 ile gıda, %12,03 ile tekstil, %10,61 ile metal ve %10,53 ile makine ekipmanı üretimi ilk sıralarda yer almakta olup, konfeksiyon ürünleri, halı, tekstil ürünleri, tekstil makinaları, traktör, tarım makinaları ve beyaz eşya başlıca endüstriyel ürün gruplarını oluşturmaktadır [67].

Tekirdağ ili, sanayi şehri olmasının yanı sıra işlenen 403608 hektarlık tarım alanı ve yılda üretilen 1437494 ton tarım ürünü ile aynı zamanda tarım yapılan bir şehir konumundadır. Başta ülke üretiminin %5 ve %33'ünü karşılayan sırasıyla buğday ve ayçiçeği olmak üzere soğan, karpuz, kiraz ve üzüm öncelikli tarım ürünlerini oluşturmaktadır [64,68].

Tarımsal üretimle de ilgili olarak iklim özellikleri açısından Tekirdağ yarı nemli iklimler kategorisinde değerlendirilmektedir. Genel olarak sahil kesimi Akdeniz ikliminin etkisi altında bulunmakla birlikte iç kesimleri karasal iklim özellikleri göstermektedir. Rüzgarların genellikle kuzey yönlü olduğu il kışların soğuk ve yağışlı, yazların sıcak fakat aşırı kurak geçmediği, Akdeniz ve karasal iklimin birlikte görüldüğü, bir tür geçiş iklimine sahiptir [64,65].

4.2 Sera Gazı Emisyon Envanteri Çalışması

Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyon envanteri çalışması, IPCC Kılavuzlarında yer alan Tier-1 ve Tier-2 yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımlarda emisyonlar satılan yakıtla temsil edilen, tüketilen yakıt veya araçların kat ettiği yol verileri yardımıyla hesaplanmaya çalışılmaktadır. Tier-1 yaklaşımı ile çeşitli kaynak kategorilerinin, ulusal emisyon envanterinin düzeyi ve eğilimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Genel olarak Tier-1 yaklaşımının satılan yakıtla ilişkili olarak CO₂ emisyonun, Tier-2 yaklaşımının ise, araç tipi ve alınan yolla ilişkili olarak CH₄ ve N₂O emisyonun tahmini için uygun olduğu kabul edilmektedir. CO₂ emisyonunun belirlenmesine yönelik hesaplamalar yakıt türü, miktarı ve karbon içeriğine dayalı olarak ilerlemektedir. CH₄ ve N₂O emisyonlarının tahmininde emisyon faktörlerinin araç teknolojisine, yakıtta ve çalışma özelliklerine bağlı olması, hesaplamaların zorlaşmasına neden olmaktadır. Bu durumun araçların kat ettiği mesafe ve ayrıştırılmış yakıt tüketimi ile ilgili güvenilir verilere, satılan yakıt miktarları ile ilgili verilerinden daha zor ulaşılmışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2.1 Tier-1 Emisyon Hesabı

Tier-1 yaklaşımda başta CO₂ olmak üzere CH₄ ve N₂O gazlarına ait emisyon tahminleri aşağıda verilen eşitlik (4.1) yardımıyla yapılmaktadır.

$$\text{Emisyon} = \sum_a [\text{Yakıt}_a \times \text{EF}_a] \quad (4.1)$$

Emisyon: CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon miktarı (kg)

Yakıt_a : Yakıt tüketimi (TJ)

EF_a : Emisyon faktörü (kg/TJ)

a : Yakıt türü (benzin, motorin, LPG vs.)

Hesaplamalarda yer alan yakıt miktarları, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan yıllık sektör raporlarından temin edilmiştir. Çizelge 4.2’de 2019-2023 yılları arasında Tekirdağ iline ait yakıt miktarları verilmektedir.

Çizelge 4.2. 2019-2023 yılları arasında tüketilen yakıt miktarları [69,70].

Yakıt Türü	Yakıt Miktarları (ton)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Benzin	40.674	40.576	50.795	56.105	67.702
Motorin	338.821	398.432	452.333	501.782	406.615
LPG	27.582	27.000	27.308	28.505	31.788

Bunların yanısıra söz konusu hesaplamalarda kullanılan emisyon ve dönüşüm faktörleri yakıt türlerine bağlı olarak Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Emisyon ve dönüşüm faktörleri [44,71]

Yakıt Türü	Emisyon Faktörü			Dönüşüm Faktörü		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(TJ/Gg)	(TJ/kt)	
	(kg/TJ)	(tC/TJ)	(kg/TJ)			
Benzin	69300	18,9	33	3,2	44,3	44,8
Motorin	74100	20,2	3,9	3,9	43,0	43,33
LPG	63100	17,2	63	0,2	47,3	47,31

4.2.2 Tier-2 Emisyon Hesabı

Bu yaklaşım yakıtın ülkeye özgü karbon içeriklerini kullanması dışında, Tier-1 yönteminden farklı değildir. Emisyon faktörü envanter yılı süresince ülkede tüketilen yakıtların gerçek karbon içeriğine dayanmaktadır. Tier-2 yönteminde CO₂ emisyon faktörleri, oksitlenmemiş karbonu veya CO₂’den farklı bir gaz olarak açığa çıkan karbonu dikkate alacak şekilde düzenlenebilmektedir. Tier-2 yaklaşımda CH₄ ve N₂O gazlarına ait emisyon tahminleri aşağıda verilen eşitlik (4.2) yardımıyla yapılmaktadır.

$$\text{Emisyon} = \sum_{a,b,c} [\text{Yakıt}_{a,b,c} \times \text{EF}_{a,b,c}] \quad (4.2)$$

Emisyon: Emisyon miktarı (kg)

$Yakıt_{a,b,c}$: Yakıt tüketimi (TJ)

$EF_{a,b,c}$: Emisyon faktörü (kg/TJ)

a : Yakıt türü (benzin, motorin, LPG vs.)

b : Araç tipi

c : Emisyon kontrol teknolojisi

Tier-2 yaklaşımında araç alt kategorilerine özgü yakıt emisyon faktörleri kullanılmaktadır [44]. Farklı araç kategorileri için alınan yola bağlı tipik yakıt tüketimleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Tipik yakıt tüketimleri [71,72].

Araç Türleri	Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi (g/km)
Otomobil	Benzin	70
	Motorin	60
	LPG	57,5
Kamyonet vs.	Benzin	100
	Motorin	80
Otobüs, Kamyon vs.	Motorin	240

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

5.1 Yakıt Tüketimine Bağlı Sera Gazı Emisyonu

Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun incelendiği çalışmada öncelikle Tier-1 yöntemi yardımıyla 2019-2023 yılları arasındaki CO₂, CH₄ ve N₂O gazı emisyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla il genelinde söz konusu yıllara ait EPDK tarafından yayınlanan (Çizelge 4.2) ve satılan yakıtla temsil edilen, tüketilen yakıt verileri dikkate alınarak benzin, motorin ve LPG için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (t)} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/Gg)} \quad (5.1)$$

Formülde yer alan dönüşüm faktörleri yakıt türüne bağlı bir katsayı olarak değişmekte olup, benzin, motorin ve LPG için sırasıyla 44,3 TJ/Gg; 43 TJ/Gg; ve 47,3 TJ/Gg olarak kullanılmaktadır. Söz konusu faktöre ait katsayı değerleri ayrıca Çizelge 4.3’de verilmektedir.

$$\text{Emisyon Miktarı (kg)} = \text{Enerji Tüketimi (TJ)} \times \text{Emisyon Faktörü (kg/TJ)} \quad (5.2)$$

Emisyon faktörleri de yine benzin, motorin, LPG gibi her bir yakıt türü ve CO₂, CH₄, N₂O gibi her bir sera gazı için farklı olup, Çizelge 4.3’de belirtildiği şekilde hesaplamalara katılmıştır. Sera gazı emisyon miktarları ile ilgili küresel veri tabanlarında değerlendirmeler, eşdeğer CO₂ (CO_{2e}) üzerinden yapılmaktadır. Bu nedenle her bir sera gazı için bulunan emisyon miktarları Küresel Isınma Potansiyelleri (KIP) dikkate alınarak aşağıda verildiği şekilde eşdeğer CO₂’e (Gg CO_{2e}) çevrilmiştir.

$$\text{Eşdeğer CO}_2 \text{ (Gg CO}_{2e}\text{)} = \text{Emisyon Miktarı (kg)} \times 10^{-6} \times \text{KIP} \quad (5.3)$$

Sera gazlarının karbondioksite kıyasla ısıyı absorbe etme yetenekleri ile ilgili ağırlıklandırma faktörü olarak tanımlanan Küresel Isınma Potansiyeli gazların iklim değişikliği üzerindeki etkisi açısından önemli bir gösterge konumundadır [18]. Genellikle 20, 100 ve 500 yıl olarak değerlendirilen potansiyeller, başta CO₂, CH₄ ve N₂O olmak üzere çeşitli sera gazları için Çizelge 3.1’de detaylı şekilde verilmektedir. Eşdeğer CO₂ miktarının belirlendiği hesaplamalar CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarında 100 yıllık zaman dilimi için geçerli olan sırasıyla 1, 21, 310 değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. 2019-2023 yılları arasındaki CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için Tier-1 yaklaşımı kullanılarak elde edilen emisyon ve eşdeğer CO₂ (CO_{2e}) değerleri Çizelge 5.1-5.5’de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 5.1. 2019 yılına ait emisyon değerleri.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi	Dönüşüm Faktörü	Enerji Tüketimi	Emisyon Faktörü	Emisyon Miktarı	Emisyon Miktarı	Küresel Isınma Potansiyeli	Eşdeğer CO _{2e} Miktarı (Gg CO _{2e})
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) A×B×10 ⁻³	(kg/TJ)	(kg) C×D	(Gg) C×D×10 ⁻⁶		G×H
CO₂ Emisyonu								
Benzin	40.673,83	44,3	1.801,85	69.300	124.868.248,29	124,87	1	124,87
Motorin	338.821	43	14.569,30	74.100	1.079.585.352,3	1.079,59	1	1.079,59
LPG	27.582,18	47,3	1.304,64	63.100	82.322.610,85	82,32	1	82,32
							Toplam	1.286,78
CH₄ Emisyonu								
Benzin	40.673,83	44,3	1.801,85	33	59.461,07	0,06	21	1,25
Motorin	338.821	43	14.569,30	3,9	56.820,28	0,06	21	1,19
LPG	27.582,18	47,3	1.304,64	62	80.887,51	0,08	21	1,70
							Toplam	4,14
N₂O Emisyonu								
Benzin	40.673,83	44,3	1.801,85	3,2	5.765,92	0,01	310	1,79
Motorin	338.821	43	14.569,30	3,9	56.820,28	0,06	310	17,61
LPG	27.582,18	47,3	1.304,64	0,2	260,93	0,26.10 ⁻³	310	0,08
							Toplam	19,48
Toplam Eşdeğer CO₂ Miktarı (Gg CO_{2e})								1.310,40

Çizelge 5.2. 2020 yılına ait emisyon değerleri.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi	Değişim Faktörü	Enerji Tüketimi	Emisyon Faktörü	Emisyon Miktarı	Emisyon Miktarı	Küresel Isınma Potansiyeli	Eşdeğer CO _{2e} Miktarı (Gg CO _{2e})
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) A×B×10 ⁻³	(kg/TJ)	(kg) C×D	(Gg) C×D×10 ⁻⁶		G×H
CO₂ Emisyonu								
Benzin	40.576,09	44,3	1.797,52	69.300	124.568.181,33	124,57	1	124,57
Motorin	398.432	43	17.132,58	74.100	1.269.523.881,6	1.269,52	1	1.269,52
LPG	27.000	47,3	1.277,10	63.100	80.585.010	80,59	1	80,59
							Toplam	1.474,68
CH₄ Emisyonu								
Benzin	40.576,09	44,3	1.797,52	33	59.318,18	0,06	21	1,25
Motorin	398.432	43	17.132,58	3,9	66.817,05	0,07	21	1,40
LPG	27.000	47,3	1.277,10	62	79.180,2	0,08	21	1,66
							Toplam	4,31
N₂O Emisyonu								
Benzin	40.576,09	44,3	1.797,52	3,2	5.752,07	0,01	310	1,78
Motorin	398.432	43	17.132,58	3,9	66.817,05	0,07	310	20,71
LPG	27.000	47,3	1.277,10	0,2	255,42	0,25.10 ⁻³	310	0,08
							Toplam	22,58
Toplam Eşdeğer CO₂ Miktarı (Gg CO_{2e})								1.501,56

Çizelge 5.3. 2021 yılına ait emisyon değerleri.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi	Değişim Faktörü	Enerji Tüketimi	Emisyon Faktörü	Emisyon Miktarı	Emisyon Miktarı	Küresel Isınma Potansiyeli	Eşdeğer CO _{2e} Miktarı (Gg CO _{2e})
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) A×B×10 ⁻³	(kg/TJ)	(kg) C×D	(Gg) C×D×10 ⁻⁶		G×H
CO₂ Emisyonu								
Benzin	50.795,03	44,3	2.250,22	69.300	155.940.237,22	155,94	1	155,94
Motorin	452.333	43	19.450,32	74.100	1.441.268.637,90	1.441,27	1	1.441,27
LPG	27.308,3	47,3	1.291,68	63.100	81.505.156,51	81,51	1	81,51
							Toplam	1.678,71
CH₄ Emisyonu								
Benzin	50.795,03	44,3	2.250,22	33	74.257,26	0,07	21	1,56
Motorin	452.333	43	19.450,32	3,9	75.856,24	0,08	21	1,59
LPG	27.308,3	47,3	1.291,68	62	80.084,31	0,08	21	1,68
							Toplam	4,83
N₂O Emisyonu								
Benzin	50.795,03	44,3	2.250,22	3,2	7.200,70	0,01	310	2,23
Motorin	452.333	43	19.450,32	3,9	75.856,24	0,08	310	23,52
LPG	27.308,3	47,3	1.291,68	0,2	258,34	0,26.10 ⁻³	310	0,08
							Toplam	25,83
Toplam Eşdeğer CO₂ Miktarı (Gg CO_{2e})								1.709,38

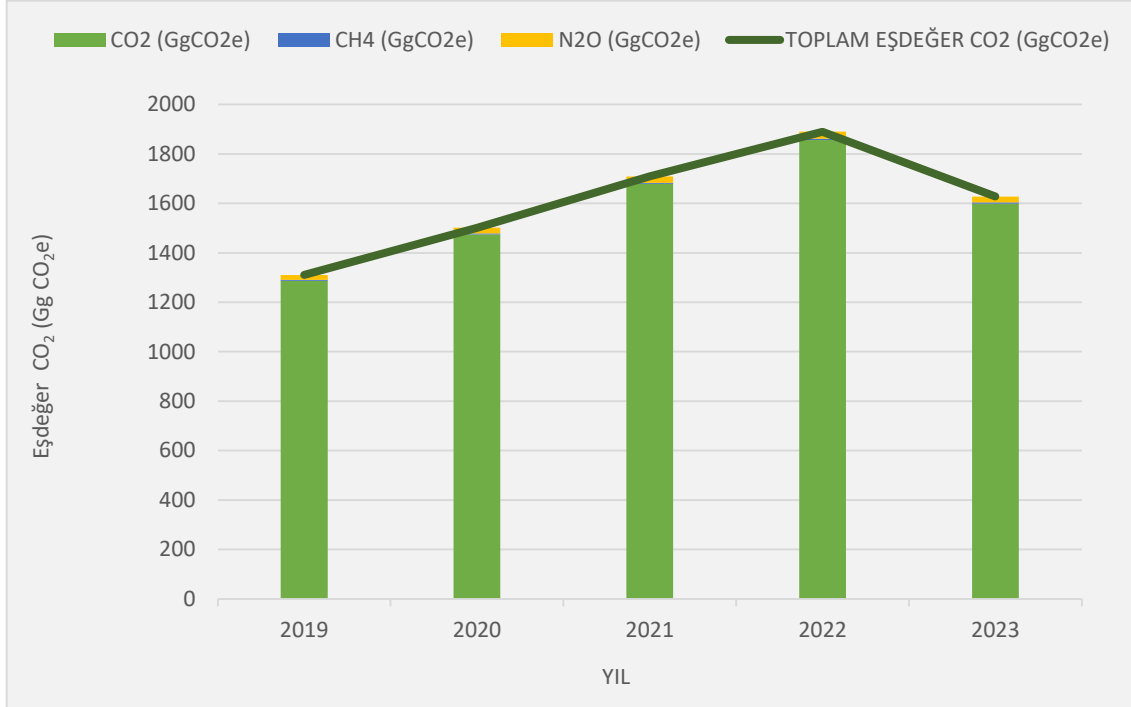
Çizelge 5.4. 2022 yılına ait emisyon değerleri.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi	Değişim Faktörü	Enerji Tüketimi	Emisyon Faktörü	Emisyon Miktarı	Emisyon Miktarı	Küresel Isınma Potansiyeli	Eşdeğer CO _{2e} Miktarı (Gg CO _{2e})
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) A×B×10 ⁻³	(kg/TJ)	(kg) C×D	(Gg) C×D×10 ⁻⁶		G×H
CO₂ Emisyonu								
Benzin	56.105	44,3	2.485,45	69.300	172.241.788,95	172,24	1	172,24
Motorin	501.782	43	21.576,63	74.100	1.598.827.986,6	1.598,83	1	1.598,83
LPG	28.505	47,3	1.348,29	63.100	85.076.878,15	85,08	1	85,08
							Toplam	1.856,15
CH₄ Emisyonu								
Benzin	56.105	44,3	2.485,45	33	82.019,9	0,08	21	1,72
Motorin	501.782	43	21.576,63	3,9	84.148,84	0,08	21	1,77
LPG	28.505	47,3	1.348,29	62	83.593,76	0,08	21	1,76
							Toplam	5,25
N₂O Emisyonu								
Benzin	56.105	44,3	2.485,45	3,2	7.953,44	0,01	310	2,47
Motorin	501.782	43	21.576,63	3,9	84.148,84	0,08	310	26,09
LPG	28.505	47,3	1.348,29	0,2	269,66	0,27.10 ⁻³	310	0,08
							Toplam	28,64
Toplam Eşdeğer CO₂ Miktarı (Gg CO_{2e})								1.890,03

Çizelge 5.5. 2023 yılına ait emisyon değerleri.

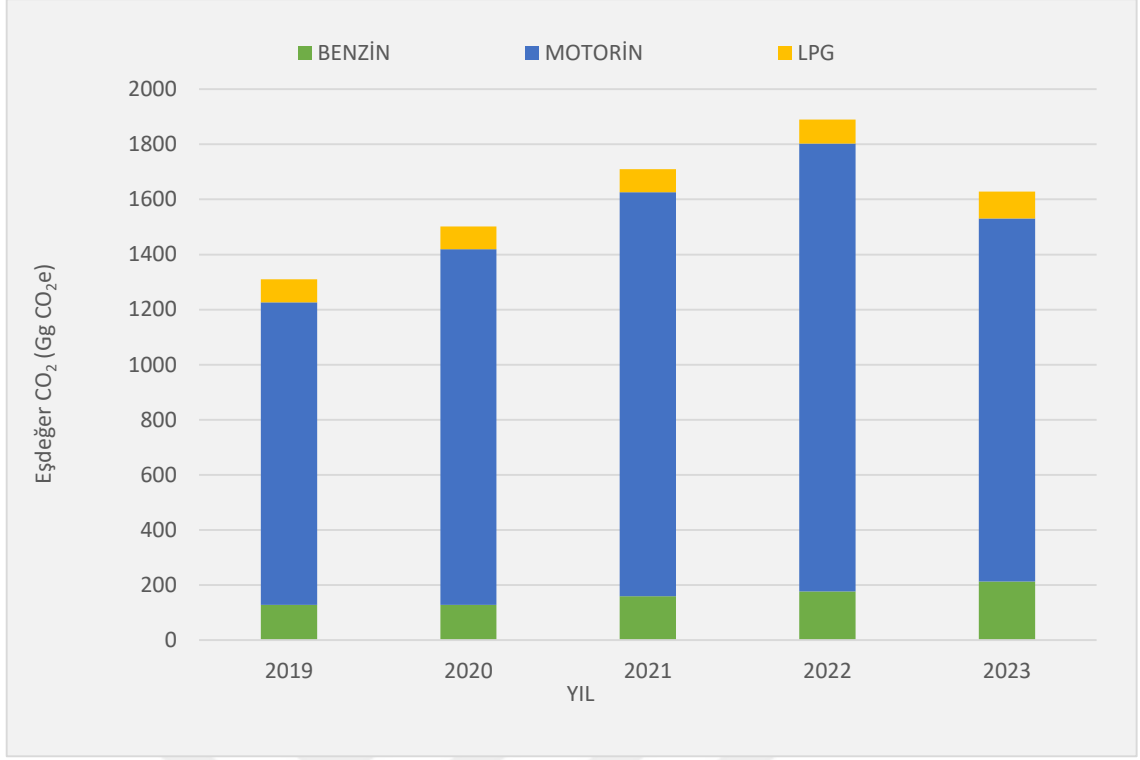
	A	B	C	D	E	F	G	H
Yakıt Türü	Yakıt Tüketimi	Değişim Faktörü	Enerji Tüketimi	Emisyon Faktörü	Emisyon Miktarı	Emisyon Miktarı	Küresel Isınma Potansiyeli	Eşdeğer CO _{2e} Miktarı (Gg CO _{2e})
	(t)	(TJ/Gg)	(TJ) A×B×10 ⁻³	(kg/TJ)	(kg) C×D	(Gg) C×D×10 ⁻⁶		G×H
CO₂ Emisyonu								
Benzin	67.706	44,3	2.999,38	69.300	207.856.742,94	207,86	1	207,86
Motorin	406.622	43	17.484,75	74.100	1.295.619.678,6	1.295,62	1	1.295,62
LPG	31.788	47,3	1.503,57	63.100	94.875.418,44	94,88	1	94,88
							Toplam	1.598,35
CH₄ Emisyonu								
Benzin	67.706	44,3	2.999,38	33	98.979,4	0,10	21	2,08
Motorin	406.622	43	17.484,75	3,9	68.190,51	0,07	21	1,43
LPG	31.788	47,3	1.503,57	62	93.221,49	0,09	21	1,96
							Toplam	5,47
N₂O Emisyonu								
Benzin	67.706	44,3	2.999,38	3,2	9.598	0,01	310	2,98
Motorin	406.622	43	17.484,75	3,9	68.190,51	0,07	310	21,14
LPG	31.788	47,3	1.503,57	0,2	300,71	0,30.10 ⁻³	310	0,09
							Toplam	24,21
Toplam Eşdeğer CO₂ Miktarı (Gg CO_{2e})								1.628,03

Söz konusu çizelgelerin yanısıra 2019-2023 yılları arasında taşıt araçlarında benzin, motorin ve LPG gibi yakıtların kullanımına bağlı eşdeğer CO₂ emisyonunun değişimi Şekil 5.1’de özet olarak verilmektedir.



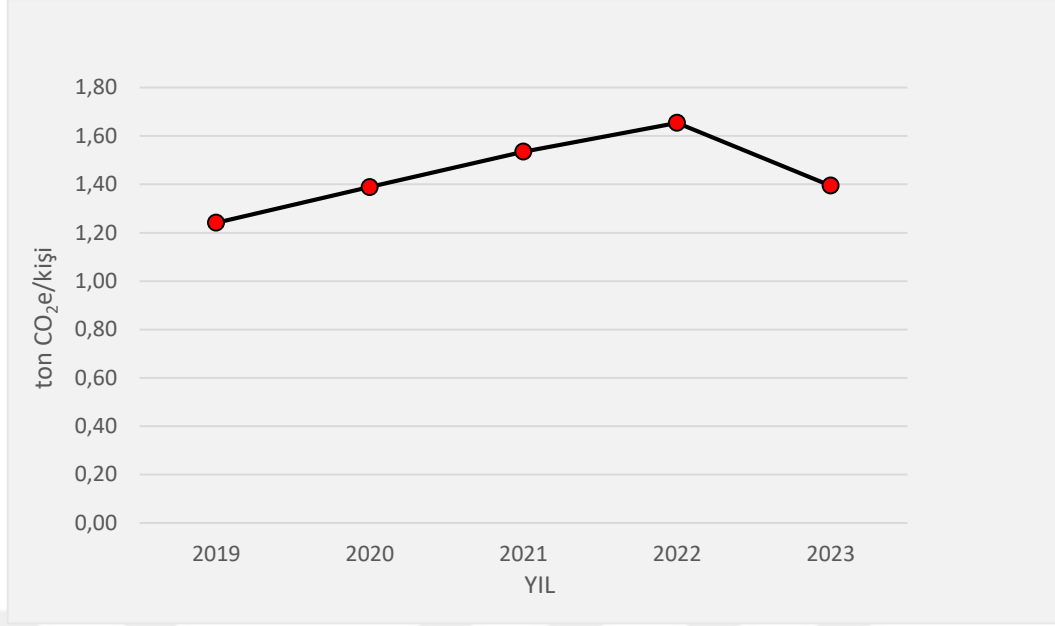
Şekil 5.1. Eşdeğer CO₂ emisyonu.

Çizelge 5.1-5.5 ve Şekil 5.1’de verilen sonuçlar incelendiğinde Tekirdağ ilinde CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için 2019-2022 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonunun yaklaşık %44 oranında artarak 1.890,03 Gg CO_{2e} miktarına ulaştığı, 2022-2023 yılları arasında ise yaklaşık %14 oranında azalarak 1628,03 Gg CO_{2e} değerine gerilediği görülmektedir. 2022-2023 yılları arasında yaşanan bu düşüşe rağmen, 2019 yılından 2023 yılına kadar geçen zaman dilimi içerisinde il genelindeki toplam eşdeğer CO₂ emisyonunun yaklaşık %24 oranında arttığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar 2022-2023 yılları arasında emisyon miktarındaki azalmanın, aynı yıllarda ildeki motorin tüketiminde yaşanan düşüşe bağlı olarak gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Buna göre yapılan çalışma, Tekirdağ ilinde 2019-2023 yılları arasındaki eşdeğer CO₂ emisyonu değişiminin, aynı yıllara ait EPDK verileri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Şekil 5.2’de ildeki karayolu kaynaklı eşdeğer CO₂ emisyonuna taşıt araçlarında kullanılan yakıt türlerinin katkısı verilmektedir.



Şekil 5.2. Eşdeğer CO₂ emisyonuna yakıt türlerinin katkısı.

Şekil 5.2’de de görüldüğü üzere, yakıt miktarı ve Küresel Isınma Potansiyeline bağlı olarak karayolu kaynaklı toplam eşdeğer CO₂ emisyonunda motorin, en yüksek paya sahip yakıt türü konumundadır. Buna göre yapılan hesaplamalar çalışma aralığı olarak belirlenen yıllar arasında motorin kaynaklı emisyonun, toplam emisyonun yaklaşık %84-86’sına karşılık geldiğini göstermektedir. Çalışmada aynı zamanda Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan kişi başına eşdeğer CO₂ emisyonu da hesaplanmıştır. Şekil 5.3’de 2019-2023 yılları arasında eşdeğer CO₂/kişi değerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir.



Şekil 5.3. Karayolu ulaşımı kaynaklı eşdeğer CO₂/kişi miktarı.

Tekirdağ ilinde 2019-2023 yılları arasında kişi başına düşen eşdeğer CO₂ emisyonu 1,24-1,65 tCO₂e/kişi arasında değişmektedir. Buna karşılık Türkiye genelinde 2019-2021 yılı verilerine göre bu değer 0,92-1,02 tCO₂e/kişi aralığındadır [73]. Karayolu ulaşımı kaynaklı kişi başına düşen emisyon değerlerinin ülkelere göre büyük oranda farklılık gösterdiği bilinmekle birlikte, 2018 yılı istatistiklerinde bu değerler ABD, Kanada, Almanya, İngiltere, İspanya ve İran için sırasıyla yaklaşık 4,49 tCO₂e/kişi, 4,12 tCO₂e/kişi, 1,85 tCO₂e/kişi, 1,71 tCO₂e/kişi, 1,76 tCO₂e/kişi ve 1,66 71 tCO₂e/kişi olarak verilmektedir [58].

5.2 Trafik Hacmine Bağlı Sera Gazı Emisyonu ve Haritalandırma

Çalışmanın devamında ise 2019-2023 yılları arasında Tekirdağ ilinde, Devlet Yollarına ait sera gazı emisyonu belirlenmeye çalışılmış ve il genelinde toplam 10 kontrol kesim noktası üzerinden 28 yol diliminde gerekli hesaplamalar yapılarak, emisyon haritaları oluşturulmuştur. Şekil 5.4'de Tekirdağ ili Devlet Yolları haritası verilmektedir.



Şekil 5.4. Tekirdağ ili Devlet Yolları haritası [74].

Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı olan Tekirdağ ilinde, Devlet Yollarına ait kontrol kesim noktaları, yol dilimleri ve uzunlukları Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Tekirdağ ili Devlet Yollarına ait bilgiler [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Uzunluk (km)	
Tekirdağ	100-03	1	4
Tekirdağ	100-03	2	12
Tekirdağ	100-03	3	8
Tekirdağ	100-03	4	16
Tekirdağ	100-03	5	2
Tekirdağ	110-03	1	13
Tekirdağ	110-03	2	11
Tekirdağ	110-03	3	25
Tekirdağ	110-03	4	19
Tekirdağ	110-03	5	3
Tekirdağ	110-03	6	3
Tekirdağ	110-04	1	6
Tekirdağ	110-04	2	13
Tekirdağ	110-04	3	21
Tekirdağ	110-05	0	9
Tekirdağ	120-02	0	19
Tekirdağ	555-04	1	16
Tekirdağ	555-04	2	28
Tekirdağ	555-04	3	19
Tekirdağ	555-05	0	33
Tekirdağ	565-04	1	4
Tekirdağ	565-04	2	9
Tekirdağ	565-04	3	20
Tekirdağ	567-01	1	2
Tekirdağ	567-01	2	16
Tekirdağ	567-01	3	9
Tekirdağ	567-01	4	4
Tekirdağ	567-03	0	13

Söz konusu yol dilimlerine ait trafik verileri Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından periyodik olarak yayınlanan trafik ve ulaşım bilgileri raporlarından temin edilmiştir. Çizelge 5.7-5.11’de toplam 10 kontrol kesim noktasının esas alındığı 28 yol dilimine ait kullanılan yakıt türleri de dahil olmak üzere ortalama araç sayılarını içeren trafik verileri toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 5.7. 2019 yılına ait ortalama trafik verileri [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Otomobil (taşıt/gün)			Kamyonet (taşıt/gün)	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon (taşıt/gün)	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork (taşıt/gün)
		Benzin	Motorin	LPG				
100-03	1	2534	3990	3906	2134	157	2104	1681
100-03	2	3091	4866	4764	2506	93	1377	1340
100-03	3	4153	6538	6401	3181	152	2692	1660
100-03	4	3301	5197	5088	1735	188	1380	825
100-03	5	2985	4699	4600	1489	131	758	615
110-03	1	2428	3822	3742	748	195	446	990
110-03	2	2702	4254	4165	1262	247	982	977
110-03	3	2694	4241	4152	1022	267	802	908
110-03	4	3202	5042	4936	972	222	584	1061
110-03	5	3503	5516	5400	1659	134	1038	1364
110-03	6	6203	9766	9561	1756	128	1218	2270
110-04	1	5718	9002	8813	2038	112	1328	1350
110-04	2	5756	9063	8873	1823	293	1204	1469
110-04	3	3116	4905	4802	1253	294	909	910
110-05	0	4222	6647	6508	1102	256	951	1280
120-02	0	219	344	337	185	1	103	87
555-04	1	479	754	738	281	7	253	245
555-04	2	425	669	655	205	2	195	68
555-04	3	853	1343	1314	437	7	418	220
555-05	0	596	938	919	248	31	184	59
565-04	1	1183	1863	1824	856	38	776	1037
565-04	2	549	865	847	393	22	380	467
565-04	3	2120	3338	3268	1076	23	732	981
567-01	1	1200	1889	1849	552	132	428	823
567-01	2	2404	3785	3706	1547	235	871	661
567-01	3	1856	2923	2861	1282	46	1068	753
567-01	4	3023	4759	4660	1818	172	1619	1476
567-03	0	724	1139	1115	273	11	292	357

Çizelge 5.8. 2020 yılına ait ortalama trafik verileri [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Otomobil (taşıt/gün)			Kamyonet (taşıt/gün)	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon (taşıt/gün)	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork (taşıt/gün)
		Benzin	Motorin	LPG				
100-03	1	2343	3677	3524	2007	206	2212	1702
100-03	2	3169	4974	4766	2661	140	1405	1345
100-03	3	4062	6375	6109	2890	150	2490	1630
100-03	4	2781	4366	4183	1639	131	1374	898
100-03	5	2641	4145	3972	1510	135	1205	779
110-03	1	2137	3354	3214	714	92	474	1051
110-03	2	2262	3550	3402	1051	117	1038	1075
110-03	3	2443	3835	3675	973	158	818	926
110-03	4	2946	4624	4431	860	110	572	1025
110-03	5	2920	4584	4393	1624	50	962	1266
110-03	6	5933	9313	8924	1639	47	1216	2285
110-04	1	5643	8857	8487	1984	116	1342	1402
110-04	2	5235	8217	7874	1685	157	1110	1574
110-04	3	2553	4008	3841	1442	248	945	861
110-05	0	3388	5319	5097	961	202	925	1258
120-02	0	241	378	362	198	1	101	394
555-04	1	610	957	917	391	12	273	264
555-04	2	443	695	666	242	4	204	73
555-04	3	933	1464	1403	468	4	417	208
555-05	0	641	1007	964	442	19	226	74
565-04	1	1067	1675	1605	734	28	697	823
565-04	2	685	1075	1031	625	22	645	684
565-04	3	1956	3071	2942	978	23	625	828
567-01	1	1182	1856	1778	558	114	447	611
567-01	2	2354	3696	3541	1651	307	1089	795
567-01	3	1869	2934	2812	1246	58	1032	966
567-01	4	2765	4340	4158	1804	128	1696	1430
567-03	0	723	1136	1088	359	22	321	344

Çizelge 5.9. 2021 yılına ait ortalama trafik verileri [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Otomobil (taşıt/gün)			Kamyonet (taşıt/gün)	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon (taşıt/gün)	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork (taşıt/gün)
		Benzin	Motorin	LPG				
100-03	1	2707	3992	3811	2586	184	2641	1818
100-03	2	3209	4731	4517	2925	77	1503	1442
100-03	3	3874	5712	5454	3177	154	3109	1685
100-03	4	3302	4869	4649	1748	145	1329	850
100-03	5	2957	4361	4164	2058	174	1508	914
110-03	1	2479	3655	3490	779	91	515	1234
110-03	2	2486	3665	3500	1401	130	1085	1196
110-03	3	2585	3812	3639	981	181	950	1182
110-03	4	3435	5065	4836	939	108	641	1257
110-03	5	3947	5820	5557	1940	63	1151	1537
110-03	6	7499	11058	10558	1999	45	1253	2559
110-04	1	6431	9482	9053	1969	140	1921	1659
110-04	2	6189	9126	8713	2027	164	1298	1904
110-04	3	3309	4879	4658	2005	368	1466	1057
110-05	0	4338	6397	6108	1111	128	987	1432
120-02	0	277	409	391	154	2	60	163
555-04	1	833	1228	1172	555	15	382	309
555-04	2	605	892	852	245	2	207	105
555-04	3	965	1424	1359	556	6	352	219
555-05	0	698	1029	983	468	23	320	132
565-04	1	1279	1886	1801	837	22	698	984
565-04	2	798	1177	1124	527	12	437	638
565-04	3	2005	2957	2823	1055	19	546	731
567-01	1	1241	1830	1748	1156	139	651	736
567-01	2	2602	3837	3663	1988	287	1276	892
567-01	3	2121	3128	2987	1358	67	1403	1137
567-01	4	3179	4688	4476	1861	123	1527	1105
567-03	0	948	1398	1335	541	21	399	534

Çizelge 5.10. 2022 yılına ait ortalama trafik verileri [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Otomobil (taşıt/gün)			Kamyonet (taşıt/gün)	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon (taşıt/gün)	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork (taşıt/gün)
		Benzin	Motorin	LPG				
100-03	1	2714	3737	3555	2362	122	2608	1752
100-03	2	3243	4465	4247	2784	73	1482	1365
100-03	3	4033	5552	5281	3378	154	3253	1635
100-03	4	3659	5038	4793	1630	139	1310	813
100-03	5	3278	4513	4293	1919	167	1486	875
110-03	1	2080	2864	2724	679	85	377	946
110-03	2	2819	3882	3692	1170	133	1016	1195
110-03	3	2826	3891	3702	1038	198	941	1229
110-03	4	3788	5215	4961	940	149	663	1419
110-03	5	4011	5523	5253	1879	90	1511	1870
110-03	6	8400	11566	11001	2194	94	1263	2657
110-04	1	7292	10040	9550	2893	120	1805	1643
110-04	2	6924	9533	9068	2026	198	1294	1911
110-04	3	3781	5206	4952	1490	248	1205	1113
110-05	0	4710	6485	6169	1216	161	1081	1570
120-02	0	189	260	247	125	4	70	41
555-04	1	828	1140	1085	552	17	402	311
555-04	2	447	615	585	253	2	251	114
555-04	3	893	1230	1170	389	6	378	239
555-05	0	682	938	893	413	17	289	92
565-04	1	1474	2030	1931	961	14	772	972
565-04	2	629	866	824	591	20	460	624
565-04	3	2315	3187	3032	1183	21	644	929
567-01	1	1346	1853	1763	592	122	645	787
567-01	2	2845	3918	3727	1582	238	1365	990
567-01	3	6448	8878	8445	3571	103	1984	1043
567-01	4	3508	4829	4594	1695	132	1614	1454
567-03	0	722	994	946	358	15	392	486

Çizelge 5.11. 2023 yılına ait ortalama trafik verileri [74].

Kontrol Kesim No (K.K.No)	Dilim No	Otomobil (taşıt/gün)			Kamyonet (taşıt/gün)	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon (taşıt/gün)	Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork (taşıt/gün)
		Benzin	Motorin	LPG				
100-03	1	3180	3945	3712	2398	112	2540	1946
100-03	2	4281	5310	4997	3145	88	1663	1450
100-03	3	5126	6359	5984	3789	169	3434	1720
100-03	4	4287	5318	5004	1745	148	1360	911
100-03	5	3840	4763	4482	2054	178	1543	979
110-03	1	2282	2830	2663	633	78	304	752
110-03	2	3092	3836	3610	1124	126	943	1011
110-03	3	3476	4312	4058	1108	197	892	1294
110-03	4	4659	5779	5438	1003	148	629	1495
110-03	5	4898	6076	5717	1942	89	1433	1946
110-03	6	10238	12700	11951	2496	211	1339	2699
110-04	1	8575	10636	10009	2813	119	1515	1556
110-04	2	8181	10147	9549	1946	197	1004	1809
110-04	3	4467	5541	5214	1431	247	935	1054
110-05	0	5935	7361	6927	1328	177	1168	1666
120-02	0	231	287	270	127	1	59	31
555-04	1	909	1127	1061	563	10	394	314
555-04	2	494	613	577	233	2	301	122
555-04	3	987	1225	1152	358	6	454	257
555-05	0	783	972	914	413	17	289	92
565-04	1	1845	2288	2153	969	16	807	997
565-04	2	788	977	919	596	23	481	640
565-04	3	2896	3593	3381	1193	23	673	954
567-01	1	1584	1964	1849	590	119	583	735
567-01	2	3189	3956	3723	1581	234	1303	939
567-01	3	7714	9569	9004	4099	71	1585	1528
567-01	4	4566	5663	5329	2223	92	1215	2131
567-03	0	908	1127	1060	383	16	378	604

Yol dilimlerine ait sera gazı emisyonlarının haritalandırılmasında Tier-2 yöntemi ile öncelikle her bir yol dilimi için yıllık yakıt tüketim miktarları hesaplanmıştır. Söz konusu yol dilimlerine ait trafik hacimlerinin esas alındığı birinci aşama araç kategorileri ve yakıt türleri ile ilişkili tipik yakıt tüketimleri ve araç sayıları göz önünde bulundurularak ilerlemiştir. Buna göre hesaplamalar Çizelge 5.11'e bağlı olarak aşağıdaki şekilde formülize edilmektedir.

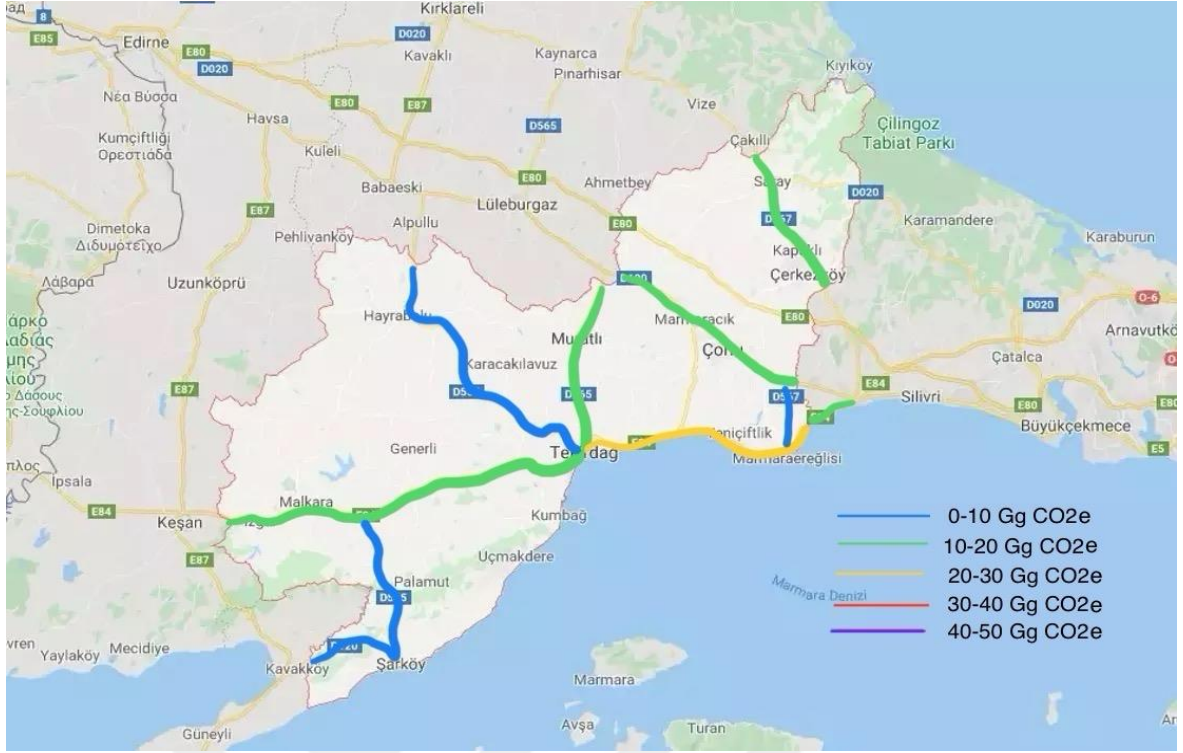
$$\begin{array}{cccc} \text{Toplam Yakıt Tüketimi} & = & \text{Yol Uzunluğu} & \times & \text{Tipik Yakıt Tüketimi} & \times & \text{Araç Sayısı} & (5.4) \\ (\text{ton}) & & (\text{km}) & & (\text{g/km}) & & (\text{taşıt/gün}) \end{array}$$

Burada kullanılan tipik yakıt tüketimi değerleri Çizelge 4.4'de verildiği üzere araç kategorileri ve kullanılan yakıtla ilgili olarak değişmektedir. Toplam yakıt tüketimi ise her bir yol dilimi için araç kategorileri ve yakıt türlerine uygun tipik yakıt tüketim değerleri ve araç sayıları kullanılarak yıllık olarak hesaplanmaktadır. Yakıt miktarları ile ilgili işlemlerin ardından Tier-1 yaklaşımına bağlı olarak her bir yol dilimi için benzin, motorin, LPG temelinde öncelikle CO₂, CH₄ ve N₂O, devamında ise toplam eşdeğer CO₂ emisyonları tespit edilmiştir. Haritalandırma çalışmalarına esas olan 2019-2023 yılları arasında her bir yol dilimine ait eşdeğer CO₂ emisyon miktarları da Çizelge 5.12'de verilmektedir.

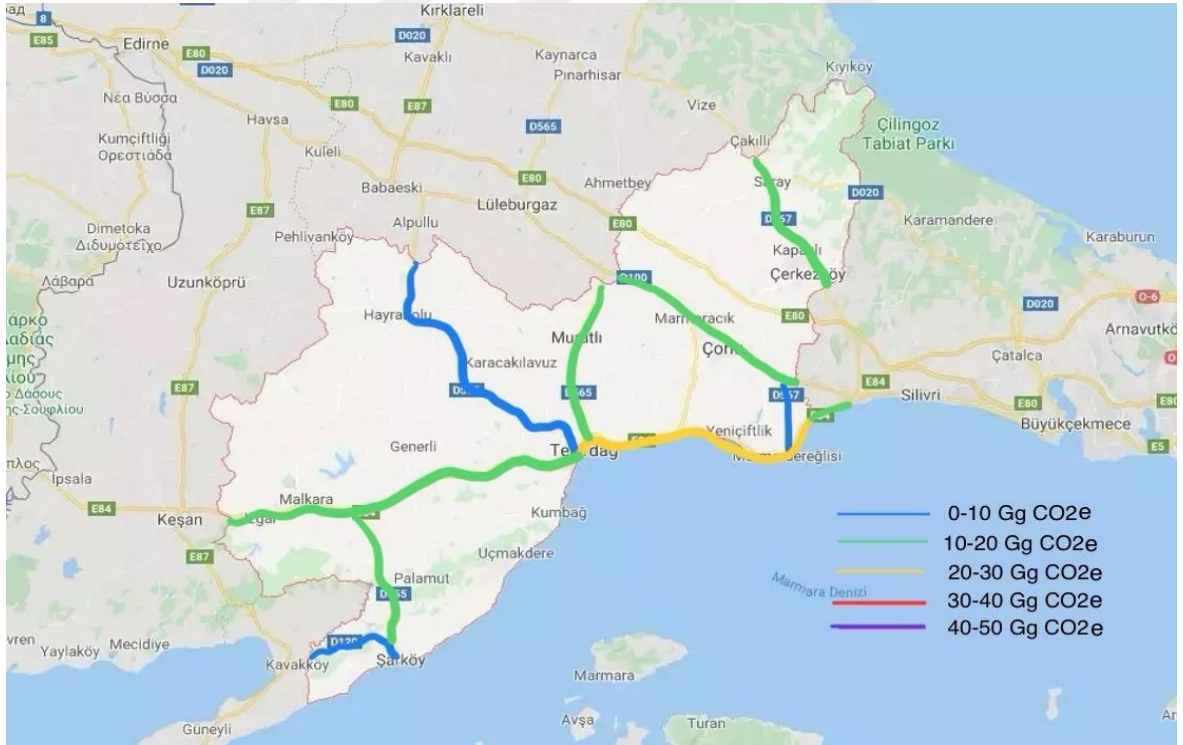
Çizelge 5.12. Yıllara göre yol dilimlerine ait eşdeğer CO₂ miktarları.

Kontrol Kesim No	Dilim No	Eşdeğer CO ₂ Miktarı (Gg CO _{2e})				
		2019	2020	2021	2022	2023
100-03	1	8,23	8,14	9,23	8,83	9,22
	2	23,21	23,82	24,21	23,31	26,97
	3	22,30	21,25	22,17	22,46	24,93
	4	28,86	26,22	27,74	28,08	30,31
	5	2,87	3,01	3,49	3,52	3,79
110-03	1	16,12	14,85	16,62	13,12	12,18
	2	16,85	15,23	16,51	16,66	15,94
	3	36,04	33,40	36,52	37,77	40,67
	4	29,51	26,88	30,47	32,58	35,58
	5	5,69	4,92	6,15	6,64	7,08
	6	8,99	8,61	10,04	10,64	11,80
110-04	1	15,89	15,75	18,07	19,18	19,54
	2	34,95	32,16	37,06	38,63	39,36
	3	34,12	30,56	40,34	39,06	38,98
110-05	0	18,34	15,70	18,20	19,33	21,81
120-02	0	2,57	4,35	2,94	1,78	1,79
555-04	1	4,95	5,90	7,71	7,62	7,65
	2	6,11	6,45	7,81	6,87	7,36
	3	9,00	9,34	9,16	8,51	9,07
555-05	0	9,06	10,46	12,25	10,91	11,30
565-04	1	3,80	3,27	3,66	3,90	4,23
	2	3,99	5,76	5,20	4,81	5,15
	3	24,26	21,50	20,39	23,42	25,71
567-01	1	1,59	1,45	1,77	1,70	1,70
	2	21,56	23,31	25,62	26,10	26,05
	3	10,72	11,16	13,07	26,24	28,51
	4	9,89	9,46	9,17	9,94	11,48
567-03	0	5,93	6,12	8,16	6,67	7,57

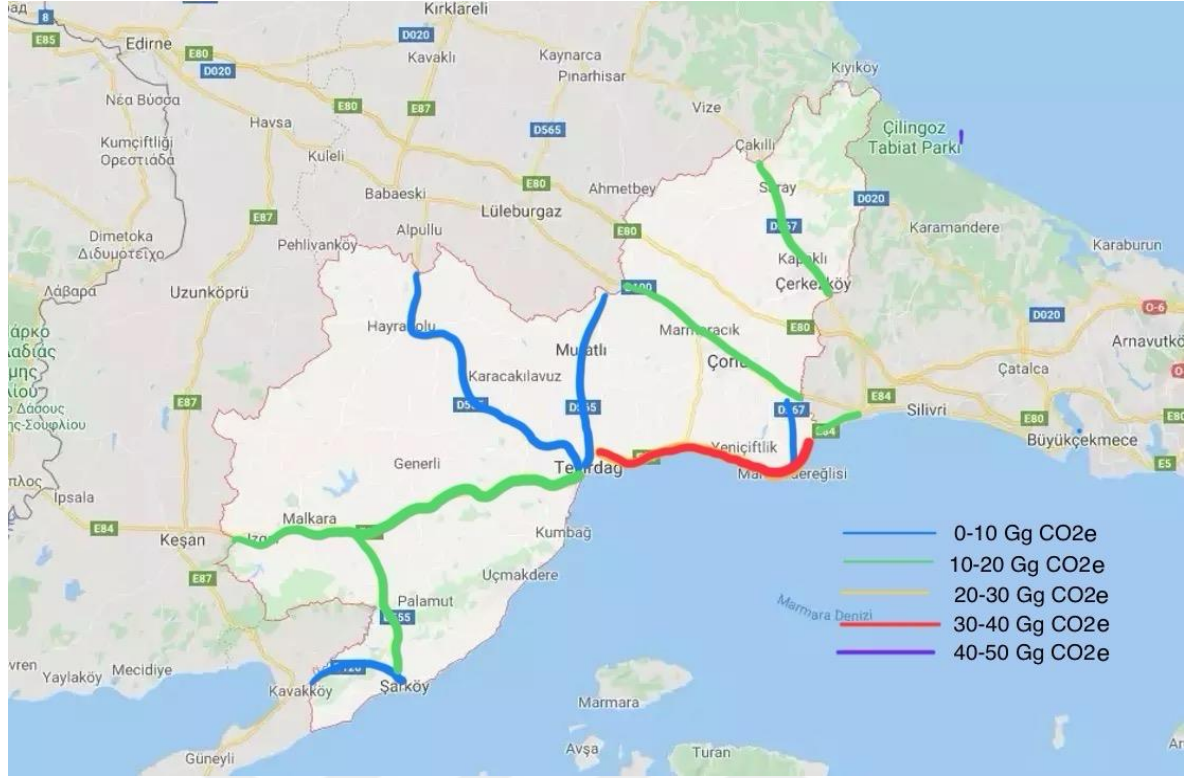
Çizelge 5.12’de yer alan yıllara bağlı eşdeğer CO₂ emisyon miktarları esas alınarak oluşturulan haritalar Şekil 5.5-5.9’da verilmektedir.



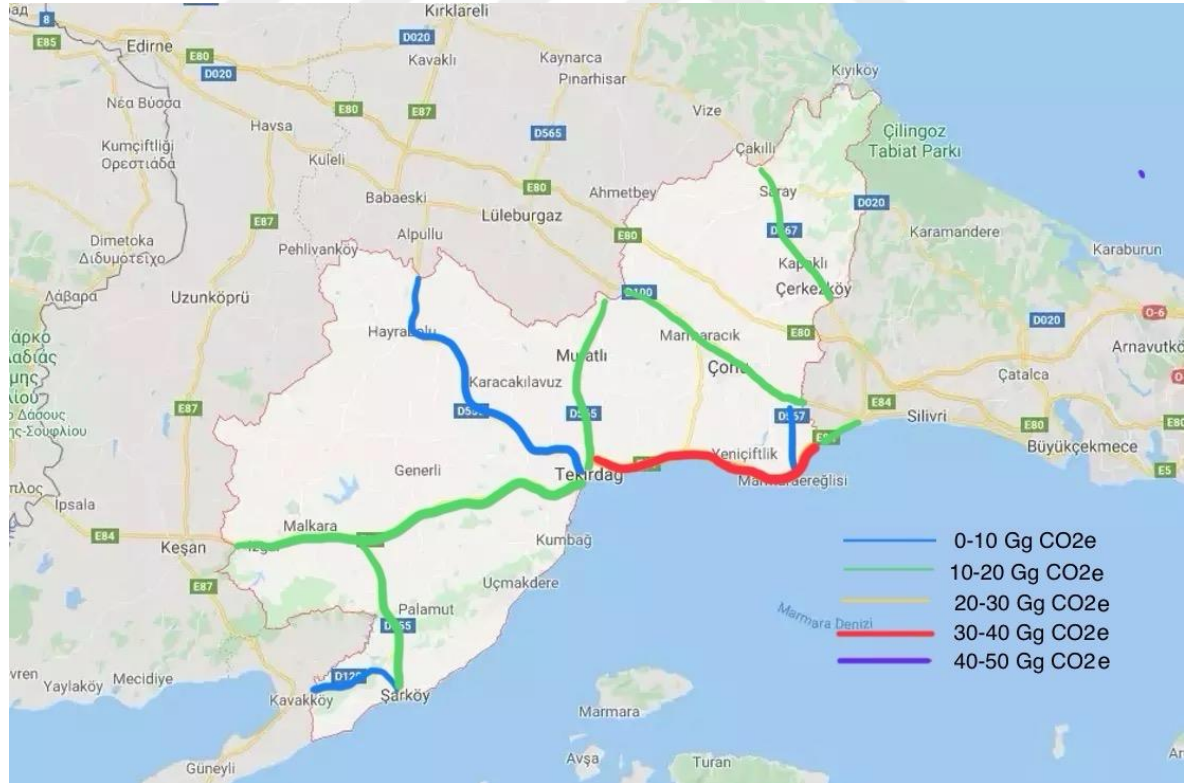
Şekil 5.5. 2019 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritası.



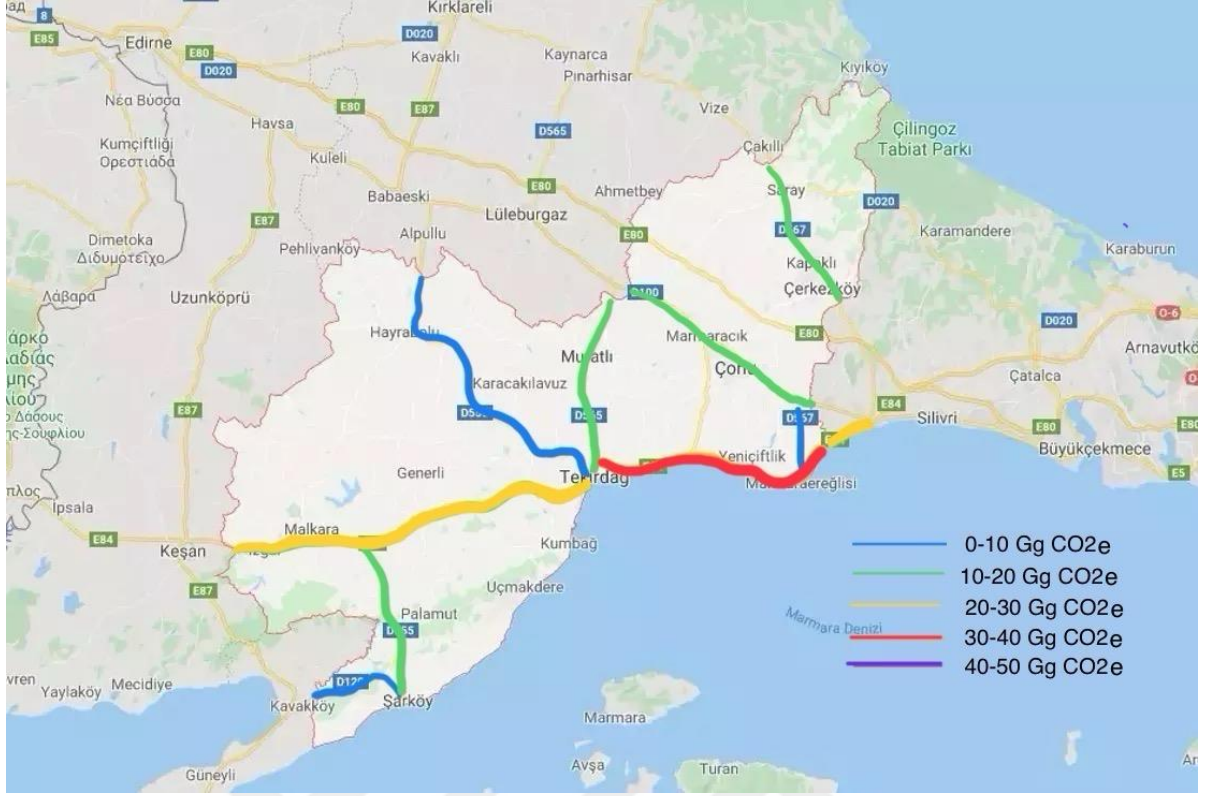
Şekil 5.6. 2020 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritası.



Şekil 5.7. 2021 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritası.



Şekil 5.8. 2022 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritası.

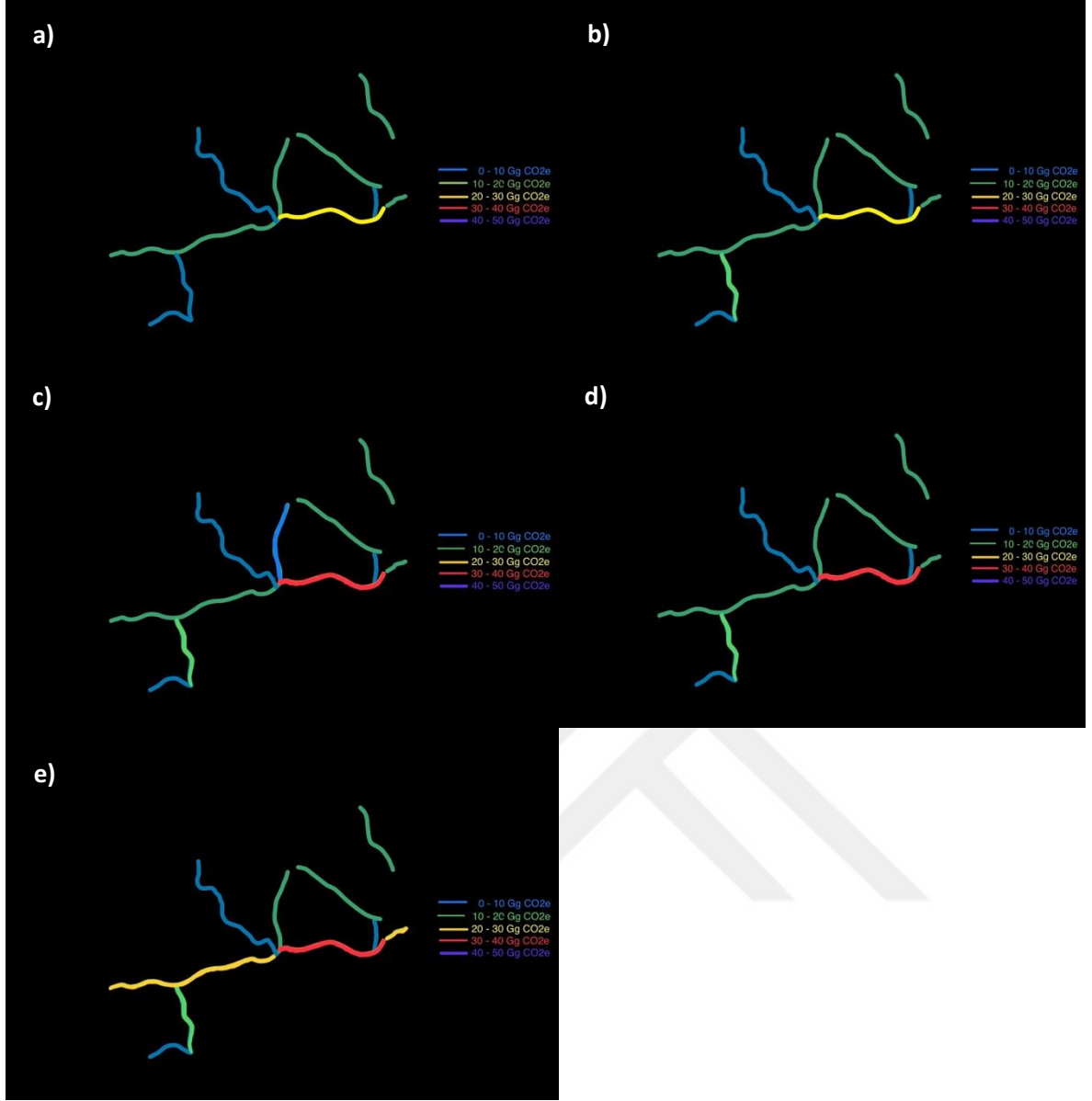


Şekil 5.9. 2023 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritası.

Çizelge 5.12’de yer alan veriler esas alınarak oluşturulan haritalarda, emisyon miktarlarına bağlı olarak güzergâhların renklendirmesi 0-10 GgCO_{2e} aralığı için mavi, 10-20 GgCO_{2e} aralığı için yeşil, 20-30 GgCO_{2e} aralığı için sarı, 30-40 GgCO_{2e} aralığı için kırmızı, 40-50 GgCO_{2e} aralığı için mor renk kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

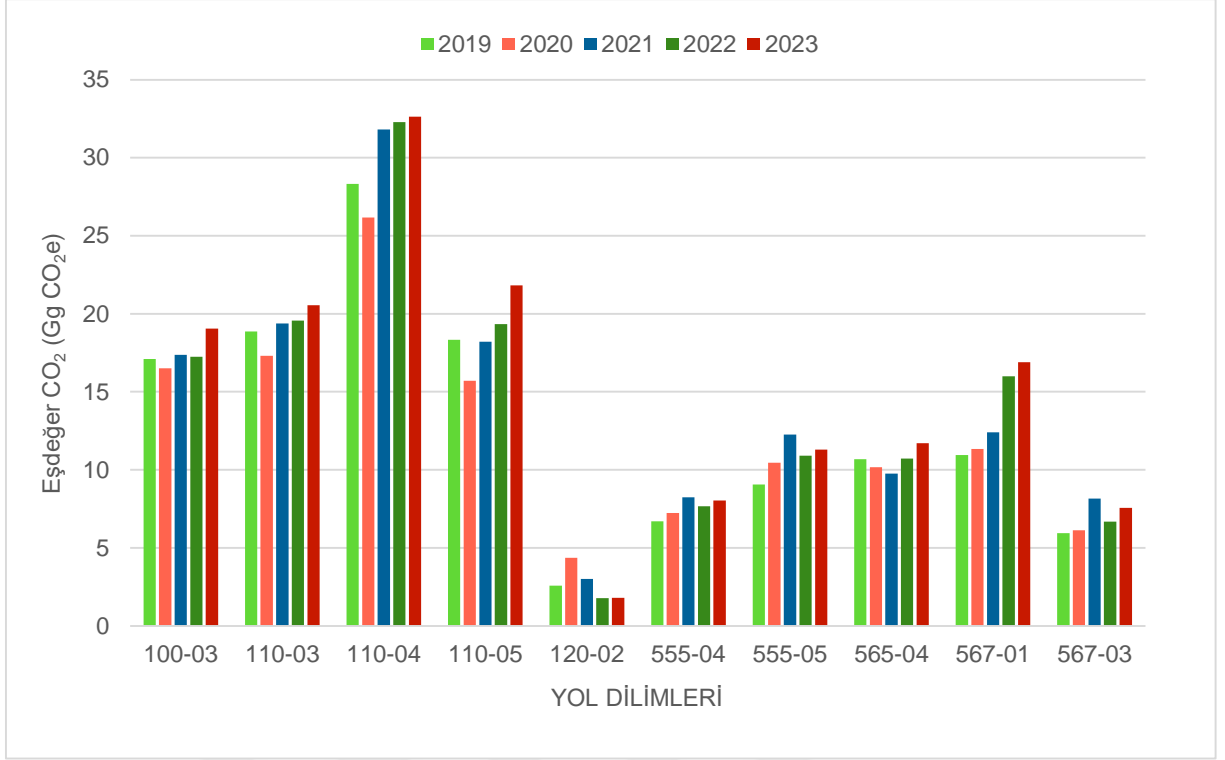
Haritalar incelendiğinde 2019-2023 yılları arasında 110-03, 110-04, 110-05 ve 555-03 numaralı güzergâhlarda sırasıyla 2023, 2021, 2023 ve 2019 yıllarında emisyon miktarındaki artışa bağlı olarak renk değişimi gerçekleştiği, buna karşın çoğunlukla herhangi değişimin olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.10 (a-e)’da 2019-2023 yılları arasında Devlet Yollarına ait eşdeğer CO₂ emisyon haritaları toplu olarak verilmektedir.



Şekil 5.10. Devlet Yollarına ait a) 2019, b) 2020, c) 2021, d) 2022, e) 2023 yılı eşdeğer CO₂ emisyon haritaları.

Şekil 5.11’de 2019-2023 yılları arasında kontrol kesim noktaları üzerinden yol dilimlerine ait eşdeğer CO₂ emisyonlarının zaman bağlı değişimi verilmektedir.



Şekil 5.11. Yol dilimlerine ait eşdeğer CO₂ emisyonları.

2019-2023 yılları arasında yol dilimlerine ait emisyon verilerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde, eşdeğer CO₂ miktarının 100-03, 110-03, 110-04, 110-05, 555-04, 555-05, 565-04, 567-01 ve 567-03 numaralı güzergahlarda sırasıyla %11,34, %8,9, %15,22, %18,92, %20,03, %24,72, %9,65; %54,48 ve %27,65 oranında arttığı, 120-02 numaralı güzergahta ise %30,35 oranında azaldığı belirlenmiştir. Buna göre Şekil 5.11'den de görüleceği üzere belirlenen yıllar içerisinde en yüksek artışın 567-01, en düşük artışın ise 110-03 numaralı güzergahta gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bunların yanısıra 2020 yılında 100-03, 110-03, 110-04, 110-05, 565-04 numaralı güzergahlarda eşdeğer CO₂ emisyonunun 2019 yılı değerlerinin altına düştüğü görülmektedir.

5.3 Senaryolar Temelinde Sera Gazı Emisyonları

Tez çalışmasının son aşamasında 2030, 2040 ve 2050 yıllarına yönelik üç farklı senaryo oluşturularak il genelinde karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonunun gelecekteki olası durumu değerlendirilmeye çalışılmıştır. Senaryolarda araç sayıları 2019-2023 yılları arasındaki genel artış eğilimine dayalı olarak arttığı kabul edilerek, araç kategorileri de 2023 yılındaki genel dağılım oranları kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre senaryolara esas olan yıllara bağlı araç kategorileri ve yakıt türlerine ait kabuller Çizelge 5.13'de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 5.13. Senaryolara ait kabul oranları.

Senaryolar	Araç Kategorisi	Yakıt Türü (%)	Yıllar		
			2030	2040	2050
Senaryo-I	Otomobil	Benzin	28,7	28,7	28,7
		Motorin	35,6	35,6	35,6
		LPG	33,5	33,5	33,5
		Hibrit	1,5	1,5	1,5
		Elektrik	0,5	0,5	0,5
	Kamyonet	Motorin	100	100	100
	Otobüs, Kamyon	Motorin	100	100	100
Senaryo-II	Otomobil	Benzin	28	25	18
		Motorin	32	25	15
		LPG	30	25	17
		Elektrik	10	25	50
	Kamyonet	Benzin	20	40	50
		Motorin	80	60	50
	Otobüs, Kamyon	Motorin	100	100	100
Senaryo-III	Otomobil	Benzin	30	18	0
		Motorin	10	5	0
		LPG	30	17	0
		Elektrik	30	60	100
	Kamyonet	Benzin	50	75	100
		Motorin	50	25	0
	Otobüs, Kamyon	Motorin	100	100	100

Çalışma kapsamında Senaryo-I genel olarak mevcut durumun devam ettiği esasına dayanarak oluşturulmuştur. Böylelikle araç kategorilerinde 2023 yılındaki yakıt türleri dağılım oranları 2030, 2040 ve 2050 yılı için hazırlanan senaryoda kullanılarak sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Çizelge 5.14’de Senaryo-I için yakıt türüne göre araç dağılımları verilmektedir.

Çizelge 5.14. Senaryo-I için yakıt türüne göre araç dağılımları.

Yıllar	Toplam Araç Sayısı	Otomobil					Otobüs	Kamyon	Kamyonet
		Benzin	Motorin	LPG	Elektrik	Hibrit	Motorin		
2030	410466	60775	75387	70940	1059	3176	6978	15721	64361
2040	541814	80223	99510	93640	1398	4193	9211	20752	84957
2050	673162	99671	123633	116340	1736	5209	11444	25782	105552

Senaryo-II otomobillerdeki yakıt türlerinin, sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik tedbirler çerçevesinde kademeli olarak iyileştirilmesi esasına uygun olarak hazırlanmıştır. Buna göre senaryoda elektrikli ve hibrit otomobiller tek bir başlık altında toplanmış ve 2030, 2040 ve 2050 yılları için genel araç yakıtları içerisindeki payları sırasıyla %10, %25 ve %50 olarak kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra benzinli kamyonetlerin de oranları yine belirlenen yıllar için kademeli olarak arttırılmıştır. Çizelge 5.15’de Senaryo-II için yakıt türüne göre araç dağılımları verilmektedir.

Çizelge 5.15. Senaryo-II için yakıt türüne göre araç dağılımları.

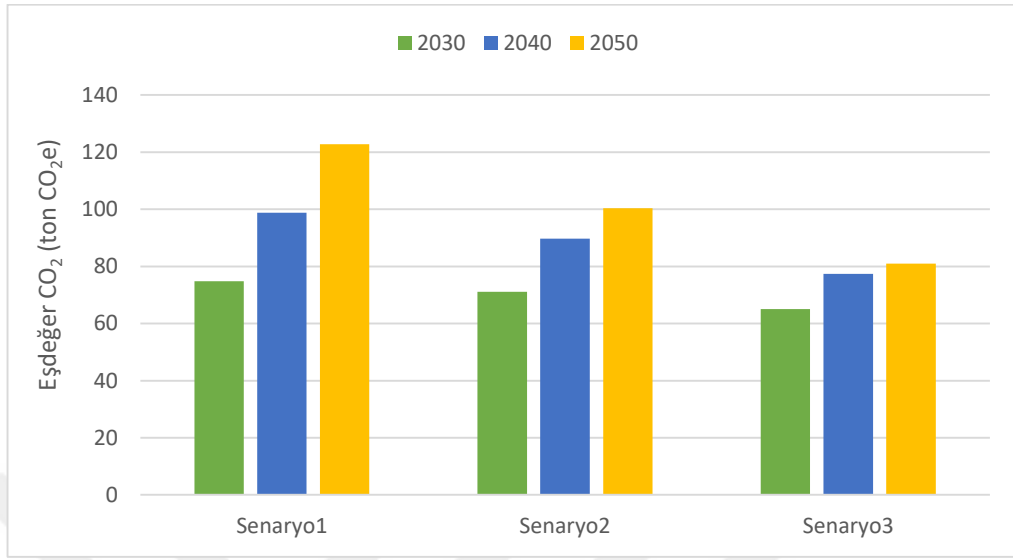
Yıllar	Toplam Araç Sayısı	Otomobil				Otobüs	Kamyon	Kamyonet	
		Benzin	Motorin	LPG	Elektrik	Motorin	Motorin	Benzin	Motorin
2030	410466	59293	67763	63528	21176	6978	15721	12872	51489
2040	541814	69881	69881	69881	69881	9211	20752	33983	50974
2050	673162	62511	52093	59038	173642	11444	25782	52776	52776

Senaryo III temel olarak mümkün olan en az sera gazı emisyonuna neden olacak kabullere dayanmaktadır. Bu senaryo ülkemizin de içinde bulunduğu çoğu ülkenin 2035, 2040 yıllarından itibaren uygulayacaklarını ilan ettikleri tedbirler ve 2050 yılı için sıfır emisyon hedefleri göz önünde bulundurularak hazırlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla otomobillerde elektrikli araç kullanımı 2040 yılı için %60, 2050 yıl için %100 olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte hesaplamalarda 2050 yılında kamyonetlerin %100’ünün benzinli olacağı dikkate alınmıştır. Çizelge 5.16’da Senaryo-III için yakıt türüne göre araç dağılımları verilmektedir.

Çizelge 5.16. Senaryo-III için yakıt türüne göre araç dağılımları.

Yıllar	Toplam Araç Sayısı	Otomobil				Otobüs	Kamyon	Kamyonet	
		Benzin	Motorin	LPG	Elektrik	Motorin	Motorin	Benzin	Motorin
2030	410466	63528	21176	63528	63528	6978	15721	32181	32181
2040	541814	50314	13976	47519	167713	9211	20752	63718	21239
2050	673162	0	0	0	347284	11444	25782	105552	0

Hazırlanan bu senaryolar çerçevesinde 2030, 2040 ve 2050 yılları için eşdeğer CO₂ emisyonlarının değişimi Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12. Senaryolara bağlı eşdeğer CO₂ emisyonları.

Şekil 5.12’de verilen grafikler incelendiğinde senaryolara bağlı olarak eşdeğer CO₂ emisyonlarının büyük oranda değiştiği görülmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Senaryo-I için 2030-2050 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonun yaklaşık %64 oranında artarak 123 ton CO_{2e} değerine ulaştığı, Senaryo-II ve Senaryo-III için ise artış oranları ile emisyonların sırasıyla yaklaşık %41,3 ile 100 ton CO_{2e} ve %24,4 ile 81 ton CO_{2e} seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Günümüzde küresel anlamda karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik alınması gereken önlemler, uluslararası kuruluşlar tarafından farklı seviyelerde ele alınmaktadır. Bu noktada yakıt kullanımında değişikliğe gidilmesi, araç teknolojisinin iyileştirilmesi ile yakıt verimliliğinin artırılması, yakıt kullanımını en aza indirecek uygulamaların geliştirilmesi, kentsel planlamada ulaşımın daha fazla göz önünde bulundurulması, düşük emisyonlu ulaşım seçeneklerinin ve toplu taşımanın artırılması, güvenli bisiklet ve yaya yollarının inşa edilmesi belirli plan ve programlar dahilinde gündeme alınması gereken önemli çalışmalar olarak sıralanmaktadır [55].

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde insanlığın aşması gereken en büyük çevresel kaynaklı sorunlarından birisi küresel boyutta yaşanan iklim değişikliğidir. Yerkürenin iklim sisteminde meydana gelen bu değişikliğin en önemli sebebi insanoğlunun kontrolsüz ve sınır tanımayan faaliyetleri olarak kabul edilmekte ve sorunun boyutları, ekolojik, sosyolojik, kültürel ve ekonomik sonuçları ile ele alınmaktadır. Bu noktada iklim değişikliği ile mücadele güneş enerjisini absorbe ederek ısının atmosferden çıkışını önleyen veya yavaşlatan bu nedenle de dünyanın ısı dengesini bozarak çağımızın en önemli ve acil küresel sorunlarından birisini oluşturan sera gazları ile mücadeleyi gerektirmektedir. Ancak küresel anlamda gerek ekonomik, gerekse endüstriyel ve tarımsal üretimle ilgili yaşanan her türlü gelişme, kalkınma faaliyeti sera gazı emisyonunu doğrudan veya dolaylı olarak arttırmaktadır. Bu nedenle özellikle emisyon kaynaklarına yönelik önleyici veya azaltıcı tedbirlerin alınması ciddiyle uygulanması gereken uluslararası bir yönetim yaklaşımı gerektirmektedir. Sera gazı emisyonu ile ilgili çalışmalar öncelikle emisyon kaynaklarının doğru tanımlanması ve küresel sera gazı emisyonuna katkılarının belirlenmesi ile başlamaktadır. Bu noktada ulaşım, çoğunlukla fosil yakıt kullanımına bağlı doğrudan emisyonları içeren önemli bir kaynak olarak, toplam emisyonun %16,2'sinden sorumlu tutulmaktadır. Taşıtlardan ileri gelen sera gazı emisyonu, fosil yakıtların yanmasına bağlı olarak karbondioksit ağırlıklıdır ve küresel karbondioksit emisyonunun yaklaşık 1/5'i ulaşım, bunun da 3/4'ü karayolu ulaşımı kaynaklı gerçekleşmektedir. Yapılan değerlendirmeler karayolu ulaşımının toplam emisyon içerisindeki payının artma eğilimi gösterdiğini ve bir emisyon kaynağı olarak küresel bilginin güncellenmesi ve yönetim stratejileri geliştirilmesi için detaylı çalışma gerektirdiğini vurgulamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında yakıt tüketimine bağlı olarak Tekirdağ ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyon envanterinin çıkarılması ve belirlenen güzergâhlar için eşdeğer CO₂ emisyon haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun yanısıra araç sayısı ve yakıt türleri üzerinden geleceğe yönelik senaryolar geliştirilerek, ilde senaryo bazında sera gazı emisyonları ve yıllara bağlı değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında elde edilen veriler Tekirdağ ilinde CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için 2019-2022 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonunun yaklaşık %44 oranında artarak 1.890,03 Gg CO_{2e} miktarına ulaştığını, 2022-2023 yılları arasında ise yaklaşık %14 oranında azalarak 1628,03 Gg CO_{2e} değerine gerilediğini göstermektedir. Çalışmanın devamında ise 2019-2023 yılları arasında Tekirdağ ilinde, Devlet Yollarına ait sera gazı emisyonları

hesaplanarak emisyon haritaları oluşturulmuştur. Buna göre, eşdeğer CO₂ miktarının 100-03, 110-03, 110-04, 110-05, 555-04, 555-05, 565-04, 567-01 ve 567-03 numaralı güzergahlarda sırasıyla %11,34, %8,9, %15,22, %18,92, %20,03, %24,72, %9,65; %54,48 ve %27,65 oranında arttığı, 120-02 numaralı güzergahta ise %30,35 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında ise 2030, 2040 ve 2050 yıllarına yönelik üç farklı senaryo oluşturularak, il genelinde karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonunun gelecekteki olası durumunun değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Senaryo-I için 2030-2050 yılları arasında eşdeğer CO₂ emisyonunun yaklaşık %64 oranında artarak 123 ton CO_{2e} değerine ulaştığı, Senaryo-II ve Senaryo-III için ise artış oranları ile emisyonların sırasıyla yaklaşık %31,4 ile 100 ton CO_{2e} ve %24,5 ile 81 ton CO_{2e} seviyelerinde olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]A. Ghorani-Azam, B. Riahi-Zanjani ve M. Balali-Mood, “Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran,” *Journal of Research in Medical Sciences*, vol. 27, no: 65, pp. 65, 2016.
- [2]M. Kampa, E. Castanas, “Human health effects of air pollution,” *Environmental Pollution*, vol. 151, pp. 362-367, 2008.
- [3]WHO, “Air quality, energy and health,” *World Health Organisation*, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts/exposure-air-pollution>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [4]EPA, “Research on health effects from air pollution,” *Environmental Protection Agency*, May, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/air-research/research-health-effects-air-pollution>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [5]EEA, “How air pollution affects our health,” *European Environment Agency*, Oct. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [6]W. F. Lamb, vd., “A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018,” *Environmental Research Letters*, vol. 16, June 2021.
- [7]M. J. Barth, G. Wu, K. Boriboonsomsin, “Intelligent transportation systems and greenhouse gas reductions,” *Curr Sustainable Renewable Energy Report*, vol. 2, pp. 90-97, July 2015.
- [8]P. Patil, “Sustainable transportation planning: strategies for reducing greenhouse gas emissions in urban areas”, *Empirical Quests for Management Essences*, vol. 1, no: 1, pp. 116-129, Aug. 2022.
- [9]M. Özdemir, S. Pehlivan, M. Melikoğlu, “Estimation of greenhouse gas emissions using linear and logarithmic models: A scenario-based approach for Türkiye’s 2030 vision,” *Energy Nexus*, vol. 13, Mar. 2024.
- [10]X. Zhang, vd., “Establish of air pollutants and greenhouse gases emission inventory and co-benefits of their reduction of transportation sector in central China,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 150, pp. 604-621, Apr. 2025.
- [11]N. Maizlish, vd., “Health cobenefits and transportation-related reductions in greenhouse gas emissions in the San Francisco bay area,” *American Journal of Public Health*, vol. 103, no:4 pp. 703-709, Apr. 2013.
- [12]NASA, “What is climate change?,” *National Aeronautics and Space Administration*, Mar. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://science.nasa.gov/climate-change/what-is-climate-change/>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].
- [13]WHO, “Climate change”, *World Health Organisation*, Oct. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].

- [14]EPA, “Causes of climate change,” *Environmental Protection Agency*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/climatechange-science/causes-climate-change>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].
- [15]WBGU, *Climate Change as a Security Risk*, German Advisory Council on Global Change, USA: Earthscan, 2008.
- [16]UNESCO World Heritage Convention, *Policy Document on Climate Action for World Heritage*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2023.
- [17]World Bank, “Climate change”, *World Bank*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].
- [18]S. Sonwani, P. Saxena, *Greenhouse Gases: Sources, Sinks and Mitigation*, Singapore: Springer, 2022.
- [19]K.A. Zimmermann, “Cenozoic era: Facts about climate, animals and plants,” *livescience.com*, June, 2016. [Online]. Erişim adresi: <https://www.livescience.com/40352-cenozoic-era.html>. [Erişim tarihi: 04 Nisan 2024].
- [20]H. Scoville, “The cenozoic era continuous today,” *thoughtco.com*, Mar. 2020. [Online]. Erişim adresi: <https://www.thoughtco.com/cenozoic-era-overview-1224528>. [Erişim tarihi: 04 Nisan 2024].
- [21]M. Scott, “What’s the coldest the earth’s ever been,” *climate.gov*, Feb. 2021. [Online]. Erişim adresi: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/whats-coldest-earths-ever-been>. [Erişim tarihi: 05 Nisan 2024].
- [22]TY. Liu, Y. Lin, “Does global warming affect unemployment? International evidence,” *Economic Analysis and Policy*, vol. 80, pp. 991-1005, 2003.
- [23]A. Okatan, “Dünya’nın iklim dinamikleri,” *bilimgenc.tubitak.gov.tr*, Ekim, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/dunyanin-iklim-dinamikleri>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].
- [24]R.G. Watts, *Global Warming and the Future of the Earth*, Morgan&Claypool Publishers, 2007.
- [25]J.K. Casper, *Greenhouse Gases: Worldwide Impacts*, New York: Facts On File, 2010.
- [26]FAO and UN Water. *Progress on Level of Water Stress*, Food and Agriculture Organization of the United Nations and United Nations Water, 2021.
- [27]UNESCO, “Imminent risk of a global water crisis, warns the UN World Water Development Report,” *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, Feb. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.unesco.org/en/articles/imminent-risk-global-water-crisis-warns-un-world-water-development-report-2023>. [Erişim tarihi: 12 Nisan 2024].
- [28]S. Kuzma, L. Saccoccia, M. Chertock “25 countries, housing one-quarter of the population, face extremely high water stress,” *wri.org*, Aug. 2023. [Online]. Erişim adresi:

- <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>. [Erişim tarihi: 12 Nisan 2024].
- [29]H. Lee, vd., “Climate change 2023 synthesis report: summary for policymakers,” Intergovernmental Panel on Climate Change, Switzerland, Tech. Rep. 19 Mar. 2023.
- [30]Copernicus Climate Change Service, “The 2023 annual climate summary: global climate highlights 2023,” *climate.copernicus.eu*, Jan, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>. [Erişim tarihi: 13 Nisan 2024].
- [31]R. S. Işıldak, “Dünya’nın eksen eğikliğini nasıl ölçebiliriz?,” *bilimgenc.tubitak.gov.tr*, Aralık, 2015. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/dunyanin-eksen-egikligini-nasil-olcebiliriz>. [Erişim tarihi: 15 Nisan 2024].
- [32]R. Lindsey, “Climate and earth’s energy budget,” *nasa.gov*, Jan. 2009. [Online]. Erişim adresi: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance>. [Erişim tarihi: 15 Nisan 2024].
- [33]CSI, “Earth’s energy balance”, *Climate Science Investigations*, Apr. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/earth-energy-balance>. [Erişim tarihi: 15 Nisan 2024].
- [34]NASA, “Earth’s energy budget”, *National Aeronautics and Space Administration*, Oct. 2022. [Online]. Erişim adresi: <https://myasadata.larc.nasa.gov/basic-page/earths-energy-budget>. [Erişim tarihi: 19 Nisan 2024].
- [35]M. Matthias, “Greenhouse effect,” *britannica.com*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>. [Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024].
- [36]H.B. Singh, *Composition, Chemistry and climate of the atmosphere*, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [37]NOAA, “Layers of the atmosphere,” *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Jan. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/layers-of-atmosphere>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [38]NASA, “Earth’s atmosphere: A multi-layered cake,” *National Aeronautics and Space Administration*, Mar. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://science.nasa.gov/earth/earth-atmosphere/earths-atmosphere-a-multi-layered-cake/>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [39]D. E. Reichle, “The global carbon cycle and the biosphere,” *The Global Carbon Cycle and Climate Change*, vol. 2, pp. 235-283, 2023.
- [40]MGM, “Ozon ve uv,” *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/genel/ozonveuv.aspx?s=2>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [41]D. Fowler, vd., “Atmospheric composition change: Ecosystems-atmosphere interactions,” *Atmospheric Environment*, vol. 43, pp. 5193-5267, 2009.
- [42]J. D. Guillot, “Greenhouse gas emissions by country and sector (infographic),” in European Parliament, 2023.

- [43]EPA, “Basics of climate change,” *Environmental Protection Agency*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/climatechange-science/basics-climate-change>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [44]IPCC, “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” Intergovernmental Panel on Climate Change, Japan, Tech. Report. 2006.
- [45]M. Filonchyk, M. vd., “Greenhouse gas emissions and reduction strategies for the world’s largest greenhouse gas emitters,” *Science of the Total Environment*, vol. 944, 2024.
- [46]H. Ritchie, P. Rosado, M. Roser, “Greenhouse gas emissions,” *Our World in Data*, Jan. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [47]NAEI, “Overview of greenhouse gases,” *National Atmospheric Emissions Inventory*, Oct. 2022. [Online]. Erişim adresi: <https://naei.beis.gov.uk/overview/ghg-overview>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [48]EPA, “Overview of greenhouse gases,” *Environmental Protection Agency*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [49]I. Tiseo, “Global atmospheric carbon dioxide concentration 1959-2023,” *statista.com*, May, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.statista.com/statistics/1091926/atmospheric-concentration-of-co2-historic/>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [50]C.D. Jones, “Annual methane emissions,” *Our World in Data*, Apr. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [51]EPA, “Ground-level ozone basics,” *Environmental Protection Agency*, May, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [52]NASA, “Steamy relationships: How atmospheric water vapor amplifies earth’s greenhouse effect,” *National Aeronautics and Space Administration*, Mar. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/steamy-relationships-how-atmospheric-water-vapor-amplifies-earths-greenhouse-effect/>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].
- [53]I. Tiseo, “Global greenhouse gas emissions 1970-2022,” *statista.com*, Oct. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://www.statista.com/statistics/1285502/annual-global-greenhouse-gas-emissions/>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [54]H. Ritchie, “Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?,” *Our World in Data*, Sep. 2020. [Online]. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [55]EPA, “Sources of greenhouse gas emissions,” *Environmental Protection Agency*, Jul. 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. [Erişim tarihi: 10 Temmuz 2024].

- [56]Climate Watch, “Historical greenhouse gas emissions,” *climatewatchdata.org*, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [57]EPA, “U.S.Transportation Sector Greenhouse Gas Emissions 1990 –2022,” Environmental Protection Agency, U.S., Tech. Rep., May, 2024.
- [58]Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Ulaştırma türüne göre sera gazı emisyonu,” *T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu>. [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024]
- [59]Turkish Statistical Institute, “Turkish greenhouse gas inventory 1990-2021,” Turkey, Tech. Rep., Apr. 2023.
- [60]TÜİK, “Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990-2022, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, Türkiye, Rap., 2024.
- [61]Climate and Energy in the EU, “Greenhouse gas emissions inventory,” *European Environment Agency*, Apr. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://climate-energy.eea.europa.eu/topics/climate-change-mitigation/greenhouse-gas-emissions-inventory/intro> [Erişim tarihi: 15 Temmuz 2024].
- [62]ERI, “Greenhouse gas inventories: Measuring local emissions to guide customized action plans,” *Environmental Resilience Institute, Indiana University*, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://eri.iu.edu/tools-and-resources/fact-sheets/greenhouse-gas-inventories.html> [Erişim tarihi: 15 Temmuz 2024].
- [63]IPCC, “Working groups and task force,” *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2024. [Online]. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/> [Erişim tarihi: 15 Temmuz 2024].
- [64]Tekirdağ Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, “Tekirdağ İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu”, Türkiye, Rap., 2023.
- [65]Tekirdağ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, “Tekirdağ İli Temiz Hava Eylem Planı, 2020-2024”, Türkiye, Rap., 2020.
- [66]TÜİK, “Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, 2019-2023,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, Türkiye, Rap., 2020-2024.
- [67]Tekirdağ Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü, “Tekirdağ İl Sanayi Durum Raporu 2020”, Türkiye, Rap., 2020.
- [68]TÜİK, “Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı,” *Türkiye İstatistik Kurumu*, 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge>. [Erişim tarihi: 15 Temmuz 2024].
- [69]EPDK, “Petrol Piyasası Yıllık Sektör Raporu, 2019-2023,” *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*, Türkiye, Rap., 2020-2023.

- [70]EPDK, “Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) Piyasası Yıllık Sektör Raporu, 2019-2023,” *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*, Türkiye, Rap., 2020-2024.
- [71]O. Uğur, “Nevşehir ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 2021.
- [72]EEA, “Air Pollutant Emission Inventory Guidebook,” *European Environment Agency*, Denmark, Tech. Rep., Oct. 2021
- [73]I. Tiseo, “Road transportation CO₂ emissions per capita worldwide 2018, by select country,” *statista.com*, May. 2023. [Online]. Erişim adresi: <https://www.statista.com/statistics/1201243/road-transport-sector-per-capita-co2-emissions-worldwide-by-country/> [Erişim tarihi: 13 Temmuz 2024].
- [74]Karayolları Genel Müdürlüğü, “Trafik ve Ulaşım Bilgileri, 2019-2023.” Türkiye, Rap., 2020-2024.