

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE YEDEK PARÇA İMALATI YAPAN BİR
TESİSİN KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ
VE AZALTIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Hilal KENDİR DUMAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL

Şubat 2024
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKİNE YEDEK PARÇA İMALATI YAPAN BİR
TESİSİN KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ
VE AZALTIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hilal KENDİR DUMAN

Enstitü Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Bu tez 24/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Andaç AKDEMİR
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Fulya AYDIN TEMEL
Üye**

**Doç. Dr.
Hüseyin CÜCE
Üye**

**Prof. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hilal KENDİR DUMAN

23/02/2024

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tezimin konu seçiminde ve tez sürecinde çok kıymetli desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL' e çok teşekkür ederim.

Tezimdeki hesaplamalara ve analizlere eksiksiz veri sağlayan Tuğçe AYDIN ÇORA ve Kenan ÇORA' ya bu süreçte olan destekleri, sabırları ve anlayışları için çok teşekkür ederim.

Son olarak; her türlü desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve başarılarıma şahit olan kıymetli aileme manevi desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınma	3
2.2. Sera Gazlarının Küresel Isınmadaki Rolü.....	11
2.3. Küresel Emisyon Eğilimleri.....	18
2.4. Küresel Isınma ile İlgili Tarihi Süreçler.....	21
2.4.1. Birleşmiş Milletler Stockholm Konferansı	21
2.4.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC).....	22
2.4.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC)	22
2.4.4. Kyoto Protokolü	22
2.4.5. BM Küresel İlkeler Sözleşmesi (United Nations Global Compact, UNGC) ...	23
2.4.6. Sürdürülebilir Borsalar Girişimi (Sustainable Stock Exchanges Initiative, SSE)	23
2.4.7. Paris Anlaşması	23
2.4.8. Yeşil Mutabakat	24
2.5. Karbon Emisyonu ve Hesaplama	24
2.5.1. Sera Gazı Standardı.....	25

2.5.2. IPCC Metodolojisi Kapsamında Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri.....	29
2.6. Karbon Ayak İzi Hesaplaması Kapsamında Yapılan Çalışmalar	31
 BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Makine Yedek Parça İmalatı Yapan Bir Tesis ve Üretim Faaliyeti.....	35
3.2. Tesisin Faaliyet Verilerinin Belirlenmesi ve Çalışmanın Kapsamı	37
 BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
4.1. Karbon Emisyonu Miktarının Belirlenmesi	42
4.1.1. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu	42
4.1.2. Yakıt Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu	44
4.1.3. Su Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu	54
4.1.4. Atıksu Kaynaklı Karbon Emisyonu	55
4.1.5. Atık Oluşumu Kaynaklı Karbon Emisyonu	58
4.2. Karbon Ayak İzi Azaltımı.....	66
 BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	69
 KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BMİDÇS	:Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CO ₂ e	:Karbon Dioksit Eşdeğeri
EFDB	:Emission Factor Database (Emission Factor Database)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EUAAŞ	:Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GHG	:Greenhouse gas - Seragazı
GISS	:Goddard Institute for Space Studies (Goddard Uzay Araştırmaları Enstitüsü)
GWP	:Global Warming Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
G20	:Grup 20 Ülkeleri
IPCC	:Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
ISO	:International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
LPG	:Likit Petrol Gazı
LULUCF	:Land Use, Land-Use Change And Forestry (Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık)
NDC	:Nationally Determined Contributions (Ulusal Katkı Beyanı)
NKD	:Net Kalorifik Değer
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (NASA ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
UNEP	:UN Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
UNGC	:United Nations Global Compact (Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesi)
WMO	:World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Farklı gözlem yerlerinden 2014-2024 yılları için günlük ortalama CO ₂ ölçüm değerleri.....	13
Şekil 2.2. Yıllık ortalama küresel CO ₂ artış oranları.....	13
Şekil 2.3. Mauna Loa izleme laboratuvarı atmosferdeki aylık CO ₂ değerleri.....	14
Şekil 2.4. Mauna Loa izleme laboratuvarı atmosferdeki yıllık ortalama CO ₂ artış oranları.....	15
Şekil 2.5. Aylık ortalama atmosferik CH ₄ değerleri.....	16
Şekil 2.6. Aylık ortalama atmosferik N ₂ O değerleri.....	17
Şekil 2.7. İklim değişikliğine güncel ve tarihsel katkılar.....	20
Şekil 2.8. ISO 14060 Sera gazı standartları ailesi arasındaki ilişki.....	26
Şekil 2.9. Kirlenici kaynakları kapsam sınıflandırması.....	27
Şekil 3.1. Tesise ait görseller.....	36
Şekil 3.2. Tesise ait iş akış şeması.....	37
Şekil 3.3. Karbon ayak izi hesaplama adımları.....	39
Şekil 4. 1. Yıllara göre eşdeğer karbondioksit (tCO ₂ e) değerleri.....	63
Şekil 4. 2. Yılların tCO ₂ e ortalamasına göre yüzdesel emisyon değerleri.....	64
Şekil 4. 3. Yılların tCO ₂ e ortalamasına göre emisyon değerlerinin GHG protokolü kapsamında yüzdesel dağılımı.....	64

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Dünya çapında elektrik üretiminin dağılımı ve gelecek yıllar için bir tahmin.....	9
Tablo 2.2. Sera gazlarının 100 yıllık dönem için küresel ısınma üzerindeki potansiyelleri.....	12
Tablo 3.1. Tesiste elektrik tüketimine neden olan makine ve ekipmanlar.....	38
Tablo 3.2. Faaliyet verilerinin GHG protokolü ve ISO 14064-1:2018'e göre dağılımı.....	39
Tablo 3.3. Yıllara dayalı faaliyet verileri.....	40
Tablo 3.4. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri.....	41
Tablo 4.1. 2021 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri.....	61
Tablo 4.2. 2022 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri.....	62
Tablo 4.3. 2023 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri.....	63
Tablo 4.4. Emisyon değerlerinin GHG protokolüne göre dağılımı.....	65
Tablo 4.5. Emisyon değerlerinin kategorilere göre dağılımı (ISO 14064:2018)..	65
Tablo 5.1. Yapılan çalışmalarda hesaplanan karbon emisyon değerleri.....	70

MAKİNE YEDEK PARÇA İMALATI YAPAN BİR TESİSTE KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ VE AZALTIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, İzmir ilinde makine yedek parça imalatı faaliyetinde bulunan özel bir tesisin 2021-2023 yıllarını kapsayan üretim ve tüketim verileri dikkate alınarak karbon ayak izi belirlenmiş ve azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Tesisin mevcut durumu yapılan saha çalışması sonucunda elde edilen verilerden ve tesis yetkilisinden talep edilen bilgilerden yararlanılarak irdelenmiştir. Tesisin karbon emisyonuna oluşumuna sebep olan faaliyet verileri ISO 14064:2018 ve GHG Protokolüne göre sınıflandırılmıştır. Elektrik, yakıt ve su tüketimi ile atık ve atıksu oluşumu kaynaklı emisyon miktarları Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Tier 1 metodolojisine göre 2021, 2022 ve 2023 yılları için hesaplanmış ve değişimler değerlendirilmiştir.

Tesisin karbon emisyonu oluşumuna en fazla katkı sağlayan faaliyetler elektrik ve yakıt tüketimidir. Tesisin elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonu değerleri 2021 yılı için 6,55 tCO₂e/yıl, 6,00 tCO₂e/yıl ve 6,11 tCO₂e/yıl olduğu belirlenmiştir. Yakıt tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonu miktarları ise 2021, 2022 ve 2023 yılları için sırasıyla 5,88 tCO₂e/yıl, 6,03 tCO₂e/yıl ve 6,23 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, su tüketimi, atıksu ve atık oluşumundan kaynaklanan toplam karbon emisyon değerleri ise 2021 yılında 0,73 tCO₂e/yıl, 2022 yılında 0,69 tCO₂e/yıl ve 2023 yılında 0,79 tCO₂e/yıl ile tesisin karbon emisyonu oluşturan tüm faaliyetleri arasında oldukça düşük bir paya sahiptir.

Tesis faaliyetleri düşük karbon emisyonu oluşumuna sahip olsa da 2050 yılı hedeflerine ulaşılabilmesi için salınımın minimuma düşürülmesi amacıyla gerekli önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Elektrik tüketiminden ve yakıt tüketimi kaynaklı emisyonları azaltmak sera gazı emisyonlarını %95 oranında azaltacaktır. Tesis elektrik üretimini yenilenebilir enerji kaynaklarından temin ederek karbon salınımını büyük ölçüde azaltmış olacaktır. Bunun için tesise kurulacak olan 48 adet güneş enerjisi paneli ile elektrik üretimi yenilenebilir enerjiden sağlanmış olacaktır. Bu kurulum için yaklaşık 50 m²'lik alana ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, iklim değişikliği, küresel ısınma, sera gazı, makine yedek parça imalatı

DETERMINATION OF CARBON FOOTPRINT AND ASSESSMENT OF ITS REDUCTION IN A FACTORY THAT PRODUCES MACHINE SPARE PARTS

SUMMARY

In this study, the carbon footprint of a private factory engaged in the manufacturing of Machine Spare Parts in Izmir was determined by taking into account the production and consumption data covering the years 2021-2023, and suggestions for reducing carbon emissions were presented. The current status of the facility was examined using the data obtained as a result of the fieldwork and the information requested from the factory official. Activity data that cause carbon emissions of the factory were classified according to ISO 14064:2018 and GHG Protocol. Emission amounts resulting from electricity, fuel, and water consumption and waste and wastewater generation were calculated for 2021, 2022, and 2023 according to the Intergovernmental Climate Change Panel Tier 1 Methodology, and the changes were evaluated.

The activities that contribute the most to the factory's carbon emissions were electricity and fuel consumption. The carbon emission values resulting from the electricity consumption of the facility were determined to be 6.55 tCO₂e/year, 6.00 tCO₂e/year and 6.11 tCO₂e/year for 2021. The amounts of carbon emissions resulting from fuel consumption for 2021, 2022 and 2023 were calculated as 5.88 tCO₂e/year, 6.03 tCO₂e/year and 6.23 tCO₂e/year, respectively. However, the total carbon emission values resulting from water consumption, wastewater and waste generation were 0.73 tCO₂e/year in 2021, 0.69 tCO₂e/year in 2022 and 0.79 tCO₂e/year in 2023, and had a very low share among all activities of the factory.

Although facility activities have low carbon emissions, it is very important to take the necessary measures to minimize emissions in order to achieve the 2050 targets. Reducing emissions from electricity consumption and fuel consumption will reduce greenhouse gas emissions by 95%. The facility will significantly reduce carbon emissions by providing electricity generation from renewable energy sources. For this purpose, electricity production will be provided from renewable energy with 48 solar energy panels to be installed in the factory. Approximately 50 m² of area is needed for these constructions.

Keywords: Carbon footprint, climate change, global warming, greenhouse gas, machinery spare parts manufacturing

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra endüstriyel çağ ile artmaya başlayan hammadde ihtiyacına ve sürekli arttırılması hedeflenen ürün üretimine bağlı olarak oluşan sera gazlarının etkisi ile küresel iklim değişikliği yaşanmaya başlanmıştır. Atmosfere sera gazlarının verilmesinde insan faaliyetleri, yeşil alanların azalması ve nüfusun giderek artmasının etkisi oldukça fazladır. Sera gazlarının artmasıyla Güneş'ten gelen radyasyonun atmosferde ısıyı tutma kapasitesi de artmaktadır. Bu olumsuz döngü giderek küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınmanın sonucunda ise normal şartlar altında döngüsünü devam ettiren mevsimlerde olumsuz değişikliklere, yani iklim değişikliğine sebebiyet vermektedir. Artan sel felaketleri, hortumlar, mevsim normalleri üzerindeki yağışlar ya da mevsim normallerinin dışında seyreden sıcaklıklar, tüm bunlara bağlı olarak canlı yaşamının etkilenmesi ve ölümlerin artması iklim değişikliğinin göstergeleridir.

İklim değişikliği ile yakından hissedilen bu durum insanlarda farkındalık oluşumuna katkı sağlamaktadır. Tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir ürünlere olan talebin artması, sıfır atık uygulaması, enerji tasarrufları ve bilinçlendirme çalışmaları, yenilenebilir olmayan enerji yerine yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi gibi faaliyetler ile iklim değişikliğine olan olumsuz etkilerin azaltılması mümkündür.

Tarihsel süreçte iklim değişikliği ile mücadele kapsamında küresel anlamda mücadeleler de mevcuttur. Günümüzde bu mücadeleler daha etkili bir şekilde devam etmekte ve farkındalık giderek artmaktadır. 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile atmosferdeki sera gazı birikimlerini ve insan kaynaklı tehlikeli etkiyi önlemek amaçlanmaktadır. Bu uygulamayı daha da geliştirmek adına 2016 yılında Paris Anlaşması imzalanmıştır. Bu kapsamda, küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılması amaçlanmıştır. Türkiye, Paris Anlaşması kapsamında 2030 yılına kadar sera gazı emisyon salınımlarını %41'e düşürmeyi

hedeflemektedir. 2021 yılında yayınlanan Yeşil Mutabakat ile 2030'a kadar karbon salımını 1990'a kıyasla %55 oranında azaltmak, 2050'de ise karbon salımını sıfıra indirmek hedeflenmektedir.

İşletmelerde de küresel ısınma ile mücadele kapsamında uluslararası atılan adımlara uyum çerçevesinde karbon salınımlarının azaltılması çalışmaları başlamıştır. Öncelikle karbon salınım değerlerinin bilinmesi, emisyon kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple karbon ayak izi hesaplama ve salınım azaltım çalışmaları başlamıştır.

Bu çalışmada, İzmir ilinde Makine Yedek Parça İmalatı faaliyetinde bulunan bir tesisin karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltımının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Tesisin mevcut durumu yapılan saha çalışması sonucunda elde edilen verilerden ve tesis yetkilisinden talep edilen bilgilerden yararlanılarak irdelenmiştir. Tesisin faaliyet verileri Greenhouse Gas (GHG) protokolü ve ISO 14064-1:2018'e göre dağılımı belirlenmiştir. Elektrik, yakıt ve su tüketimi ile atık ve atıksu oluşumu kaynaklı emisyon miktarları Tier 1 metodolojisine göre 2021, 2022 ve 2023 yılları için hesaplanmış ve değişimler değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, incelenen tesisin emisyon artışının önlenmesi ve mevcut salınımın azaltılması konusunda çözüm önerisi sunulmuştur.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınma

Dünya üzerinde parlayan güneş enerjisinin miktarı (dalga boyları 0.3 ila 5µm arasında değişen) çok büyüktür. Atmosferi ve Dünya üzerindeki her şeyi ısıtır, iklim ve ekosistem için enerji sağlar. Geceleri, bu ısı enerjisinin büyük bir kısmı 4 - 50 µm arasındaki kızılötesi aralığında olan farklı dalga boylarında uzaya geri yayılır. Bu enerji atmosferdeki sera gazı moleküllerini (H₂O, O₃, CO₂, CH₄ vb.) ısıtır [1]. CO₂ ve H₂O'yu örnek olarak kullanılırsa, bu ısıtma işlemi, yayılan IR (infrared) frekansının, CO₂'nin karbon-oksijen bağı ve H₂O'nun oksijen-hidrojen bağına doğal frekansı ile senkronize olması nedeniyle gerçekleşir. Bağların artan titreşimi CO₂ ve H₂O moleküllerini etkili bir şekilde ısıtır. Isınan bu moleküller daha sonra ısıyı atmosferdeki diğer moleküllere (N₂, O₂) aktarır ve bu da dünyanın eşit sıcaklıkta kalmasını sağlar. Oksijendeki O-O bağına ve nitrojen moleküllerindeki N-N bağına titreşim frekansları radyasyon frekanslarından çok farklıdır ve dolayısıyla nispeten etkilenmezler [2, 3].

Küresel ısınma, doğal olaylar ya da antropojenik olaylar nedeniyle atmosferde bulunan sera gazlarının giderek artmasına bağlı olarak atmosfer sıcaklığının da normalin üzerinde artış göstermesidir. Mevcut küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin aslında atmosferik gazlar dışındaki etkilerden kaynaklanıp kaynaklanamayacağı konusunda pek çok tartışma olmuştur [4]. Bunlar arasında güneş enerjisindeki değişimler, volkanik faaliyetler, Malankovitch döngüleri de dahil olmak üzere dünyanın yörünge özelliklerindeki değişiklikler, kozmik ışın etkileri ve atmosferik aerosoller yer almaktadır. Bunlardan ilki, güneş radyasyonundaki olası değişiklikler pek çok bilim insanı tarafından araştırılmış ve hepsi de mevcut durumun ana nedeninin bu olmadığı konusunda ortak fikir beyan etmişlerdir [5, 6]. Yeryüzündeki volkanik aktivite geçmişte kısa süreli iklim değişikliklerine yol açmıştır, ancak alanda çalışan uzmanlar

bunun mevcut iklim değişikliğinden sorumlu olamayacağını belirtmektedir [7]. Dünya'nın Güneş etrafında dönerken yaptığı yalpalama, iklim değişikliğini tetikleyen bir başka olası suçlu olarak görölmektedir. Ancak, bu alanda çalışan bilim insanları Lourens ve Truter, tüm delillere göre şu anda yaşanan iklim değişikliğinin büyük olasılıkla dünyanın yörünge hareketlerindeki değişimlerden kaynaklanmadığını ifade etmişlerdir [8]. Shakun ve arkadaşlarının son çalışmalarında “Dünya'nın iklimi karmaşıktır ve CO₂ ve güneş ışıınımı dahil olmak üzere birçok zorlamaya yanıt verir. Her ikisi de son 11000 yılda çok yavaş değişti. Ancak son 100 yılda insan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların artması nedeniyle CO₂'deki artış önemli olmuştur. Küresel sıcaklıktaki hızlı artışı en iyi açıklayabilecek tek değişken budur” ifadeleri yer almaktadır [9].

Dünyada iklim değişikliği alanında çalışan her bilim topluluğu ve her araştırma kuruluşu, küresel ısınmanın bir gerçek olduğu, büyük ölçüde insan müdahalesinin bir sonucu olduğu ve artan CO₂'nin küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin belki de en önemli nedeni olduğu görüşünü kabul etmektedir. Dünya hükümetlerinin çoğu, Cancun 2010 toplantısında tanımlanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin “küresel ortalama sıcaklıkta sanayi öncesi seviyenin üzerine 2°C'lik bir artışın maksimum sınır olması gerekir” değerlendirmesini artık kabul etmiştir [10]. Başlıca sera gazı CO₂'dir, ancak çok daha etkili sera gazı olan başka gazlar da vardır. Bunlara kloroflorokarbonlar (CFC'ler), metan (CH₄) ve nitrojen oksit (NO_x) bileşikleri dahildir. Neyse ki bunlar havada çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır [11]. Waterloo Üniversitesi'nden Quing-Bin Lu tarafından CFC'lerin küresel ısınma üzerindeki etkileri üzerine yapılan bir çalışma, bu bileşiklerin en güçlü sera gazları için ciddi rakipler olduğunu doğrulamıştır. Önemli olan sadece güçleri değil, aynı zamanda atmosferdeki uzun ömürleridir. Mevcut düşük konsantrasyonlarına rağmen, atmosferde birikmeleri gelecek nesillere çok zarar verebileceğinden üretimlerinin yasaklanması gerektiği vurgulanmıştır [12].

İklim değişikliğinin tüm etkileri küresel ısınmaya ve aslında atmosferdeki sera gazı (greenhouse gases-GHG) konsantrasyonlarına bağlıdır. Birleşmiş Milletler örgütü sera gazı konsantrasyonları ve küresel sıcaklıkla ilgili sonuçları özetlemiştir [3]:

- Dünya atmosferindeki sera gazı konsantrasyonu doğrudan dünya üzerindeki ortalama küresel sıcaklıkla bağlantılıdır.
- Konsantrasyon ve bununla birlikte ortalama küresel sıcaklıklar, Sanayi Devrimi'nden bu yana istikrarlı bir şekilde artmaktadır.
- Sera gazlarının yaklaşık üçte ikisini oluşturan en bol sera gazı olan CO₂, büyük ölçüde fosil yakıtların yakılmasının ürünüdür.

Binlerce yıldır (muhtemelen bir milyon yıldan fazla), dünyanın iklimi, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun yaklaşık 280 ppm (milyon başına parça cinsinden, atmosferdeki CO₂ moleküllerinin sayısının atmosferdeki tüm gazların molekül sayısına oranını ifade eder; %0.028) olduğu bir denge durumundaydı [2, 13]. Dünya'yı nispeten sıcak bir değerde tutan şey, üst atmosferdeki bu küçük konsantrasyondur. CO₂ olmasaydı, ortalama küresel sıcaklık bugün olduğundan yaklaşık 33°C daha soğuk olurdu [14]. Bu sera etkisi, dünya güneş ışınları (büyük ölçüde ultraviyole kısa dalga radyasyonu) tarafından ısıtıldıktan sonra dünyayı terk eden kızılötesi ışınımın CO₂ moleküllerinin (ve su gibi diğer sera gazlarının) titreşen bağları tarafından soğurulmasından kaynaklanmaktadır. Titreşen bağlar, dünyadan gelen kızılötesi radyasyonun bölümleriyle aynı frekanslara sahiptir, dolayısıyla enerjinin sempatik adsorpsiyonudur. Sanayi Devrimi'nden bu yana CO₂ seviyeleri artmış; 1960'da 316 ppm iken 2020'de 417 ppm'e ulaşmıştır [15]. Büyük ölçüde insan faaliyetlerinden (fosil yakıtların yakılması gibi) kaynaklanan bu artış, küresel sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Bu sıcaklık artışı, okyanuslardan buharlaşarak havadaki su buharı (H₂O) konsantrasyonunu arttırmaktadır. Bu da aslında CO₂'den neredeyse 30 kat daha etkili olan H₂O (önemli bir sera gazı) ile dünyanın daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Bu geri bildirim mekanizması küresel ısınmanın anlaşılmasında çok önemlidir ve H₂O'nun küresel ısınmanın yaklaşık %60'ından sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. CO₂ ise küresel ısınmayı arttırmada tetikleyici bir rol oynamaktadır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonundaki artış, küresel sıcaklığı çok az arttıracaktır, ancak bu değişiklik, okyanuslardan gelen buharlaşma yoluyla havadaki su buharı miktarının artması için yeterlidir. Küresel sıcaklık üzerinde en büyük etkiye sahip olan şey bu geri bildirim mekanizmasıdır. Bir anlamda, paradoksal olarak, CO₂ konsantrasyonu, atmosferdeki H₂O miktarı için düzenleyici görevi görür ve

dolayısıyla dünyanın denge sıcaklığının belirleyici faktörüdür [2]. Bilim insanları, sera gazlarının her birinin enerji dalga boylarını inceleyerek, her bir gazın ne kadarının küresel ısınmaya katkıda bulunduğunu hesaplayabilmektedir. Sonuçlar, CO₂'nin dünyadaki sera etkisinin yaklaşık %20'sinden, H₂O'nun ise yaklaşık %60'ından sorumlu olduğunu göstermektedir [16]. Geri kalanına CH₄ ve CFC'ler gibi küçük sera gazları neden olmaktadır. İnsan faaliyetleri nedeniyle yayılan başlıca sera gazlarının bağıl konsantrasyonları ise CO₂'nin %63, CH₄'ün %18 ve N₂O'nun %6'dır [4]. Atmosferdeki toplam CO₂ miktarı ve konsantrasyon değeri, küresel ısınmanın ilerleyişi konusunda elimizdeki en güvenilir ölçümlerdir. 1960 yılında CO₂ artış oranı yılda 1 ppm'den az iken şimdi yılda 2,4 ppm civarındadır [15]. Küresel ısınmayı azaltma konusunda kaydedilen ilerlemenin en iyi göstergesi bu değişim oranıdır. Şu anda, bunun gerçekleştiğine dair hiçbir işaret olmamakla birlikte aslında bunun tersi doğrudur. Fosil yakıtları yakmayı bıraksak bile, CO₂'nin üst atmosferdeki ömrü nedeniyle CO₂ seviyelerinin düşmesi uzun bir zaman alacaktır [11].

18. yüzyıldan önce dünyanın iklimi bir denge halindeydi ve hava koşulları az çok tahmin edilebilirdi. Bu denge artık geçerli değildir ve sera gazlarının istikrarsızlaştırıcı etkisiyle gelecekteki iklim ve hava durumunu kesin olarak tahmin etmek imkânsız hale gelmektedir. İyi olan şey, küresel ısınmanın istikrar kazanması ve dünya ikliminin başa çıkmayı öğrenebileceğimiz yeni bir dengeye ulaşması olabilir. Ancak, büyük ölçüde yanan fosil yakıtların ve artan küresel nüfusun bir sonucu olarak sürekli artan sera gazı seviyeleriyle birlikte, rekor düzeylerde yükselen küresel sıcaklıklar, aşırı sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları, kontrol edilemeyen yangınlar, kasırgalar, tornadolar, kuraklıklar, seller ve yiyecek kıtlıkları yeni norm haline geldiği, sürekli artan istikrarsız bir iklim yaratmaktadır [17]. Üstelik bu istikrarsızlaştırıcı etki, dünyanın her yerinde hissedilen ekonomik, siyasi ve sosyal kaos yaratmaktadır. Daha sıcak bir iklimin istikrara kavuşturulması umut edebileceğimiz en iyi şeydir; şu anda sahip olduğumuz CO₂ seviyelerinin çok uzun bir süre etkisini sürdürecektir. Endişelenmemiz gereken sadece titreşen sera gazı molekülleri ve su geri besleme sürecinin buharlaşması değil, aynı zamanda küresel ısınmayı daha da kötüleştiren başka geri bildirim mekanizmalarının var olmasıdır. Sera gazlarıyla ilgili karmaşık

dünyamızda pek çok geri bildirim mekanizması devreye girmektedir. Bunlardan bazıları özetlenmiştir [3].

- Geri besleme mekanizmalarından en önemlisi H₂O geri besleme mekanizmasıdır.
- Buzun erimesi çok önemli bir geri bildirim mekanizmasına daha katkıda bulunur. Buz eridiğinde yerini kara veya açık su alır. Hem kara hem de açık su ortalama olarak buzdan daha az yansıtıcıdır ve dolayısıyla daha fazla güneş ışınlamı emer. Bu, daha fazla ısınmaya ve dolayısıyla daha fazla erimeye neden olur. Geri besleme döngüsü devam eder.
- Bir diğer önemli geri bildirim mekanizması da okyanuslardan CO₂ salınımıdır. Okyanuslar ne kadar sıcak olursa o kadar az CO₂ tutabilir ve CO₂ açığa çıkar. Bu da küresel ısınmanın artmasına yol açmaktadır.
- Sibirya ve Grönland gibi dünyanın turba bataklıklarında ve permafrost bölgelerinde başka bir geri bildirim mekanizması da bulunmaktadır. Yükselen küresel sıcaklıklar donmuş toprakları eritmekte ve zamanla büyük miktarda CH₄ açığa çıkmasına neden olacağı bilinmektedir. Bu gaz bir sera gazı olarak CO₂'den 25 kat daha etkilidir ve atmosferdeki artan varlığı daha fazla ısınmaya neden olacak ve böylece geri besleme döngüsü devam edecektir.
- Yine başka bir geri bildirim mekanizması, kristal yapısında CH₄ içeren bir tür su buzunu olan metan klatratları içerir. Okyanus tabanlarındaki çökeltilerin altında son derece büyük çökelti bulunmuştur. Sıcaklıktaki bir artış, kafesli metanı serbest bırakan kristal yapıyı kırar. Yükselen deniz sıcaklıkları büyük miktarlarda CH₄ salınımına neden olabilir ve bu da kontrolden çıkmış bir küresel ısınma olayına yol açabilir.
- 2019 yılı kaydedilen en sıcak yıllardan biri idi [18]. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration-NASA) ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nin (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA) bağımsız analizlerine göre, 2019 yılında dünyanın ortalama küresel yüzey sıcaklığı, modern kayıtların tutulmaya başladığı 1880'den bu yana ikinci en sıcak sıcaklık olmuştur. Küresel olarak 2019'un ortalama sıcaklığı, bu tarihten sonra ikinci sırada yer almıştır. 2016 yılı ve gezegenin uzun vadeli ısınma eğilimi devam etmiştir: Geçtiğimiz 5 yıl, son 140

yılın en sıcak yılı olmuştur. NASA'nın New York'taki Goddard Uzay Araştırmaları Enstitüsü'ndeki (GISS) bilim insanlarına göre, 1951 - 1980 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklıktan 0.98°C daha sıcak olmuştur [19]. Bu, küresel ısınmayı azaltmak için yeterince çaba gösterilmediğini ve bunu yapmanın tek yolunun havaya pompalanan CO₂ miktarını azaltmak ve mümkünse atmosferden CO₂'yi uzaklaştırmaya başlamak olduğunu göstermektedir.

Ancak, nüfusun artması ve gelişmekte olan ülkeler ilerledikçe daha fazla elektrik talebiyle birlikte enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Dünya nüfusu 1960'ta 3 milyar, 2000'de 6 milyar, 2018'de 7.6 milyardı ve 2050 yılına kadar 9 - 10 milyar arasına ulaşması beklenmektedir [10]. Yıllık nüfus artış hızı 1963'te %2,2'lik bir zirveye ulaşmıştır. Nüfus, yılda 83 milyon kişi artmaktadır. Önümüzdeki 20 yıl içinde enerji talebinde beklenen büyüme oranı, nüfus artış oranından daha yüksek olacağı ve bunun büyük ölçüde gelişmekte olan ülkelerin artan elektrik üretiminden kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Elektrik üretiminin 2017'de 25×10^{12} kWh'den 2030'da $31,2 \times 10^{12}$ kWh'ye, yani yılda neredeyse %2'lik bir artışa ulaşması beklenmektedir [3].

Günümüzde, elektrik üretmek için kullanılan tüm enerji kaynaklarının yaklaşık %40'ı yenilenebilir (rüzgar, güneş, hidroelektrik, biyokütle, gelgit ve jeotermal) veya %10'u nükleer kaynaklardır. [20, 21]. Elektrik üreten başlıca enerji kaynağı, hala dünya elektriğinin %37'sini üreten kömürdür. Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçiş ise oldukça yavaş olmakla birlikte, 2040 yılı için tahmin edilen yenilenebilir enerjinin dünya elektriğinin %45'ini üreteceği ve kömürün hala önemli bir enerji tedarikçisi olacağı yönündedir. Enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanımından vazgeçilmesinin oldukça zor olacağı bilinmektedir. Elektrik üreticilerinin göreceli dağılımı ve geleceğe yönelik tahminler Tablo 2.1.'de verilmektedir.

Kömür hala dünya çapında en büyük elektrik üreticisidir ve 2040 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının yerini alması beklenmemektedir. Bu, zamanımızın enerji ikilemini göstermektedir. Dünyanın genel enerji ihtiyacı artarken bu artış halen fosil yakıt kullanımındaki artışlarla karşılanmaktadır. Günümüzde elektrik üretiminin

çoğunluğunu (>%60) fosil yakıtların yakılmasından sağlanmaktadır ve 2040 yılı için yapılan tahminlerde fosil yakıt kullanımının yaklaşık %58 olacağı düşünülmektedir. Bu, fosil yakıtların yenilenebilir enerjiye karşı göreceli ekonomisi, statüko yatırımları ve durumlarıyla bağlantılı devasa atalet ve denenmiş teknolojilerin aksine yeni şeylerden duyulan korkudan kaynaklanmaktadır [3]. 2019 yılında kömür ve diğer fosil yakıtların yakılması, çimento üretimi, ormanların yok edilmesi ve diğer peyzaj değişiklikleri yoluyla insan faaliyetlerinin $36,8 \times 10^9$ ton CO₂ emisyonuna katkıda bulunduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca, Sanayi Devrimi'nden bu yana atmosfere 2000×10^9 tondan fazla CO₂'in eklendiği tahmin edilmektedir. İnsan faaliyetleri, her yıl yanardağların saldırdığı CO₂ miktarının %60 veya daha fazlasını salmaktadır [23].

Tablo 2.1. Dünya çapında elektrik üretiminin dağılımı ve gelecek yıllar için bir tahmin [3, 22]

	2012	2020	2030	2040
	Elektrik üretimi, Enerji/(10 ¹² kWh)			
Yağ	1,06	0,86	0,62	0,56
Nükleer	2,34	3,05	3,95	4,50
Yenilenebilir	4,73	6,87	8,68	10,63
Doğal gaz	4,83	5,20	7,47	10,10
Kömür	8,60	9,73	10,12	10,62

Atmosferdeki CO₂'nin tek üreticisi elektrik üretimi değildir. Gerekli düzenlemeler ile fosil yakıtlardan elde edilen elektrik yenilenebilir enerji türleri ile değiştirilebilir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının 2020'deki %26,7'den 2040'ta %29,2'ye (yılıda %0,3'ten az) çıkacağı tahmin edilmektedir (bkz. Tablo 2.1.). Enerji sektörümüzün ana itici gücü olan fosil yakıtların yerini almak için çok daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Umut verici durum ise, doğal gazın (metan gazı dahil) gezegen için kömür yakmaktan daha iyi olduğu ve birçok ülkede kömürün yerini doğal gazın aldığı gerçeğidir. Doğal gazın kömürden daha iyi olmasının nedeni, birim enerji başına CH₄ yakıldığında ortaya çıkan CO₂ miktarının (50 g/MJ) kömüre göre (92 g/MJ) daha az olması ve ayrıca kömür yakıldığında partikül oluşumuna neden olmasıdır [10].

İklimde meydana gelen değişikliklerin bir sonucu olarak gelecekte çevresel çöküş tehlikesi giderek artmaktadır. Bu, yükselen deniz seviyeleri ile sel, kuraklık ve su

krizleri, kuvvetli rüzgarlar, kontrolden çıkan yangınlar, su baskınları ve doğal yağmur emme özelliğinden yoksun kalan karalardan ve kıyı bölgelerindeki açık denizlerden gelen çamur akıntıları gibi aşırı hava olaylarıyla birlikte görülmeye başlamıştır [3, 4]. İklim değişikliğinin sonucu ise insanların mahsul yetiştirmeyi destekleyemeyen topraklardan ve yükselen deniz seviyelerinin geçim kaynaklarını tehdit etmeye başladığı bölgelerden istemsiz kitlesel göçlerinin yanı sıra böceklerin ve hayvanların da daha misafirperver iklimlere göç etmesidir. Sadece doğal afetler değil, dolaylı olarak küresel ısınmadan kaynaklanan insan kaynaklı felaketler de endişe kaynağıdır. Bunlar arasında, arazi açıklıkları ve kentsel gelişim sonucunda arazinin yağmur suyunu emme yeteneğinin azalması ve bunun sonucunda da sele neden olması; çiftliklerde verimi arttırmak için kullanılan pestisitler, endokrin bozucular ve hormonal açıdan aktif maddeler şeklindeki kimyasal kirlilik; aşırı hava koşulları nedeniyle nükleer felaketler; tarıma yönelik arazi kullanım kararları; petrol yangınları, kömür madeni yangınları ve hatta lastik yangınları, artan CO₂ seviyelerine katkıda bulunmaktadır [24].

Çoğu ülke, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (BMİDÇS) ortalama küresel sıcaklıkta sanayi öncesi seviyenin üzerine 2°C'lik bir artışın maksimum sınır olması gerektiği yönündeki değerlendirmesini kabul etmiştir. Bu hedefe ulaşmak için, çalışmalar genellikle küresel sera gazı emisyonlarının 2020'den önce zirveye ulaşması ve sonrasında emisyonlarda önemli bir azalma olması gerektiğini göstermektedir [25]. Atmosfere giren CO₂ miktarını azaltmak ve eğer mümkünse, halihazırda atmosferde bulunan CO₂'nin bir kısmını ortadan kaldırmanın yollarını bulmak gerekmektedir. Günümüzde atmosferdeki CO₂ seviyeleri, okyanuslardaki çözünmüş CO₂'nin ve karadaki biyotanın CO₂ alımının doğal dengesini aşmaktadır. Maalesef bu dengesiz miktarda artan CO₂ havada çok uzun süre kalmaktadır [1]. Bunun nedeni, CH₄ gibi diğer sera gazlarının aksine CO₂'nin çok tepkisiz olmasıdır. Çoğu kimyasalla doğal olarak reaksiyona girmez ve termodinamik açıdan çok yüksek bir Gibbs serbest oluşum enerjisine sahiptir. CO₂'nin başka bir kimyasalla reaksiyona girebilmesi için sisteme önemli miktarda enerji (ısı enerjisi gibi) verilmesi gerekir. Kimyasal reaksiyonlardan (çimento imalatı ve fosil yakıtların

yakılması gibi) kaynaklanan atık CO₂'den kurtulmanın bu kadar zor olmasının ve sanayide kimyasal hammadde olarak nadiren kullanılmasının nedeni de budur [10].

2.2. Sera Gazlarının Küresel Isınmadaki Rolü

Birleşmiş Milletler Çevre Programı Emisyon Açığı Raporu (United Nations Environment Programme (UNEP) Emissions Gap Report) 2023'de sera gazları (greenhouse gas-GHG), "küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan atmosferik gazlardır" şeklinde açıklanmıştır. Başlıca sera gazları (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksittir (N₂O). Daha az yaygın ancak çok güçlü olan sera gazları arasında ise hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler) ve sülfür heksaflorür (SF₆) yer almaktadır [26]. Sera gazlarının kaynağı doğal veya antropojenik (insan kaynaklı) olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal olarak oluşabilen sera gazlarından bazıları su buharı (H₂O), karbon dioksit (CO₂), ozon (O₃), metan (CH₄), nitrit oksit (N₂O)'tir. Tarımsal faaliyetler, endüstriyel faaliyetler, fosil yakıt kullanımı, ormanların yok edilmesi gibi tamamen insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazları ise, kloroflorokarbon (CFCs), hidrokloroflorokarbon (HCFCs), hidroflorokarbon (HFCs) (halokarbonlar olarak adlandırılırlar) ve tamamen florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid (SF₆) gibi gazlardır [27, 28].

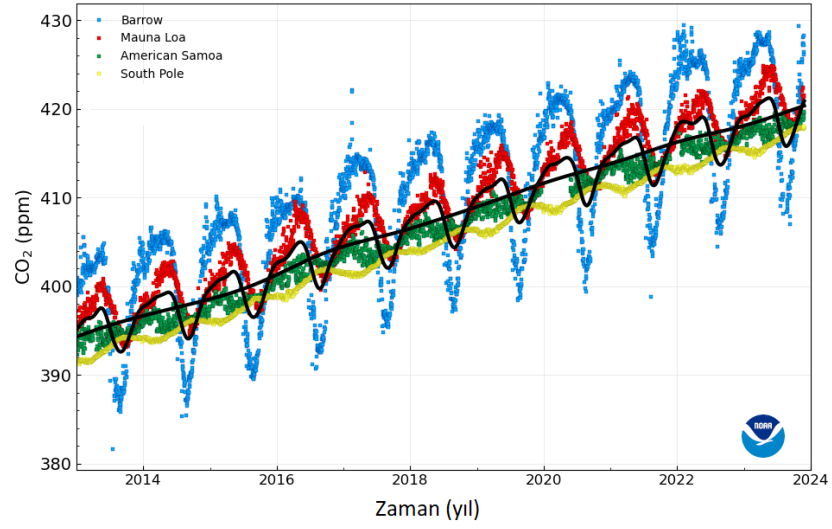
Güneş'ten gelen radyasyonu, Güneş ışınlarını tutma etkisi her sera gazı için değişkenlik göstermektedir. Bu etki, Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential -GWP) olarak adlandırılmaktadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC)'nin düzenli olarak açıkladığı değerlendirme raporlarının sonuncusu olan 6. Değerlendirme Raporuna göre sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri Tablo 2.2.'de verilmiştir [29]. Tablo 2.2'de CO₂'ye göre 100 yıllık küresel ısınma potansiyellerini içermektedir (IPCC 6. Değerlendirme Raporu (AR6)'ndan uyarlanmış olup AR6 değerleri en yeni değerlerdir).

Tablo 2.2. Sera gazlarının 100 yıllık dönem için küresel ısınma üzerindeki potansiyelleri

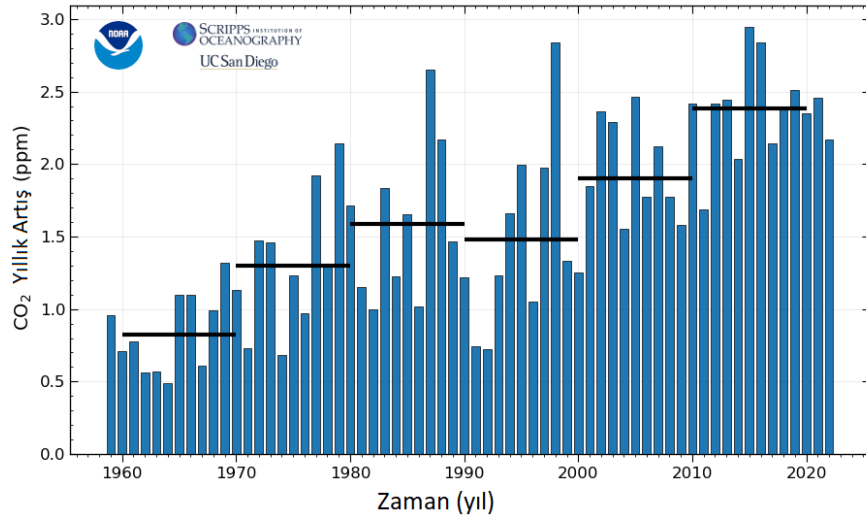
Gaz	Sera Gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri
CO ₂	1
CH ₄	27,9
N ₂ O	273
HFC-23	14600
HFC-32	771
HFC-125	3740
HFC-134a	1530
HFC-143a	5810
HFC-152a	164
HFC-227ea	3600
HFC-236fa	8690
HFC-43-10mee	1600
CF ₄	7380
C ₂ F ₆	12400
C ₄ F ₁₀	10000
C ₆ F ₁₄	8620
SF ₆	24300

Karbondioksit (CO₂), atmosferdeki en önemli antropojenik sera gazıdır ve uzun ömürlü sera gazlarının neden olduğu ışımsal zorlamanın yaklaşık %64'ünü oluşturur. Geçtiğimiz on yıldaki radyatif zorlamadaki artışın yaklaşık %79'undan ve son beş yıldaki artışın yaklaşık %77'sinden sorumludur [30]. Üretim ve tüketim şeklinde yeryüzünde sürekli bir döngü içerisinde. Fotosentez için tüketilmekte, beslenme, solunum, fosilleşme, fosil yakıtların kullanımı, doğal afetler, yanma olaylarında ise üretilmektedir. Antropojenik ve doğal olaylar neticesinde yeryüzündeki CO₂ miktarı sürekli olarak artış göstermektedir. Sanayi devriminden sonra endüstriyel faaliyetler bu artışın sebeplerinden biridir. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre, çevre kirliliğine olan etkileri dolayısıyla CO₂ salınım değerleri değişkenlik göstermektedir. Kişi başı gelir arttıkça, CO₂ salınımına etkisi olan fosil yakıtların kullanımı da artış göstermektedir [31]. Küresel İzleme Laboratuvarı (Global Monitoring Laboratory), küresel olarak dağıtılmış hava örnekleme alanları ağında onlarca yıldır CO₂ ve diğer sera gazlarını ölçmektedir [32]. Şekil 2.1.'de dört atmosfer tabanı gözleminden alınan günlük ortalama CO₂'yi göstermektedir. Burada, Barrow/Alaska (mavi), Mauna Loa/Hawaii (kırmızı), Amerikan Samoa (yeşil) ve Güney Kutbu/Antarktika (sarı) renkle gösterilmektedir. Kalın siyah çizgiler, her bir kayıt için yumuşatılmış mevsimsel eğrilerin ve yumuşatılmış mevsimsellikten arındırılmış eğrilerin ortalamasını temsil etmektedir. Veriler, H₂O çıkarıldıktan sonra CO₂ moleküllerinin sayısının CO₂'nin kendisi de dahil olmak üzere havadaki tüm

moleküllerin sayısına bölünmesiyle tanımlanan kuru hava mol fraksiyonu olarak rapor edilmektedir. Mol fraksiyonu milyonda parça (ppm) olarak ifade edilir. Buna göre, ortalama CO₂ değeri Ağustos 2022’de 414,41 ppm, Ağustos 2023’de 416,59 ppm ve Kasım 2023’de ise 420,34 ppm olarak kaydedilmiştir [33]. Şekil 2.2, küresel ortalama deniz yüzeyi verilerine dayalı olarak yıllık ortalama CO₂ büyüme oranlarını göstermektedir. Grafikte, büyüme oranının on yıllık ortalamaları yatay çizgiler ile gösterilmektedir. Belirli bir yılda CO₂’nin yıllık ortalama büyüme oranı, o yılın Aralık sonu ile Ocak başı arasındaki konsantrasyon farkından hesaplanmaktadır.

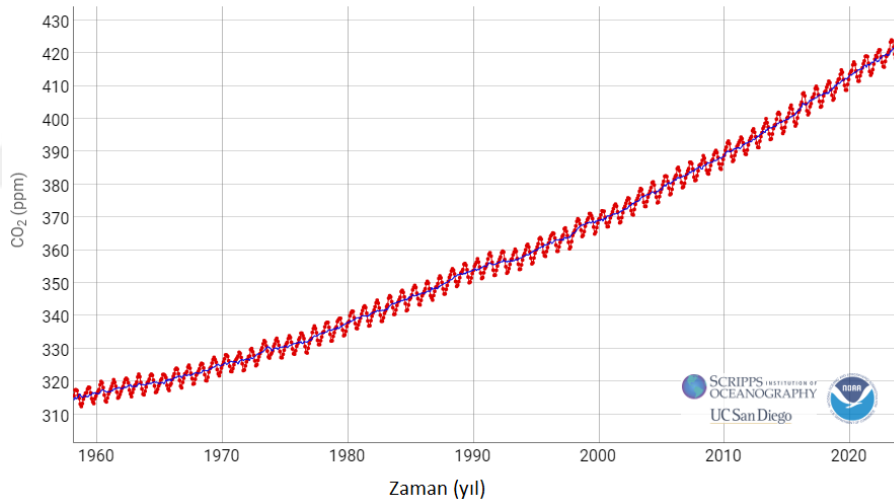


Şekil 2.1. Farklı gözlemlerinden 2014-2024 yılları için günlük ortalama CO₂ ölçüm değerleri [33].



Şekil 2.2. Yıllık ortalama küresel CO₂ artış oranları [34]

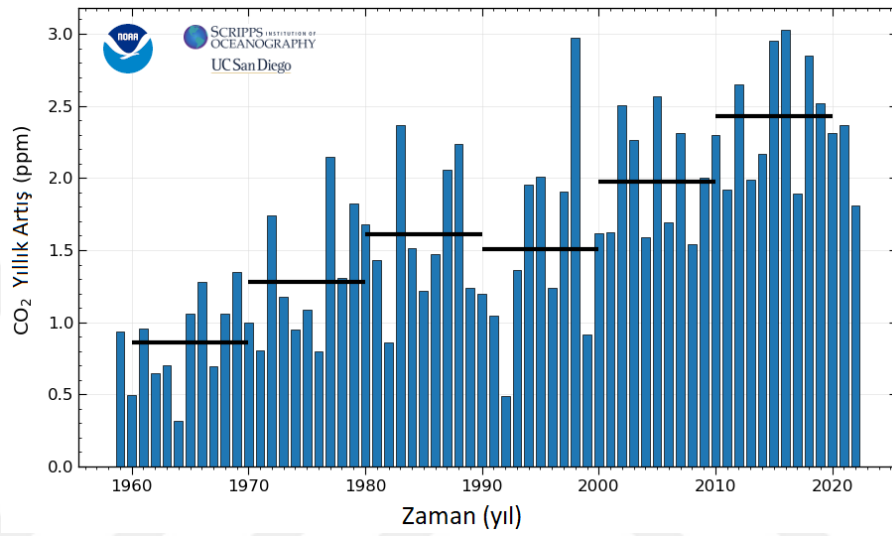
Doğrudan atmosferik CO₂ ölçümlerinin en uzun sürekli kaydına sahip olan Mauna Loa/Hawaii'deki CO₂'deki son trendleri incelendiğinde atmosferdeki CO₂ değerinin yıllara göre sürekli artış gösterdiği doğrulanmaktadır [35]. Bunlar, Mart 1958'de Scripps Oşinografi Enstitüsü (Scripps Institution of Oceanography)'nden C. David Keeling tarafından Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA)'nin bir tesisinde başlatılmıştır [36]. NOAA, 1974 yılının Mayıs ayında kendi CO₂ ölçümlerine başladı ve o zamandan bu yana Scripps tarafından yapılan ölçümlerle paralel olarak ilerlediler [37]. Şekil 2.3. Birleşik Scripps verileri ve NOAA verilerinin tam kaydı verilmektedir. Her aylık ortalama, günlük ortalamaların ortalamasını ve bunlar da saatlik ortalamalar temsil etmektedir. Buna göre, CO₂ değeri Kasım 2022'de 418,38 ppm iken Kasım 2023'de 421,21 ppm'e çıkmıştır. 10 yıl önce ise bu değer 395,26 ppm olarak kaydedilmiştir [38].



Şekil 2.3. Mauna Loa izleme laboratuvarı atmosferdeki aylık CO₂ değerleri [35].

Hawai, Mauna Loa'nın yıllık ortalama CO₂ büyüme oranlarını verilmiştir. Şekil 2.4, büyüme hızının on yıllık ortalamaları yatay çizgiler olarak gösterilmektedir. On yıllık ortalamalar değerlendirildiğinde 1960-69 yıllarında ortalama artış oranı 0,858 ppm, 1970-79 yıllarında 1,285 ppm, 1980-89 yıllarında 1,607 ppm, 1990-99 yıllarında 1,51 ppm, 2000-09 yıllarında 1,972 ppm, 2010-19 yıllarında 2,427 ppm olarak hesaplanmaktadır. 2020-22 yıllarının artış ortalaması ise 2,16 ppm olarak belirlenmiştir. 2021'den 2022'ye yıllık ortalamalardaki artış, yani 2,2 ppm, 2020'den

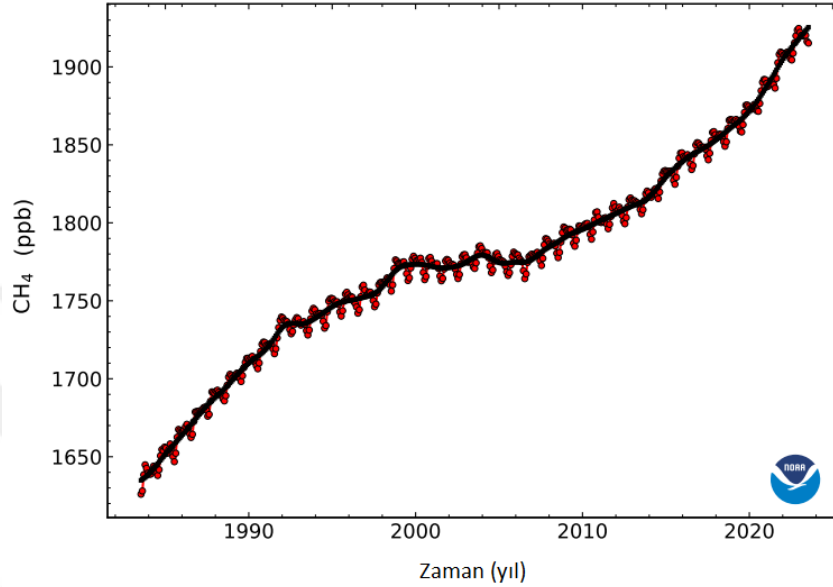
2021'e olan 2,5 ppm'lik artıştan ve son on yıldaki ortalama büyüme oranından (2,46 ppm/yıl) biraz daha küçük bulunmuştur. Daha yavaş büyüme oranının azalan fosil yakıt emisyonlarından kaynaklandığına dair hiçbir gösterge olmamakla birlikte, en olası neden ile ilgili bilimsel fikir birliği, atmosferik CO₂ büyüme oranındaki değişkenliğin esas olarak karasal ekosistemler tarafından değişen net CO₂ emilim miktarlarından kaynaklandığı yönündedir [30].



Şekil 2.4. Mauna Loa izleme laboratuvarı atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ artış oranları [39].

Metan (CH₄), kokusuz ve patlayıcı özelliği olan bir gazdır. CH₄, uzun ömürlü sera gazlarının ışımsal zorlamasının yaklaşık %19'unu oluşturur. CH₄'ün yaklaşık %40'ı doğal kaynaklardan (sulak alanlar ve termitler gibi) atmosfere yayılırken yaklaşık %60'ı antropojenik kaynaklardan (tarımsal faaliyetler, geniş getiren hayvanlar, pirinç tarımı, fosil yakıt kullanımı, çöp depolama alanları, biyokütle yakma gibi) gelmektedir [40]. Küresel ısınmaya etkisi, diğer sera gazlarına oranla %20 oranındadır [41]. NOAA'nın Dünya Sistemi Araştırma Laboratuvarı'nın Küresel İzleme Bölümü, 1983'ten beri küresel olarak dağıtılmış hava örnekleme alanları ağında CH₄ ölçmektedir [42]. CH₄, H₂O çıkarıldıktan sonra CH₄ moleküllerinin sayısının numunedeki toplam molekül sayısına bölünmesiyle tanımlanan "kuru hava mol fraksiyonu" olarak rapor edilmektedir. Mol fraksiyonu nmol /mol olarak ifade edilir ve "ppb" olarak kısaltılır (milyarda bir kısım için; 1 ppb, bir hava numunesindeki her milyar molekülden birinin CH₄ olduğunu gösterir). Şekil 2.5, deniz yüzeyi alanlarından belirlenen aylık ortalama atmosferik CH₄ miktarını göstermektedir. Buna

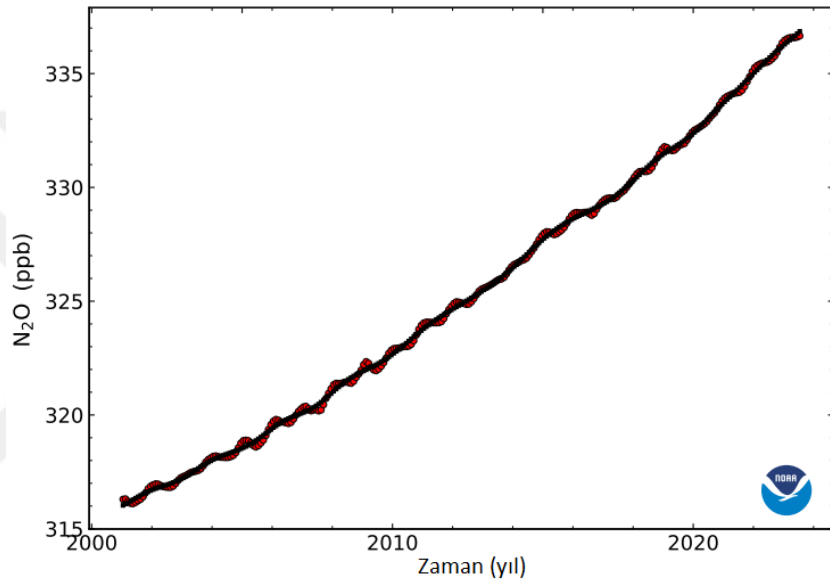
göre, Temmuz 2022’de 1904,42 ppb olarak kaydedilen CH₄ miktarı Temmuz 2023’de artış göstererek 1915,25 ppb değerine ulaşmıştır. Küresel ortalama deniz yüzeyi verilerine dayanarak atmosferik CH₄’deki yıllık artışları incelendiğinde 2020, 2021 ve 2022 yıllarında artış oranları sırasıyla 15,14 ppb, 17,89 ppb ve 13,68 ppb olarak kaydedilmiştir [43].



Şekil 2.5. Aylık ortalama atmosferik CH₄ değerleri

Diazot Monoksit (N₂O), renksiz ve kokusuz bir gazdır. N₂O, uzun ömürlü sera gazlarının neden olduğu ışımsal zorlamanın yaklaşık %6’sını oluşturur. Kombine zorlamaya üçüncü en önemli bireysel katkıyı sağlar. N₂O, okyanuslar, topraklar, biyokütle yakımı, gübre kullanımı ve çeşitli endüstriyel işlemler dahil olmak üzere hem doğal kaynaklardan (yaklaşık %57) hem de antropojenik kaynaklardan (yaklaşık %43) atmosfere yayılmaktadır [30, 44]. Diğer sera gazlarında olduğu gibi, N₂O gazının da atmosferdeki değeri ve doğal olarak etkisi giderek artmaktadır. Küresel İzleme Laboratuvarı, 1997’den bu yana küresel olarak dağıtılmış hava örnekleme alanları ağında N₂O ölçümleri yapmaktadır [42]. N₂O, H₂O çıkarıldıktan sonra N₂O moleküllerinin sayısının numunedeki toplam molekül sayısına bölünmesiyle tanımlanan “kuru hava mol fraksiyonu” olarak rapor edilmektedir. Mol fraksiyonu nmol/mol olarak ifade edilir ve “ppb” olarak kısaltılır (milyarda bir kısım için; 1 ppb, bir hava numunesindeki her milyar molekülden birinin N₂O olduğunu gösterir). Şekil 2.6. deniz yüzeyindeki bölgelerden 2001 yılından itibaren belirlenen aylık ortalama

atmosferik N₂O miktarının NOAA zaman serisini göstermektedir. Buna göre, Temmuz 2022 de 335,56 ppb olarak kaydedilen N₂O miktarı Temmuz 2023’de artış göstererek 336,66 ppb değerine ulaşmıştır. Küresel ortalama deniz yüzeyi verilerine dayanarak atmosferik N₂O’daki yıllık artışları incelendiğinde 0,50 ppb ile en düşük artış oranı 2002 yılında gözlenirken, en büyük artış oranı 1,34 ppb ile 2020 yılında kaydedilmiştir. 2021 ve 2022 yıllarında ise artış oranları sırasıyla 1,29 ppb ve 1,24 ppb olmuştur [45]. 2021’den 2022’ye yıllık artış, 2020’den 2021’e artıştan ve son 10 yılın ortalama büyüme oranından (1,05 ppb/yıl) daha yüksek bulunmuştur [30].



Şekil 2.6. Aylık ortalama atmosferik N₂O değerleri

Bu tür gazlar (CO₂, CH₄, O₃, SF₆, perflorokarbonlar, hidroflorokarbonlar, kloroflorokarbonlar, vb.) nedeniyle atmosferin toplam ısınımsal zorlaması pozitif ve istikrarlı bir şekilde artmaktadır; 1998 tarihli 3. IPCC raporunda (AR3) $2,43 \pm 0,24$ W/m², 2007 yılı 4. IPCC raporunda (AR4) $2,63 \pm 0,25$ W/m², 2013 yılının 5. IPCC raporunda (AR5) $2,83 \pm 0,03$ W/m² olarak belirtilmiştir ve 2013 yılında sunulan raporda başlıca katkının CO₂ (yaklaşık %64) ve CH₄ (yaklaşık %17) gazları olduğu vurgulanmıştır [46].

2.3. Küresel Emisyon Eğilimleri

Küresel sera gazı emisyonları 2022’de 57,4 Gt CO₂e ile rekor seviyeye ulaşmış ve bir önceki yıla göre %1,2 (0,6 GtCO₂e) artış göstermiştir. Bu oran, sera gazı emisyon artışının yılda ortalama %0,9 olduğu, ancak 1990’lar (%1,2) ve 2000’lerdeki (%2,2) emisyon artışından daha yavaş, 2010-2019 yılları ortalama oranının ise biraz üzerinde olduğunu anlamına gelmektedir. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonları Kasım 2022’de 418,38 ppm iken Kasım 2023’de 421,21 ppm’e çıkmıştır ve yıllık emisyonlar, uzaklaştırmalarla dengelenecek kadar azaltılıncaya kadar artmaya devam edecektir. Buna karşılık, Paris Anlaşması’nın sıcaklık hedefine ulaşmak için en az maliyetli yolu bulmak için küresel sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 33-41 GtCO₂e arasındaki seviyelere düşmesi gerekmektedir [47]. Birçok veri setine göre, fosil CO₂ emisyonları 2022’de %0,8-1,5 arasında artmış ve sera gazı emisyonlarındaki genel artışa en büyük katkıyı sağlamıştır [48-51]. CH₄, N₂O ve F gazı emisyonları mevcut sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Her ne kadar toplamın çok daha küçük bir payını temsil ettikleri için 2022’deki genel artışa mutlak katkıları daha düşük olsa da bu gazların emisyonları hızla artmaktadır. 2022’de F-gaz emisyonlarında %5,5 artış gözlenirken bunu %1,8 ile CH₄ ve %0,9 ile N₂O izlemiştir [51,52].

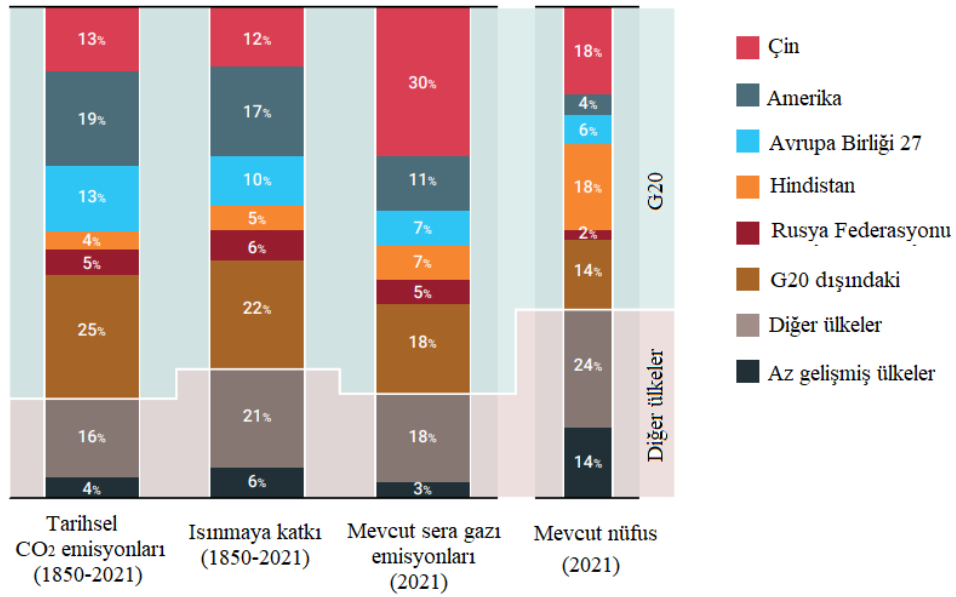
Güncellenen tahminler, net Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık (Land Use, Land-Use Change And Forestry – LULUCF) CO₂ emisyonlarının son yirmi yılda yavaş yavaş azaldığını, 2002–2011 döneminde yıllık 4,9 GtCO₂ ile karşılaştırıldığında 2012–2021 döneminde yıllık ortalama 4,5 GtCO₂ emisyon olduğunu göstermektedir. Düşüşün ardındaki temel etken, ağaçlandırma/yeniden ağaçlandırma da dahil olmak üzere orman arazilerindeki uzaklaştırmalardaki artış (yılda 3,0 GtCO₂’den 3,5 GtCO₂’ye) ve ormansızlaşmadan kaynaklanan emisyonlar yüksek kalmıştır (2002–2011 ve 2012–2021 için yılda sırasıyla 6,8 ve 6,7 GtCO₂). LULUCF CO₂ emisyonları ve giderimleri hem mutlak miktarları hem de eğilimleri açısından burada ele alınan tüm gazlar arasında en büyük belirsizlikleri taşımaya devam etmektedir [52, 53].

Bununla birlikte, bazı ülkeler emisyonlarda zirveye ulaşırken, küresel kişi başına düşen seviyelerde farklılıklar belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya Federasyonu'nda kişi başına düşen bölgesel sera gazı emisyonları, dünya ortalaması olan 6,5 tCO₂e'den iki katından fazlayken, Hindistan'da bunun yarısının daha az olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.7.). Bir bütün olarak G20'nin ortalaması 7,9 tCO₂e iken, en az gelişmiş ülkelerin ortalaması 2,2 tCO₂e ve gelişmekte olan küçük ada devletlerinin ortalaması ise 4,2 tCO₂e olmuştur. Genel olarak kişi başına sera gazı emisyonları Nepal'de 1,3 tCO₂e ve Katar'da 73 tCO₂e olarak ülkeler arasında son derece eşitsiz bir şekilde dağılmaktadır. Karşılaştırıldığında, 2050 yılına kadar kişi başına düşen emisyonlara ilişkin küresel ortalama tahminler, 2°C ve 1,5°C senaryolarıyla tutarlı olarak sırasıyla 2,2 tCO₂e ve 1,0 tCO₂e'dir.

2022 yılı itibarıyla 36 ülke, hem fosil CO₂ hem de LULUCF CO₂ hariç toplam sera gazı emisyonları açısından emisyon azaltımlarını 10 yıldan daha uzun bir süredir sürdürmektedir. Bunlardan 22'si Avrupa Birliği ülkeleri, 8'i ise yüksek gelirli ülkelerdir (Avustralya, İsrail, Japonya, Norveç, İsviçre, Ukrayna, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri). Bu dönemde 6 orta gelirli ülke (Arnavutluk, Küba, Jamaika, Meksika, Kuzey Makedonya ve Güney Afrika) de emisyonları azaltmayı başarmıştır. Genel olarak bu ülkeler enerji sektörü ve sanayi emisyonlarını azaltmada başarılı olsa da ulaşım, bina ve tarım emisyonlarını azaltmadaki başarı şu ana kadar sınırlı olmuştur [54]. 1850 ile 2021 arasındaki kümülatif emisyonlar bölgelere göre değişiklik göstermektedir [55]. Bu emisyonların en büyük payından Amerika Birleşik Devletleri sorumludur ve onu Avrupa Birliği ve Çin takip etmektedir (Şekil 2.7.). Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği toplu olarak, 1850'den 2021'e kadar toplam kümülatif emisyonların yaklaşık üçte birine katkıda bulunmuştur. Sonuç olarak, bu ülkelerden kaynaklanan emisyonlar, sanayileşmeden bu yana CH₄ ve N₂O emisyonlarının etkisi de dahil olmak üzere ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [56]. Karşılaştırıldığında, en az gelişmiş ülkeler tarihsel kümülatif fosil ve LULUCF CO₂ emisyonlarının %4'üne katkıda bulunmuştur. Bir bütün olarak G20 bugüne kadar yaşanan ısınmanın yaklaşık dörtte üçünden ve tarihsel kümülatif fosil CO₂ emisyonlarının çok daha büyük bir kısmından sorumludur. Ancak, G20'nin

kendisi de nüfus, kentleşme düzeyi, sanayileşme ve kaynak bağışları dahil olmak üzere ekonomik ve sosyal kalkınma aşamaları açısından çeşitlilik göstermektedir [57].

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’den bu yana 9 ülke yeni veya güncellenmiş Ulusal Olarak Belirlenen Katkılar (Nationally Determined Contributions - NDC)’ler sunmuştur. Bunlardan 4’ü (Mısır, Türkiye, Birleşik Arap Emirlikleri ve Uruguay), 2030 emisyonlarını ülkenin önceki NDC’lerinden daha fazla azaltmayı önermektedir, 2’si (Kiribati ve Türkmenistan) net değil veya önceki NDC’lerle karşılaştırılmaz ve 1’i ülkenin (Kutsal Makam- Holy See) ilk NDC’sidir. Toplu olarak, G20 üyelerinin 2030 yılına kadar en son NDC’lerinin 1,2 GtCO₂e (merkezi tahmin) kadar gerisinde kalacağı öngörülmektedir. Bu, geçen yılın değerlendirmesinden 0,6 GtCO₂e daha düşüktür [57].



Şekil 2.7. İklim değişikliğine güncel ve tarihsel katkıları [57]

Rusya Federasyonu ve Türkiye (G20 üyesi) için, NDC kapsamında öngörülen emisyonlar, sunuldukları andan itibaren mevcut politika projeksiyonlarını önemli ölçüde aştı ve böylece makul olarak beklenebilecek olanla karşılaştırıldığında uygulama açığını azalttı. Bu iki üyeye yönelik NDC projeksiyonlarının yerine mevcut politika senaryo projeksiyonları konulursa, G20 üyeleri toplu olarak 2030’daki NDC’lerine 2030’da yıllık 1,8 GtCO₂e kadar ulaşamayacaklardır; bu rakam geçen

yılın değerlendirmesine göre 0,8 GtCO₂e daha düşüktür. Yeni uygulanan politikaların etkisi ngrlerdeki düşüşe neden olmaktadır. Diğer faktörler arasında senaryo veri setinin en son emisyon eğilimlerini, sosyoekonomik gelişmeleri ve koşulları yansıtabak şekilde güncellenmesi ve senaryo modellerinde metodolojik güncellemeler yapılmış olması yer almaktadır [57].

2015 yılında kişi başına düşen sera gazı emisyonları ve mevcut NDC hedefleri ve mevcut politika senaryosu kapsamında 2030 projeksiyonu incelendiğinde geçen yıla kıyasla yalnızca küçük değişiklikler bulunmaktadır. En son NDC'ler kapsamında G20 yelerinin 2030 yılında kişi başına düşen ortalama emisyonlarının, mevcut politika senaryosuna (7,1 tCO₂e) göre yalnızca çok az daha düşük (6,8 tCO₂e) olacağı öngörülüyor. Bunlar, 2050 yılına kadar 1,5°C ve 2°C senaryolarının ima ettiği ortalama tahminlerden hala oldukça uzaktadır. Kişi başına düşen emisyonların G20 yeleri arasında geniş bir aralıkta (4,0-16,1) değişmektedir. Avustralya, Avrupa Birliği, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nin, mevcut politikalar kapsamında 2015 - 2030 yılları arasında kişi başına düşen emisyonlarını üçte birden fazla, koşulsuz NDC'ler kapsamında ise %40 - 50 arasında azaltması öngörülmektedir. Beş G20 yesi (in, Hindistan, Meksika, Rusya Federasyonu ve Türkiye) için hem mevcut koşulsuz NDC hedefleri hem de mevcut politikalar kapsamında kişi başına emisyonların 2015 - 2030 yılları arasında artması öngörülmektedir. Ayrıca hem mevcut politikalar hem de koşulsuz NDC'lerin tam olarak uygulanması kapsamında, birçok G20 yesi için kişi başına düşen emisyonların 2030'da 10 tCO₂e'nin üzerinde kalması öngörülmektedir. Türkiye 2030 yılı için koşulsuz NDC ile kişi başına sera gazı emisyonlarını 7,9'dan mevcut politika senaryosu ile 6,7'ye düşürmesi beklenmektedir [57].

2.4. Küresel Isınma ile İlgili Tarihi Süreçler

2.4.1. Birleşmiş Milletler Stockholm Konferansı

Haziran 1972'de dünya liderlerinin evre ile uyumlu ekonomik kalkınma konusunu tartıştıkları ilk forum Birleşmiş Milletler tarafından Stochkolm'de gerçekleşmiştir. Konferans sonunda; "İnsan ve çevresi" adlı bildiri ve 109 bildirge yayınlanmıştır [58].

2.4.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization - WMO) tarafından kurulmuştur. BM Genel Kurul Kararında belirtildiği gibi, ilk görevi, iklim değişikliği biliminin bilgi durumuna ilişkin kapsamlı bir inceleme ve öneriler hazırlamaktır. IPCC, iklim değişikliği, etkileri ve gelecekteki riskleri hakkında bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilginin durumu ve iklim değişikliğinin gerçekleşme hızını düşürme seçenekleri hakkında kapsamlı değerlendirme raporları hazırlamaktadır [59]. Çalışma Grubu III tarafından 4 Nisan tarihinde altıncı değerlendirme raporu yayımlanmıştır.

2.4.3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi; 1992 yılında kabul edilmiş 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin nihai amacı atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde tutmayı başarmaktır. Sözleşmede EK-I'de yer alan ülkelerin sera gazı emisyonlarını sınırlandırma ve sera gazı yutaklarını koruma yükümlülükleri bulunmaktadır. EK-II listesindeki ülkelerin EK-I'de yer alan azaltım yükümlülüğüne ilave olarak, gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele süreçlerinde mali ve teknolojik yardım sağlama yükümlülükleri bulunmaktadır. Türkiye, 24 Mayıs 2004'te sözleşmeye taraf olmuştur ve sözleşmenin EK-I listesinde yer almıştır [60].

2.4.4. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü Japonya'nın Kyoto şehrinde görüşülmüş olup 1997 yılında kabul edilip 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Protokole 191 ülke ve Avrupa Birliği taraftır. Sera gazı emisyonlarının olumsuz etkilerinin artmaya devam etmesi ve buna bağlı olarak gelişen iklim değişikliği etkilerinin daha fazla hissedilir hale gelmesi sebebiyle, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi' ne taraf ülkeler sözleşmeyi

güçlendirmek adına sera gazı emisyonlarına neden olan gazların kullanımını azaltmak amacıyla ilk olarak 11 Aralık 1997’de imzalanmıştır. Türkiye, 26 Ağustos 2009 tarihinde 2009/14979 sayılı karar ile Kyoto Protokolü’ne taraf olmuştur [61]. Protokolün EK-B listesinde yer alan ülkeler UNFCCC EK-1’ de yer alan ülkelerdir. Bu ülkeler 2008-2012 yılları arasında, 1990 yılı sera gazı salınım seviyelerini en az %5 aşağısına indirmek için, EK-B’de yer alan salım sınırlandırma ve azaltım taahhütlerine uymak zorundadır.

2.4.5. BM Küresel İlkeler Sözleşmesi (United Nations Global Compact, UNGC)

2000 yılından itibaren gönüllülük esasına dayanan, sürdürülebilir ve kapsayıcı bir küresel ekonomi yaratmak için kurumların iş birliği ile harekete geçmelerini teşvik eden ve sürdürülebilirlik gündemini belirlemede rol alan bir sözleşmedir [62].

2.4.6. Sürdürülebilir Borsalar Girişimi (Sustainable Stock Exchanges Initiative, SSE)

2009 yılı itibari ile yatırımcılar, düzenleyiciler ve şirketlerle iş birliği ile çevresel, sosyal ve kurumsal yönetim konularında kurumsal şeffaflığın ve performansın artırılmasına ve sürdürülebilir yatırımların gelişmesine nasıl katkı sağlayabileceklerini araştıran, BM destekli bir girişimdir [63].

2.4.7. Paris Anlaşması

Paris Anlaşması 4 Kasım 2016 tarihinde Paris’te imzalanarak yürürlüğe girmiştir. 6 Ekim 2021 kabul tarihli ve 7335 numaralı, Paris Anlaşmasının uygun bulunduğu dair kanun ile Paris Anlaşması’nın onaylanması uygun bulunmuştur. Anlaşma, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin uygulamasını geliştirmeyi amaçlamaktadır. Küresel tehdit haline gelen iklim değişikliğine müdahaleyi güçlendirmeyi de amaçlamaktadır [64]. Türkiye ilk Ulusal Katkı Beyanını 30 Eylül 2015 tarihinde sunmuş ve 2053 yılı için net sıfır emisyon taahhüdü yer vermiştir.

2.4.8. Yeşil Mutabakat

İklim değişikliği kapsamında meydana gelen etkilerin önüne geçmek amacıyla Yeşil Mutabakat 9 Temmuz 2021 tarihinde AB Resmi Gazetesinde yayınlanmıştır. Avrupa'yı dünyanın ilk iklim nötr kıtası yapmak, 2030'a kadar karbon salımını 1990'a kıyasla %55 oranında azaltmak ve 2050'de ise karbon salımını sıfıra indirmek Yeşil mutabakatın hedefleri arasındadır. Yeşil Mutabakat Stratejileri ise temiz enerji dönüşümü, sürdürülebilir akıllı ulaşım, tarladan sofraya, biyoçeşitlilik, üçüncü sanayi devrimi ve daha yeşil yaşam tarzıdır [65]. Yeşil mutabakat eylem planı çerçevesinde ve kalkınma hedefleri doğrultusunda sınırda karbon düzenlemeleri, yeşil ve dögüsel bir ekonomi, yeşil finansman, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım, iklim değişikliği ile mücadele, diplomasi ve Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri başlıkları altında belirlenen hedeflere ulaşılması amacıyla hayata geçirilecek eylemlere yer verilmiştir. Bu plan, toplam 32 hedef ve 81 eylemi içermektedir. Yayınlanan plan içerisinde; hedef, bu hedef için alınacak eylem, takvim, sorumlu, ilgili kurum ve paydaşlar ve sonucundaki çıktıları içeren “Yeşil Mutabakat Eylem Planı Takvimi”nde yer almaktadır [66].

2.5. Karbon Ayak İzi ve Hesaplama

Karbon Ayak İzi; insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının CO₂ eşdeğerinde çeşitli yöntemlerle hesaplanmasıdır [67]. Geçmişten günümüze yaşanan gelişmeler veya yapılan anlaşmalar neticesinde karbon ayak izinin bilinmesi ve bu doğrultuda da gerekli önlemlerin alınması gerekeceği düşünülmektedir. 2050 yılında hedeflenen sıfır karbon salınımı için, öncelikli olarak bireysel ya da kurumsal karbon salınım miktarının ve böylece karbon ayak izi miktarının bilinmesi gerekmektedir. Karbon salınımına etki eden faktörler ve bu faktörlerin etki sonuçları değerlendirilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Alınacak önlemler sayesinde, enerji tüketimlerinin azaltılması için alternatif yolların araştırılması, yenilenebilir enerjilerin tüketilmesine öncelik verilmesi, fosil yakıtların kullanımının azaltılması, ağaçlandırma ve yeşillendirme çalışmalarının artması şeklinde sürdürülebilir yöntemler araştırmasına girilecektir.

Karbon ayak izi hesaplamaları bireysel veya kurumsal olarak yapılabilir. Karbon ayak izi hesabında göz önünde bulundurulacak üç önemli gaz CO₂, CH₄ ve N₂O'dur. Bu gazların türüne göre küresel ısınma potansiyelleri farklıdır. IPCC 6. Değerlendirme Raporunda, küresel ısınma potansiyelleri CO₂ için 1, CH₄ için 27,9 ve N₂O için 273 olarak verilmiştir.

2.5.1. Sera Gazı Standardı

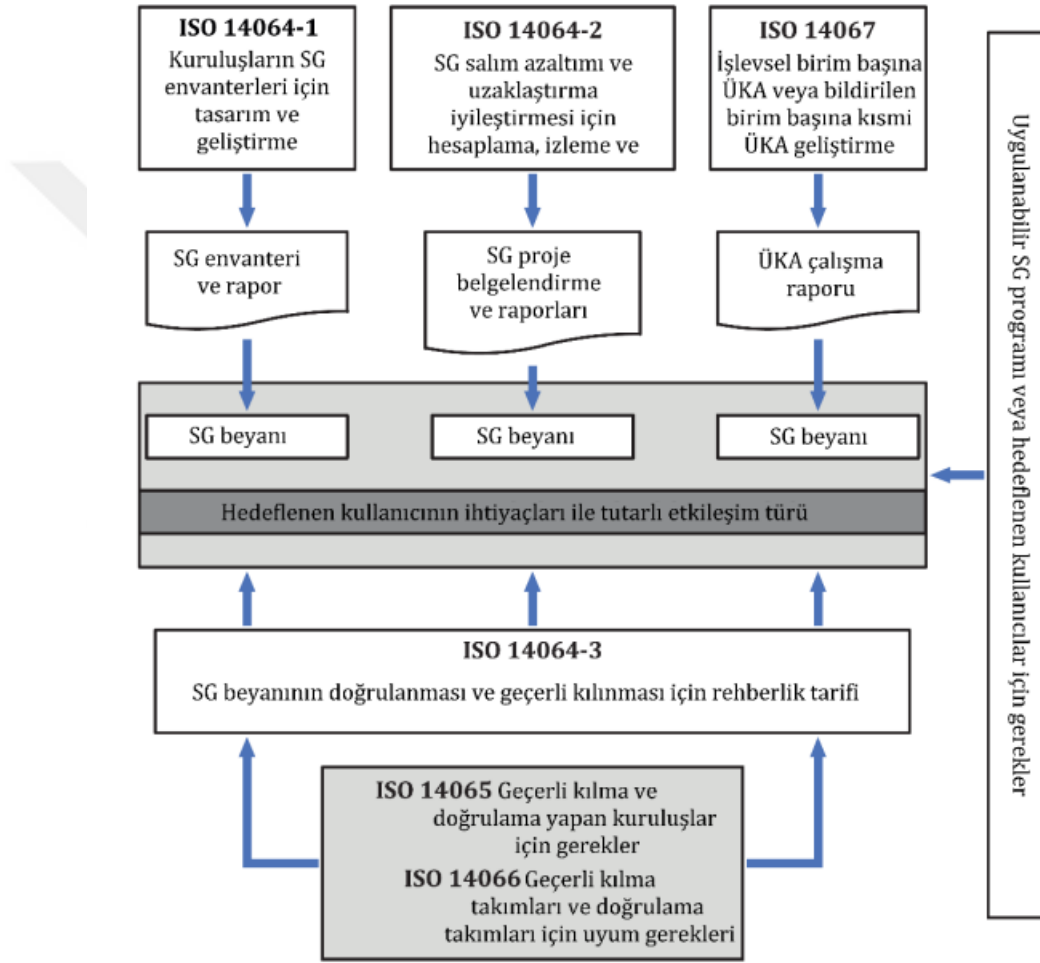
Sera gazı standardı, iklim değişikliğine bağlı olarak meydana çıkan ve artmaya devam eden çevresel sorunlar ve bu sorunlar kapsamında gerekli hareketlenmeyi sağlamak amacıyla 2006 yılında International Organization for Standardization (ISO) tarafından yayınlanmıştır.

TS EN ISO 14064-1 Sera Gazı Standardı, kurumsal düzeyde sera gazı emisyonları miktarlarının hesaplanması, hesaplama sınırlarının belirlenmesi, sera gazı çalışmalarının raporlanması, yapılan hesaplamaların doğrulanması, sera gazı emisyon miktarlarının azaltılması çalışmalarındaki gereksinimleri tanımlamaktadır. Standart 3 bölümden oluşmaktadır ve her bölümün konuları farklıdır.

- ISO 14064-1: Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanması ve Raporlanması.
- ISO 14064-2: Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının veya Uzaklaştırma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14064-3: Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına ve Onaylanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı

ISO 14064-1 standardı sera gazı envanterinin kuruluş çerçevesinde yapılması hakkında bilgi veren bir standarttır. Gerekli verilerin toplanması, hesaplamaların yapılması ve gerekli önlemlerin alınması için bilgiler içerir. ISO 14064-2 standardı ise, belirlenen proje özelinde hesaplamaların yapılması, salınımların azaltılması, raporlamaların yapılması ve izlenmesi, performansın izlenmesi hakkında bilgiler içerir. ISO 14064-3 ise, sera gazı envanterlerini, yapılan beyanları doğrulama ve değerlendirmeyi içerir. Doğrulama kuruluşları tarafından kullanılmaktadır. ISO 14064

standardına ilave olarak ISO 14067: Sera Gazları- Ürünlerin Karbon Ayak İzi- Hesaplama İçin Gerekler ve Kılavuz; ürünün yaşam döngüsü boyunca meydana gelen sera gazı emisyonlarının hesaplanmasına ilişkin standarttır. Ürünün beşikten mezara, beşikten kapiya, ya da kapıdan kapiya gibi belirli süreçlerde karbon ayak izinin hesaplanması şeklinde sınırlandırmalar mevcuttur. Standartlar arasındaki ilişki Şekil 3.2.' deki gibidir [68].

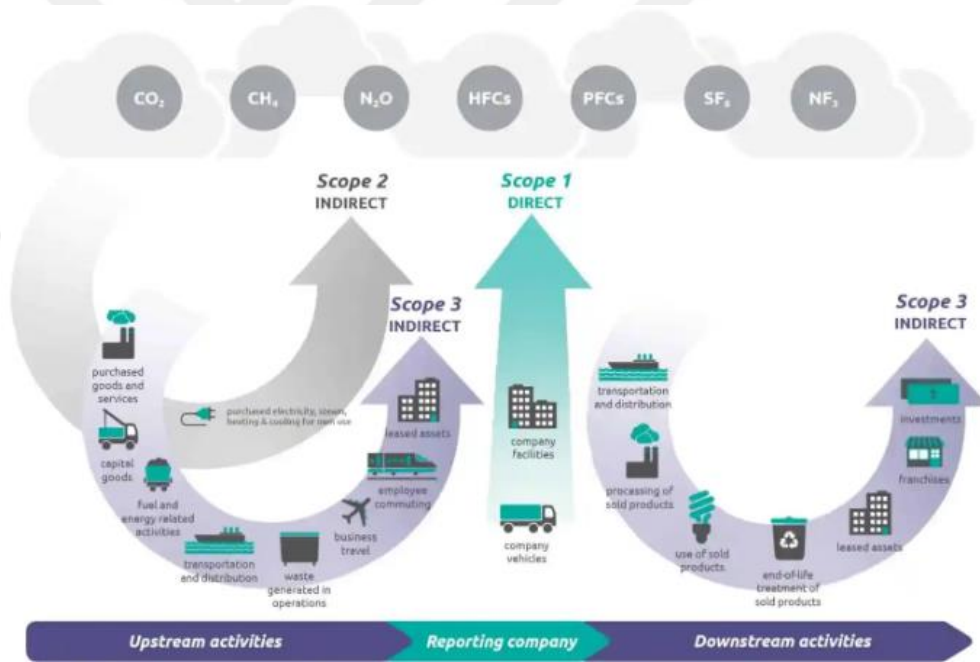


Şekil 2.8. ISO 14060 Sera gazı standartları ailesi arasındaki ilişki

TS EN ISO 14064-1 standardına göre emisyonlar ikiye ayrılmaktadır. Bunlar doğrudan emisyonlar ve dolaylı emisyonlardır. Doğrudan emisyonlar; bireysel veya kurum tarafından meydana gelen, yine birey veya kurum tarafından kontrol edilebilen emisyonlardır. Dolaylı emisyonlar ise, doğrudan emisyonların aksine kullanılan ürün veya tedarik edilen hammaddelerin üretim aşamasında yayılan emisyonlardır.

Sera gazı salınım hesaplamaları için 3 kapsam mevcuttur:

- Kapsam 1: Doğrudan sera gazı emisyonlarıdır. Bir kuruluşun sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından salınan sera gazı emisyonudur.
- Kapsam 2: Dolaylı sera gazı emisyonudur. Bir kuruluş tarafından dışarıdan tedarik edilerek tüketilen elektrik, ısı veya buharın üretilmesi sırasında oluşan sera gazı emisyonudur.
- Kapsam 3: Diğer dolaylı sera gazı emisyonudur. Enerji dolaylı sera gazı emisyonundan başka, bir kuruluşun faaliyetlerinin bir sonucu olarak başka kuruluşların sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından ortaya çıkan sera gazı emisyonudur [69].



Şekil 2.9. Kirletici kaynakları kapsam sınıflandırması [70]

ISO 14064-1 2018 Sera Gazı Envanter Kategorileri Raporlama Sınırlarının Belirlenmesi Doğrudan ve Dolaylı Sera Gazı Emisyonlar raporuna göre sera gazı emisyonları 6 kategoriye ayrılmıştır [71].

- Kategori 1: Doğrudan sera gazı emisyonları ve giderimleri; kuruluşun sahip ettiği ve kuruluş tarafından kontrol edilen kuruluş sınırları içerisindeki emisyonlardır. Sabit yanma, mobil yanma, direkt proses emisyonları, kaçak emisyonlar Kategori 1' e örnektir.
- Kategori 2: İthal enerjiden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlardır. İthal edilen elektrik emisyonlarına buhar, ısıtma ve basınçlı hava gibi tüketilen enerjiden kaynaklı sera gazı emisyonları da dahildir.
- Kategori 3: Ulaşımdan kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bu emisyonlar kurumsal sınırların dışında kaynaklardaki emisyonlardan meydana gelmektedir. Çoğunlukla taşıma ekipmanlarında yakılan yakıttan kaynaklanmaktadır. İlave olarak soğutma gazı sızıntıları, yakıt üretimi ve yakıt taşıma/dağıtımından kaynaklı emisyonlar, ulaşım ekipmanının inşasından kaynaklı emisyonları da içerir. Bu kategori, kişi ve eşya taşımacılığını ve tüm modlar için (demiryolu, deniz, hava ve karayolu) taşımacılığı içerir. Taşıma ekipmanının kuruluşa ait olması veya kuruluş tarafından kontrol edilmesi durumunda emisyonlar, doğrudan emisyonlar olarak Kategori 1' de dikkate alınacaktır. Kuruluş tarafından ödenen nakliye hizmetleri, malların alt nakliye ve dağıtımından kaynaklanan emisyonlar, çalışanların işe gidiş gelişlerinden kaynaklanan emisyonlar, müşteri ve ziyaretçi taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar, yolculuk sırasında oluşan dolaylı emisyonlar da bu kategoriye dahildir.
- Kategori 4: Kuruluş tarafından kullanılan mallarla ilişkili kuruluş sınırları dışında bulunan sabit veya hareketli kaynaklardan meydana gelen emisyonlardır. Kuruluş tarafından satın alınan ve amortismanına tabi tutulan mallardan kaynaklanan emisyonlar, katı ve sıvı atıkların bertarafından kaynaklanan emisyonlar, kuruluş tarafından kiralanan ekipmanlardan kaynaklanan emisyonlar da bu kategoriye örnektir.
- Kategori 5: Kuruluşun ürünlerinin kullanımıyla ilişkili dolaylı sera gazı emisyonlardır. Kuruluşun üretim sürecinden sonraki yaşam aşamalarında kuruluş tarafından satılan ürünlerden kaynaklanmaktadır. Ürünün kullanım aşamasından kaynaklanan emisyonlar veya giderimlerden kaynaklı emisyonlar, alt kiralanan varlıklardan kaynaklanan emisyonlar, ürünün kullanım ömrünün

sonu aşamasından kaynaklanan emisyonlar, yatırımlardan kaynaklanan emisyonlar bu kategoriye örnektir.

- Kategori 6: Diğer kaynaklardan dolayı sera gazı emisyonlardır. Başka hiçbir kategoride raporlanamayan, kuruluşa özgü herhangi bir emisyonu (veya giderimi) kapsamaktır. Sonuç olarak, bu özel kategorinin içeriğini tanımlamak kuruluşun sorumluluğundadır.

2.5.2. IPCC Metodolojisi Kapsamında Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

IPCC'ye göre üç farklı hesaplama yöntemi bulunmaktadır ve Tier olarak adlandırılmaktadır. Tier, metodolojik karmaşıklık düzeyini temsil eden üç Tier yöntemi mevcuttur. Tier 1 temel yöntemdir. Tier 2 orta ve Tier 3 ise karmaşıklık ve veri gereksinimleri açısından en zorlu yöntemdir [72]. Tier 1 hesaplama yöntemi sonucunda karbon eşdeğer miktarına ulaşılmaktadır.

- *Tier 1 hesaplama yöntemi* [73],

$$E = FV \times EF \times NKD \quad (3.1)$$

Burada, E, Atmosfere yayılan kirleticilerin karbon eşdeğer miktarı (tCO₂e); FV, Faaliyet verisi (Tj, t, Nm); EF, Emisyon faktörü (t CO₂/Tj, t CO₂/t, t CO₂/Nm) ve NKD, Net Kalorifik Değeri (TJ/Gg)'dir.

Hesaplamalarda CO₂e eşdeğer değeri kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise CO₂ haricinde diğer sera gazlarının aynı miktar CO₂'e kıyasla kaç kat daha fazla ısı tutabilme kapasitesine sahip olduğunu anlatmaktadır [74]. Kyoto protokolünde belirtilen 6 adet sera gazının (CO₂ hariç) IPCC'ye göre CO₂e eşdeğeri bulunmaktadır. Örneğin faaliyet sonucu meydana gelen ve hesaplaması yapılan CH₄ ve N₂O sera gazlarının CO₂e değerini bilmek için belirtilen ısı tutma kapasitesiyle çarpılmaktadır. Böylece, tüm hesaplamalar aynı birimde buluşturulmakta ve toplam değere ulaşmayı sağlamaktadır.

- ***Tier 2 hesaplama yöntemi***

Daha çok Tier 1 yönteminde kullanılan uluslararası veri tabanlarından alınan emisyon faktörleri yerine, faaliyet verisi kapsamında ülkece belirlenmiş olan emisyon faktörleri kullanılır. Ülkeye özgü emisyon faktörlerinin kullanılması dahilinde belirsizlikler azalacak ve hesaplama değerleri daha sağlıklı sonuç verecektir.

- ***Tier 3 hesaplama yöntemi***

Tier 3 ise Tier 1 ve Tier 2' ye göre daha spesifik veriler, ölçümler ve değerlendirmeler gerektirmektedir. Tier 3 yönteminde kullanılan emisyon faktörleri, belirleme aşamasındaki kullanılan teknoloji, modeller ve ölçümlerle belirlenen tesis bazındaki değerlerdir

Hesaplamalarda kullanılan faaliyet verisi, o kategorinin kullanım, tüketim veya oluşum miktarıdır. Emisyon Faktörü ise, kirletici kaynaklarının atmosfere saldıkları sera gazının ortalama emisyon oranını gösteren katsayıdır. Net kalorifik değer (NKD); bir malzemenin yanması sonucu açığa çıkan enerjidir. Emisyon kaynağının; türü, kaynağı, kullanım teknolojisi gibi birçok unsur emisyon faktörünün belirlenmesinde önemli etkenlerdir. Emisyon faktörleri genellikle kirleticinin ağırlığının birim ağırlık, hacim, mesafe veya kirleticiyi yayan faaliyetin süresine (yakılan megagram kömür başına yayılan partikül kilogramı gibi) bölünmesiyle ifade edilir [75]. Belirli bir kirletici için belirlenen emisyon faktörünün değeri ülkeye, şehire, endüstriye ve hatta aynı endüstriler içerisinde bile değişkenlik gösterebilmektedir. Emisyon envanterlerinin oluşturulması için hava emisyon modellemeleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan spesifik veri tabanları neticesinde emisyon faktörlerinin bulunması mümkündür. Örneğin; EPA tarafından oluşturulan emisyon modelleme yazılımı, zamansal dağılım, mekansal dağılım ve türleştirme yoluyla emisyon envanterlerini hazırlamak için kullanılmaktadır. Zamansal dağılım saatlik emisyonlar üretirken, mekansal dağılım şebeke emisyonlarını üretir ve türleştirme ise türleştirme profilleri ile gerekli kirleticiler için emisyonları hazırlar [76]. Emisyon faktörleri için; Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Emisyon Faktörü Veritabanı

(EFDB) ve United States Environmental Protection Agency (Tanks, Speciate, LandGEM, Water) tarafından kurulan veri tabanları mevcuttur [77].

2.6. Karbon Ayak İzi Hesaplaması Kapsamında Yapılan Çalışmalar

17600 ton kauçuk/yıl üretim kapasitesine sahip bir kauçuk endüstrisi IPCC Tier 1 hesaplama yöntemi ile ham madde tüketimi, atıklar, elektrik ve doğalgaz tüketimleri, taşımacılık faaliyetleri için yakıt tüketimlerini dikkate alarak karbon ayak izi değerinin 55.000.000 kg CO₂e/ yıl olduğunu belirlemiştir. Ham maddeyle orantılı olarak, Kapsam 3 emisyonları en yüksek değere sahiptir. Sonuç olarak ise; sera gazı emisyonlarının minimum düzeye indirilmesi ve karbon salınımının azaltımına yönelik çalışmaların ikincil hammadde tüketimin üzerinde önemli rol oynayabileceği belirtilmektedir [78].

Tekstil Endüstrisinde yapılan karbon ayak izi hesaplaması kapsamında incelenen fabrika için elektrik tüketimi, dizel yakıt tüketimi, atık su oluşumu ve doğal gaz tüketimleri baz alınmıştır. Tier 1 metodolojisi kullanılarak yapılan hesaplamada karbon ayak izi değeri toplam 297.343 ton CO₂e/yıl olarak bulunmuştur, bu değer 173.827 tonu elektrik tüketiminden kaynaklanarak ilk sırada yer almaktadır. Literatür ile kıyaslama yapıldığında değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu, ancak azaltılmasının çevresel açıdan daha iyi olacağı belirtilmiştir [79].

Sreng (2016) tarafından bir otomotiv endüstrisinde yürütülen çalışmada ise, yıllık ortalama üretilen araç miktarı, atık ve atıksu miktarları, araçların sayısı, günlük katettikleri mesafe ve yakıt türleri, toplam elektrik ve doğalgaz tüketimleri hesaplamalara dahil edilmiştir. Tier 1 metodolojisi ile yapılan hesaplama sonucunda karbon ayak izi değeri 3.194.998 ton CO₂e/yıl olup, en yüksek değer toplam üretilen araç için karbon emisyon (üretim sırasında ortaya çıkan emisyon) değeridir dolayısıyla Kapsam 1-Direkt emisyonlar kategorisine aittir. Bu çalışmada ek olarak, bir ağacın karbon tutma kapasitesi 22 kgCO₂/yıl değeri ile tesis içerisinde bulunan 38.000 ağacın toplam tutmuş olduğu karbon değeri de hesaplanmıştır. Yine; yıllık elektrik tüketimi, 250 watt gücündeki güneş enerjisi panelleri, watt başına 0,60 \$ panel maliyeti ile yapılan hesaplamada elektrik üretimi için Güneş enerjisi kullanılırsa 742.571,78 ton

daha az karbon emisyonu sağlayacağı bilgisine ulaşılmıştır. Avrupa Emisyon Ticaret Sistemindeki karbon ticareti dikkate alındığında, ton başına €10 ve azaltılabilecek 742.571,78 ton karbon emisyonu ve ağaçlar tarafından azaltılan karbon emisyonları karbon sertifikasına dönüştürülürse tesis toplamda 7.434.077,78 € kazanacaktır. Otomotiv sektöründe karbon salınımının azaltılması için; araç ağırlıklarının azaltılması ve üretimde ağır metaller yerine daha hafif metaller ve malzemelerin kullanılması, elektrik üretimi için güneş enerjisi kullanılmasının, fabrika alanındaki yeşil alanların artırılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir [80].

24.000 ton/yıl kapasiteye sahip kağıt-karton geri dönüşüm endüstrisinde Tier 1 metodolojisi ile karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken tedarikçilerden temin edilen hammaddenin tesise taşınması ve gerçekleştirilen üretim dikkate alınmıştır. Yıllık doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi, hammadde temininde tüketilen ve şirket araçlarında kullanılan toplam yakıt tüketimi, tesiste metal kesim işlemlerinde kullanılan LPG (Likit Petrol Gazı) değerleri ile yapılan hesaplama neticesinde kg ürün başına oluşan CO₂e emisyon miktarı 0,625' tir. En fazla emisyon elektrik tüketiminde olduğu için kuruluş özelinde; ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi kurulması, tesis içi elektrikli ekipmanlar açısından A+ enerji verimliliğine sahip ekipmanların kullanılması, aydınlatma için LED olanların tercih edilmesi ve enerji hakkında bilincin artırılması önerilmektedir. Motorin tüketiminin azaltılması için de hammaddenin taşınmasından kaynaklanan emisyonun fazla olması sebebiyle bu amaçla kullanılan araçlarda Euro 6 standardına uygun olanlar tercih edilmesi önerilmektedir [81].

2015-2018 yılları için karayolu ulaşımı kaynaklı fosil yakıt tüketimi sebebiyle meydana gelen karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama için Tier 1 ve Tier 2 metodolojisi kullanılmıştır. Veriler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Petrol ve LPG Piyasası Sektör Raporlarından alınmıştır. Tier 1 yönteminde; yakıt tüketimleri, emisyon faktörleri dikkate alınmıştır. Tier 2 yönteminde ise yakıt tüketimi yerine taşıtların kat ettikleri yol mesafeleri gereklidir. Bu yöntemde taşıtların türü, akaryakıt türleri ve emisyon kontrol teknolojilerine göre kategorize edilir. Veriler yıllara göre değerlendirildiğinde; motorin 188844.75 ton ile 2017 yılında, benzin her

yıl artışıyla 26819.57 ton ile 2018 yılında ve LPG (otogaz) ise 22206.395 ton ile 2016 yılından en yüksek tüketim değerinde olduğu görülmüştür. Hesaplamalar neticesinde karbon ayak izi değeri; CO₂e değeri 758.895 gigagram (Gg) değeri ile 2017 yılında en yüksek değerine, en düşük değerine ise 701.435 Gg ile 2015 yılında ulaşmıştır. 2017 yılında yüksek olmasının sebebi tüketilen motorin miktarının 2017 yılında en yüksek değerine sahip olmasıdır. Çanakkale’ de trafiğe kayıtlı araç verileri TÜİK’ ten alınmıştır. Sonraki aşama araçların kat ettikleri yola göre tüketilen yakıt değerleridir, bunun için IPCC kılavuzundan, araçların kategorisine göre her 100 km’ de tükettiği yakıt değerleri için veri temini yapılmıştır. Sonraki aşamada yıllık toplam menzil gerekmektedir, bu veri ise ülkemizdeki toplam yakıt tüketimi araç sayısı ve 100 km’ de kat ettikleri yol ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Tier 1 ve Tier 2 değerleri karşılaştırıldığında sonuçların orantılı olduğu görülmüştür. En fazla karbon salınımı kamyon araçlarından, en düşük ise benzinli yakıtlı otomobillerden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, hibrit teknolojisine sahip araçların kullanımının artırılması karbon emisyon salınımını azaltacağı öngörülmektedir [82].

2015 yılında Türkiye’ nin karbon ayak izi için yapılan çalışma verileri, ülkelerin yıllık olarak hesaplamasını yapan Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network) verilerinden alınmıştır. Türkiye’de; elektrik tüketimi %26’ lık pay ile karbon ayak izini oluşturan etkenlerde en fazla değere sahiptir. İkinci sırada %22’lik pay ile imalat sanayii ve inşaat, üçüncü sırada %16’lık pay ile ithalat ve sonrasında %15’lik pay ile ulaştırma şeklinde devam etmektedir [83].

Volkswagen her yıl raporladığı Sürdürülebilirlik Raporun’ da Karbon ayak izi değerine de yer vermektedir. 2021 yılı sürdürülebilirlik raporuna göre; hesaplanan karbon ayak izi CO₂ değeri 6,1 milyon metrik tondur. Bu da dekarbonizasyon endeksine bağlı her araç için 0,9 metrik ton CO₂’dir [84].

Ford Otosan 2021 yılı Sürdürülebilirlik raporuna bakıldığında, 2018 yılında 199.0070,32 ton CO₂e olan karbon ayak izi değeri 2019 yılından sonra giderek azalma göstererek 2021 yılında 89.843 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, üretilen araç başına düşen CO₂e salınımı da aynı oranda olup, 2021 yılı değeri 0,258

ton CO₂e'dir. 2021 yılında 946.317,59 GJ yenilenebilir enerji tedariki ile 113.847,26 ton CO₂e sera gazı salınımını azaltmışlardır. Eskişehir fabrikasında, Solarwall ile Proses Havası Isıtması projesi ile 326,68 ton Co₂e emisyon salınımının engellenmesi sağlanmıştır. Gölcük fabrikasında ise Solarwall ile Kaynak Atölyesi Ortam Hava Isıtma Projesi ile 738,88 ton CO₂e emisyonunun önüne geçilmiştir. Yine, Yeniköy fabrikasında Boyahane Prosesinde Hava Isıtma Projesi ile 256,96 ton CO₂e emisyon salınımının önüne geçilmiştir [85].



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Makine Yedek Parça İmalatı Yapan Bir Tesis ve Üretim Faaliyeti

İmalat sektörü içerisinde makine ve makine yedek parçası imalat sektörü önemli bir konumda yer almaktadır. Makine imalat sektörünün ilk temelleri Cumhuriyet Dönemi'nde atılmıştır. Sanayi sektörleri içerisinde makine imalat sanayi 1970'lerden sonra Türkiye' de önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Türkiye' de maliyet açısından makine imalatı değeri 20 milyar € olup, Avrupa' daki ülkelerin toplam imalatının %5'i değerindedir. Türkiye makine imalatı açısından Avrupa' daki ülkeler arasında 6. sırada bulunmaktadır [86].

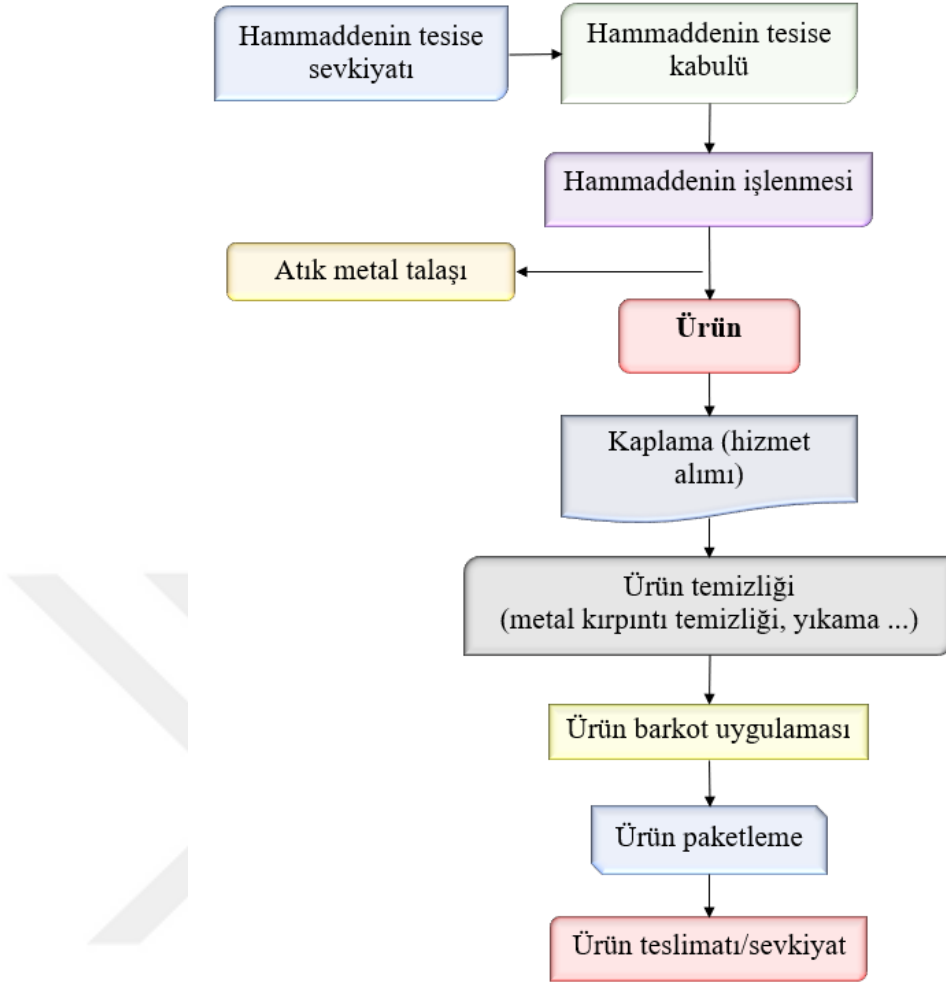
Yedek Parça, ürün içerisinde bulunan ve arızalanması, bozulması durumunda kullanım ömrü dolması sebebiyle yenilenebilen, öncesinde mevcut olan parçalardır. Bir makinenin bütün hale gelmesi için o makinenin yedek parçaları, aksesuarları, aksamaları ve diğer teçhizatları da önem arz gerekmektedir. Makine imalatı üretiminin aksamaması, üretim hedeflerinin sağlanması için yedek parçanın seri üretiminin sağlanması oldukça önemlidir. Makinelerin satışından sonra müşteri memnuniyeti ve rekabet üstünlüğü sağlamak amacıyla yedek parçalarının bulundurulması ve bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir [87].

Bu tez kapsamında İzmir ilinde makine yedek parça imalatı yapan bir işletmenin karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Tesis otomotiv, havacılık, medikal ve gıda sektörlerine yedek parça üretimi gerçekleştirmektedir. Tesisin üretim faaliyetine ve ürünlerine ait görseller Şekil 3.1'de verilmiştir. Yedek parça kapsamında, talep edilen siparişe göre motor dişlisi, alüminyum pim holder (diş sektörü), enjektör valfi üretimi gibi ürünlerde fason üretim gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.1. Tesise ait görseller

Hammadde olarak tesise tedarikçi tarafından gönderilen gelen çelik, alüminyum pirinç, krom, plastik ürünler ilgili makinelerde işlenerek talaşlı imalat yöntemiyle üretim faaliyeti gerçekleştirilir. Makine ve ekipmanlar ile malzeme işlenip kaplama ve temizlik işlemlerinden sonra talep edilen ürüne uygun hale getirilmektedir. Hammadde tedariki ve ürünlerin sevkiyatı zaman zaman tesisin kendine ait aracıyla sağlanmaktadır. Tesiste ayda ortalama 32.000 adet yedek parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen faaliyet sonrasında tesiste plastik, kağıt, atık yağ ve atık metal talaşı gibi atıklar oluşmaktadır. Tesise ait iş akış şeması Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Tesise ait iş akış şeması

3.2.Tesisin Faaliyet Verilerinin Belirlenmesi ve Çalışmanın Kapsamı

Tesis 300 m²'lik bir alanda yılda ortalama 227 gün çalışarak faaliyetini gerçekleştirmektedir. İşletmenin karbon ayak izi oluşumuna sebep olan faktörleri; elektrik tüketimi, su tüketimi, personelin ulaşımı, ürün sevkıyatı, hammadde temini sebebiyle yakıt tüketimi, atık ve atıksu oluşumu şeklindedir. Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Ek-5, Hesaplama Faktörleri İçin Referans Değerler başlığı altında yer alan Proses Emisyonları ile İlgili Emisyon Faktörleri, işletmelerin faaliyetleri doğrultusunda oluşan özel emisyonlara yer vermektedir. Teze konu olan imalat sektöründe yer alan işletmenin üretim faaliyeti gereğince oluşan özel bir emisyon kaynağı bulunmamaktadır.

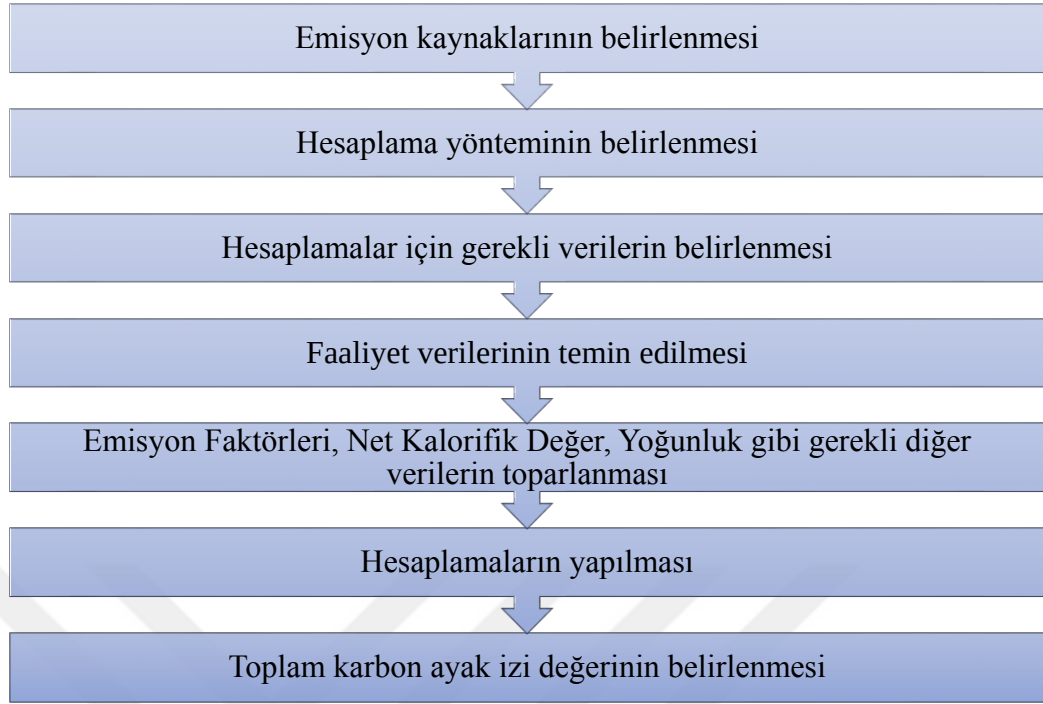
Tesis faaliyetini şebekeden elektrik enerjisi temini ile devam ettirmektedir. Elektrik tüketimi işletmede yer alan makine teçhizatlarından, aydınlatma ve ısınma kaynaklı kullanılan klima ve elektrikli ısıtıcılardan, tesisteki bilgisayar kullanımından kaynaklanmaktadır. Başlıca makine ekipmanlar, CNC torna ve işleme tezgâhları, frezeleme ekipmanları, lazer markalama ekipmanlarıdır. Tesiste elektrik kullanımına sebep olan makine ve ekipmanlar Tablo 3.1.' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tesiste elektrik tüketimine neden olan makine ve ekipmanlar

Makine/ekipman	Adet
CNC Torna Tezgahı	1
CNC İşleme Merkezi	1
Kompresör	1
Matkap	2
Freze	1
Fiber lazer markalama	1
Klima	1
Elektrikli Isıtıcı	1
Bilgisayar	3

Yakıt tüketimi, işletme sahibinin işletmeye gidip gelirken kullandığı şahsi araç sebebiyle ve işletme tarafından tedarik edilen hammadde ve yine işletme tarafından sevk edilen ürünler sebebiyle olmaktadır, araçların yakıt türü dizeldir. Tesiste işletme sahibi hariç diğer çalışanlar toplu taşıma aracı ile tesise gidip gelmektedir. İşletmede evsel amaçlı ve endüstriyel amaçlı su tüketimi mevcuttur. Endüstriyel amaçlı su tüketimi soğutma sıvısı olarak suyun su bazlı yağ ile karıştırılması sebebiyle olmaktadır. Tüketilen evsel ve endüstriyel amaçlı su sebebiyle atıksu oluşumu mevcuttur. Atık oluşumu kısmında, endüstriyel atık olarak atık metal talaşı ve atık yağ oluşmaktadır. Buna ek olarak oluşan diğer atıklar ise kağıt-karton atıklar, plastik atıklardır. İşletmede hesaplama yapılan yıllar içerisinde yangın tüpü ve mutfak tüpü kullanılmamıştır. Tesiste genel olarak jeneratör kullanımı bulunmamaktadır.

Tesisin 2021, 2022 ve 2023 yılları için karbon ayak izi salınımına neden olan emisyon kaynakları kapsamında hesaplamalar yapılmıştır. Karbon ayak izi hesaplaması için Şekil 3.3'de verilen adımlar izlenmiştir.



Şekil 3.3. Karbon ayak izi hesaplama adımları

Tesisin karbon emisyonuna oluşumuna sebep olan faktörlerinin ISO 14064:2018 ve GHG Protokolüne göre sınıflandırması ise Tablo 3.2’de listelenmiştir.

Tablo 3.2. Faaliyet verilerinin GHG protokolü ve ISO 14064-1:2018’ e göre dağılımı

Kapsamlar	GHG Protokolü	Kategori	ISO 14064-1:2018
Kapsam 1	Yakıt Tüketimi	Kategori 1	-
Doğrudan Emisyon		Kategori 2	Elektrik
		Kategori 3	Yakıt Tüketimi
Kapsam 2		Kategori 4	Su Tüketimi
Dolaylı Emisyonlar	Elektrik		Atık
			Atıksu
Kapsam 3	Atık	Kategori 5	-
Diğer Dolaylı Emisyonlar	Atıksu	Kategori 6	-
	Su Tüketimi		

Hesaplama IPCC Tier 1 metodolojisi kullanılmıştır. Emisyon oluşumuna sebebiyet veren faaliyet verilerinin 2021, 2022 ve 2023 yılları için tüketim veya oluşum miktarları Tablo 3.3’de verilmiştir:

Tablo 3.3. Yıllara dayalı faaliyet verileri

Faaliyet Verileri		2021	2022	2023	Birim
Toplam personel sayısı		4	4	4	kişi
Toplam çalışılan gün		249	202	230	gün
Fabrika toplam alanı		300	300	300	m ²
Elektirik Tüketimi	Makine, ekipman, teçhizatlardan kaynaklı	16200	14800	15200	kWh
	Isınmadan kaynaklı	1600	1500	1400	kWh
Yakıt Tüketimi	Personel aracı	930	950	900	litre
	Toplu taşıma aracı	747	808	920	litre
	Hammadde temini	320	290	310	litre
	Ürün sevkiyatı	180	190	180	litre
Su Tüketimi		82	70	78	m ³
Atıksu		52	49	58	m ³
Atık Oluşumu	Atık yağ	600	600	550	litre
	Kağıt karton atık miktarı	4	5	4	kg
	Plastik atık miktarı	10	12	11	kg
	Atık metal talaşı	7500	7200	7500	kg

Emisyon oluşumuna sebebiyet veren faaliyet verilerine karşılık gelen, karbon emisyonu hesaplaması için kullanılacak olan emisyon faktörleri için çoğunlukla IPCC ve DEFRA ulusal veri tabanları kullanılmış olup elektrik emisyon faktörü verisi için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü kullanılmıştır [88]. Tablo 3.4’de kullanılan emisyon faktörleri listelenmiştir.

Tablo 3.4. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri

Faaliyet Verileri		Emisyon Faktörü	Birim
Elektrik Tüketimi		0,368	tCO ₂ /MWh [88]
Dizel Yakıt Tüketimi	CO ₂	74100	kgCO ₂ /TJ [89]
	CH ₄	3,9	kgCH ₄ /TJ [89]
	N ₂ O	3,9	kgN ₂ O/TJ [89]
Su Tüketimi		0,149	kgCO ₂ / m ³ [90]
Atıksu	CH ₄	0,3	kg CH ₄ / m ³ [91]
	N ₂ O	0,005	kg N ₂ O-N/kg N [92]
Atık Oluşumu	Atık yağ	21,28	kgCO ₂ /ton [90]
	Kağıt karton	21,28	kgCO ₂ /ton [90]
	Plastik atık	21,28	kgCO ₂ /ton [90]
	Atık metal talaşı	21,28	kgCO ₂ /ton [90]

Faaliyet verisine göre meydana gelen emisyon gazı değişkenlik gösterebilmektedir. Üç temel gaz olan CO₂, CH₄ ve N₂O çeşitli faaliyetler sonucu meydana gelebilmektedir. Karbon emisyonu hesaplamasında tüm kaynakların sonuçları tCO₂e cinsinden hesaplanması için, Tablo 2.1.'de IPCC Altıncı Değerlendirme Raporunda yer alan gazların ısı tutma kapasitelerine bağlı olan küresel ısınma potansiyelleri hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Net Kalorifik Değeri, Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Ek-5'ten alınmıştır [93]. Motorin için kullanılan Net Kalorifik Değeri 43 TJ/Gg'dır. Motorin için kullanılan yakıt yoğunluk değeri, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Resmi İstatistikler sayfasından alınmıştır [94]. Bildirime esas kullanılacak yoğunluk değeri 0,833 ton/m³'tür.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, İzmir ilinde makine yedek parça imalatı faaliyetinde bulunan bir işletmenin 2021, 2022 ve 2023 yılları için karbon emisyonunun hesaplanması ve azaltılmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Karbon emisyonunun hesaplanmasında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Tesis özelindeki hesaplamalar Tablo 3.3.' de verilen faaliyet verileri çerçevesinde yapılmıştır.

4.1. Karbon Emisyonu Miktarının Belirlenmesi

4.1.1. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin Temiz Kalkınma Mekanizması Tool 07-V07.0 yöntemi kullanılarak belirlenen Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi emisyon faktörü 0,368 tCO₂/MWh değeri kullanılarak yapılan hesaplamada CO₂ emisyon değerleri 2021, 2022 ve 2023 yılları için makine/ekipman/teçhizat kullanımı ve ısınma kaynaklı olarak iki başlık altında hesaplanmıştır.

2021 yılı için;

2021 yılında makine, ekipman, teçhizat kullanımından kaynaklı elektrik tüketim miktarı 16200 kWh, ısınma kaynaklı elektrik tüketim miktarı ise 1600 kWh'dir.

- *Makine, ekipman, teçhizatlardan kaynaklı,*

$$\frac{16200 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}}}{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MWh}}} = 5,96 \text{ tCO}_2$$

- *Isınmadan kaynaklı,*

$$\frac{1600 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}}}{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MWh}}} = 0,58 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2021 yılında tüketilen elektrik sebebi ile oluşan toplam CO₂ emisyon değeri,
5,95 + 0,58 = 6,55 tCO₂

2022 yılı için;

2022 yılında makine, ekipman, teçhizat kullanımından kaynaklı elektrik tüketim miktarı 14800 kWh, ısınma kaynaklı elektrik tüketim miktarı ise 1500 kWh'dir.

- *Makine, ekipman, teçhizat kullanımından kaynaklı,*

$$\frac{14800 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}}}{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MWh}}} = 5,45 \text{ tCO}_2$$

- *Isınma kaynaklı,*

$$\frac{1500 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}}}{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MWh}}} = 0,55 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2022 yılında elektrik tüketimi ile oluşan toplam CO₂ emisyon değeri,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 5,45 + 0,55 = 6,00 \text{ tCO}_2$$

olur.

2023 yılı için;

2023 yılında makine, ekipman, teçhizat kullanımından kaynaklı elektrik tüketim miktarı 15200 kWh, ısınma kaynaklı elektrik tüketim miktarı ise 1400 kWh'dir.

- *Makine, ekipman, teçhizat kullanımından kaynaklı,*

$$\frac{15200 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}}}{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{MWh}}} = 5,59 \text{ tCO}_2$$

- Isınma kaynaklı,

$$\frac{1400 \text{ kWh} \times 0.368 \frac{tCO_2}{MWh}}{1000 \frac{kWh}{MWh}} = 0,52 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2023 yılında elektrik tüketimi ile oluşan toplam CO₂ emisyon değeri,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 5,59 + 0.52 = 6,11 \text{ tCO}_2$$

olur.

2021, 2022 ve 2023 yıllarında elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam CO₂ emisyon değeri ise,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 6,55 + 6,00 + 6,11 = 18,66 \text{ tCO}_2$$

olarak hesaplanır.

4.1.2. Yakıt Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu

Yakıt tüketiminden kaynaklı karbon emisyonu hesaplaması için yakıta ait net kalorifik değeri ve yoğunluk değeri gerekmektedir. Yakıtın türüne göre net kalorifik değeri 43 TJ/Gg, yoğunluk ise 0,833 ton/m³'tür. Yakıt tüketiminden kaynaklı CO₂ emisyon değerleri CO₂ için 74100 kg CO₂/TJ, CH₄ için 3,9 kg CH₄/TJ ve N₂O için 3,9 kg N₂O/TJ emisyon faktörleri kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılları için personel aracı, çalışanların tesise geliş ve gidişleri (toplu taşıma aracı) hammadde ve ürün sevkiyatı kaynaklı olarak dört başlık altında hesaplanmıştır.

2021 yılı için;

Tesiste 2021 yılında personel aracı kullanımı kaynaklı 930 litre dizel yakıt tüketimi olmuştur. İşletme sahibi harici işletmeye ulaşım amacıyla toplu taşıma kullanan personellerden dolayı ulaşım mesafesi dikkate alınarak 747 litre yakıt tüketimi mevcuttur. Ek olarak; hammadde temini kaynaklı 320 litre ve ürün sevkiyatı kaynaklı 180 litre dizel yakıt tüketimi mevcuttur.

CO₂ emisyonu;

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{930 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 2,46 \text{ tCO}_2$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{747 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 1,98 \text{ tCO}_2$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{320 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,85 \text{ tCO}_2$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{180 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,48 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2021 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCO₂ emisyon değeri,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 2,46 + 1,98 + 0,85 + 0,48 = 5,78 \text{ tCO}_2$$

olur.

CH₄ emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{930 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000129 \text{ tCH}_4$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{747 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000104 \text{ tCH}_4$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{320 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000045 \text{ tCH}_4$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{180 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000025 \text{ tCH}_4$$

Tesiste 2021 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCH₄ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CH}_4 \text{ emisyonu} &= 0,000129 + 0,000104 + 0,000045 + 0,000025 \\ &= 0,000304 \text{ tCH}_4 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.

Tablo 2.2.'de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre, CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,008485 tCO₂ olur.

N₂O emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{930 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000129 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{747 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000104 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{320 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000045 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{320 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000025 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tesiste 2021 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tNO₂ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam N}_2\text{O emisyonu} &= 0,000129 + 0,000104 + 0,000045 + 0,000025 \\ &= 0,000304 \text{ tN}_2\text{O} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.1.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre, N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,083023 tCO₂ olur.

Tesiste 2021 yılı için yakıt tüketimi kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 5,78 + 0,008485 + 0,083023 = 5,87 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

2022 yılı için;

Tesiste 2022 yılında personel aracı kullanımı kaynaklı 950 litre dizel yakıt tüketimi olmuştur. İşletme sahibi harici işletmeye ulaşım amacıyla toplu taşıma kullanan

personellerden dolayı ulaşım mesafesi dikkate alınarak 808 litre yakıt tüketimi mevcuttur. Ek olarak; hammadde temini kaynaklı 290 litre ve ürün sevkiyatı kaynaklı 190 litre dizel yakıt tüketimi mevcuttur.

CO₂ emisyonu;

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{950 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 2,52 \text{ tCO}_2$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{808 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 2,14 \text{ tCO}_2$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{290 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,77 \text{ tCO}_2$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{190 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,50 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2022 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCO₂ emisyon değeri,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 2,52 + 2,14 + 0,77 + 0,50 = 5,94 \text{ tCO}_2$$

olur.

CH₄ emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{950 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000133 \text{ tCH}_4$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{808 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000113 \text{ tCH}_4$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{290 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000041 \text{ tCH}_4$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{190 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000027 \text{ tCH}_4$$

Tesiste 2022 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCH₄ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CH}_4 \text{ emisyonu} &= 0,000133 + 0,000113 + 0,000041 + 0,000027 \\ &= 0,000313 \text{ tCH}_4 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.2’de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre, CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,008723 tCO₂ olur.

N₂O emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{950 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000133 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{808 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000113 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{290 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000041 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{190 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000027 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tesiste 2022 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tNO₂ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam N}_2\text{O emisyonu} &= 0,000133 + 0,000113 + 0,000041 + 0,000027 \\ &= 0,000313 \text{ tN}_2\text{O} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.2.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre, N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0.085349 tCO₂ olur.

Tesiste 2022 yılı için yakıt tüketimi kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 5,94 + 0,008723 + 0,085349 = 6,03 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

2023 yılı için;

Tesiste 2023 yılında personel aracı kullanımı kaynaklı 900 litre dizel yakıt tüketimi olmuştur. İşletme sahibi harici işletmeye ulaşım amacıyla toplu taşıma kullanan personellerden dolayı ulaşım mesafesi dikkate alınarak 920 litre yakıt tüketimi mevcuttur. Ek olarak; hammadde temini kaynaklı 310 litre ve ürün sevkiyatı kaynaklı 180 litre dizel yakıt tüketimi mevcuttur.

CO₂ emisyonu;

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{900 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 2,39 \text{ tCO}_2$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{920 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 2,44 \text{ tCO}_2$$

- *Hammadde temini kaynaklı,,*

$$\frac{310 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,82 \text{ tCO}_2$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{180 \text{ L} \times 74100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,48 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2023 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCO₂ emisyon değeri,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 2,39 + 2,44 + 0,82 + 0,48 = 6,13 \text{ tCO}_2$$

olur.

CH₄ emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{900 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000126 \text{ tCH}_4$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{920 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000129 \text{ tCH}_4$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{310 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000043 \text{ tCH}_4$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{180 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000025 \text{ tCH}_4$$

Tesiste 2023 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tCH₄ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CH}_4 \text{ emisyonu} &= 0,000126 + 0,000129 + 0,000043 + 0,000025 \\ &= 0,000323 \text{ tCH}_4 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.2’de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre, CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,009003 tCO₂ olur.

N₂O emisyonu,

- *Personel aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{900 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000126 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Toplu taşıma aracı kullanımı kaynaklı,*

$$\frac{920 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000129 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Hammadde temini kaynaklı,*

$$\frac{310 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000043 \text{ tN}_2\text{O}$$

- *Ürün sevkiyatı kaynaklı,*

$$\frac{180 \text{ L} \times 3,9 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \times 0,833 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 43 \frac{\text{TJ}}{\text{Gg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2} \times 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{Gg}}} = 0,000025 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tesiste 2023 yılında tüketilen yakıt sebebi ile oluşan tNO₂ emisyon değeri,

$$\begin{aligned} \text{Toplam N}_2\text{O emisyonu} &= 0,000126 + 0,000129 + 0,000043 + 0,000025 \\ &= 0,000323 \text{ tN}_2\text{O} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Tablo 2.2.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre, N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,088095 tCO₂ olur.

Tesiste 2023 yılı için yakıt tüketimi kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 6,13 + 0,009003 + 0,088095 = 6,23 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

Tesiste 2021, 2022 ve 2023 yıllarında yakıt tüketimi kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 5,87 + 6,03 + 6,23 = 18,13 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

4.1.3. Su Tüketimi Kaynaklı Karbon Emisyonu

Su tüketiminden kaynaklı CO₂ emisyon değerleri 0,149 kgCO₂/m³ emisyon faktörü kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılları için hesaplanmıştır.

2021 yılı için;

Tesiste 2021 yılında 82 m³ su tüketimi olmuştur.

$$\frac{82 \text{ m}^3 \times 0,149 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,012 \text{ tCO}_2$$

2022 yılı için;

Tesiste 2022 yılında 70 m³ su tüketimi olmuştur.

$$\frac{70 \text{ m}^3 \times 0,149 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,01 \text{ tCO}_2$$

2023 yılı için;

Tesiste 2021 yılında 78 m³ su tüketimi olmuştur.

$$\frac{78 \text{ m}^3 \times 0,149 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,012 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2021, 2022 ve 2023 yıllarında su tüketimi kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 0,012 + 0,01 + 0,012 = 0,034 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

4.1.3. Atıksu Kaynaklı Karbon Emisyonu

Atıksu oluşumu kaynaklı CO₂ emisyon değeri CH₄ için 0,3 kg CH₄ /m³ ve N₂O için 0,005 kg N₂O N/kg N emisyon faktörleri kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılları hesaplanmıştır. N₂O emisyonu hesaplamasında oluşan atıksu miktarı ve emisyon faktörünün yanı sıra, dönüşüm faktörü olarak, kg N₂O-N değerinin kg N₂O dönüşüm faktörü olarak 44/28 değeri hesaplamalara dahil edilir.

2021 yılı için;

Tesiste 2021 yılında 52 m³ atıksu oluşmuştur.

- CH₄ Emisyonu,

$$\frac{52 \text{ m}^3 \times 0,3 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{tCH}_4}} = 0,0156 \text{ tCH}_4$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,4352 tCO₂ olarak hesaplanır.

- N₂O Emisyonu,

$$\frac{52 \text{ m}^3 \times 0,005 \frac{\text{kgN}_2\text{O-N}}{\text{m}^3} \times \frac{44}{28}}{1000 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{tN}_2\text{O}}} = 0,000409 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,1115 tCO₂ olarak hesaplanır.

Tesiste 2021 yılı için atıksu oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,
$$0,4352 \text{ tCO}_2 + 0,1115 \text{ tCO}_2 = 0,5467 \text{ tCO}_2$$

olur.

2022 yılı için;

Tesiste 2022 yılında 49 m³ atıksu oluşmuştur.

- *CH₄ Emisyonu,*

$$\frac{49 \text{ m}^3 \times 0,3 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{tCH}_4}} = 0,0147 \text{ tCH}_4$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,4101 tCO₂ olarak hesaplanır.

- *N₂O Emisyonu,*

$$\frac{49 \text{ m}^3 \times 0,005 \frac{\text{kgN}_2\text{O-N}}{\text{m}^3} \times \frac{44}{28}}{1000 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{tN}_2\text{O}}} = 0,00039 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,1051 tCO₂ olarak hesaplanır.

Tesiste 2022 yılı için atıksu oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,
$$0,4101 \text{ tCO}_2 + 0,1051 \text{ tCO}_2 = 0,5152 \text{ tCO}_2$$

olur.

2023 yılı için;

Tesiste 2022 yılında 58 m³ atıksu oluşmuştur.

- *CH₄ Emisyonu,*

$$\frac{58 \text{ m}^3 \times 0,3 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{tCH}_4}} = 0,0174 \text{ tCH}_4$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere CH₄ emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 27,9 katıdır. Buna göre CH₄ emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,4854 tCO₂ olarak hesaplanır.

- *N₂O Emisyonu,*

$$\frac{58 \text{ m}^3 \times 0,005 \frac{\text{kgN}_2\text{O-N}}{\text{m}^3} \times \frac{44}{28}}{1000 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{tN}_2\text{O}}} = 0,00046 \text{ tN}_2\text{O}$$

Tablo 2.2.' de verildiği üzere N₂O emisyonunun Küresel Isınma Potansiyeli CO₂ emisyonunun 273 katıdır. Buna göre N₂O emisyonundan kaynaklı CO₂ eşdeğeri 0,1244 tCO₂ olarak hesaplanır.

Tesiste 2023 yılı için atıksu oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$0,4854 \text{ tCO}_2 + 0,1244 \text{ tCO}_2 = 0,6098 \text{ tCO}_2$$

olur.

Tesiste 2021, 2022 ve 2023 yıllarında atıksu oluşumu kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 0,5467 + 0,5152 + 0,6098 = 1,6718 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

4.1.4. Atık Oluşumu Kaynaklı Karbon Emisyonu

Atık oluşumu kaynaklı karbon emisyonu değerleri kullanılarak 2021, 2022 ve 2023 yılları için tehlikeli atıklar, kâğıt-karton atıkları, plastik atıklar ve hurma metal atıkları kaynaklı olarak dört başlık altında hesaplanmıştır. Emisyon faktörleri tehlikeli atıklar için 21,28 kgCO₂/ton, kâğıt-karton atıkları için 21,28 kgCO₂/ton, plastik atıklar için 21,28 kgCO₂/ton ve hurda metal atıkları için 21,28 kgCO₂/ton kullanılmıştır.

2021 yılı için,

- *Tehlikeli atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste oluşan tehlikeli atıkların 2021 yılında oluşan miktarı 600 litredir.

$$\frac{600 \text{ litre} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ litre}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,0127 \text{ tCO}_2$$

- *Kağıt- karton atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2021 yılında oluşan kağıt-karton atık miktarı 4 kg'dır.

$$\frac{4 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,000085 \text{ tCO}_2$$

- *Plastik atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2021 yılında oluşan plastik atık miktarı 10 kg'dır.

$$\frac{10 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,00021 \text{ tCO}_2$$

- *Hurda metal atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2021 yılında oluşan hurda metal atık miktarı 7500 kg'dır.

$$\frac{7500 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,15 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2021 yılında atık oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} &= 0,0127 + 0,000085 + 0,00021 + 0,15 \\ &= 0,1726 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

olarak belirlenir.

2022 yılı için,

- *Tehlikeli atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste oluşan tehlikeli atıkların 2022 yılında oluşan miktarı 600 litredir.

$$\frac{600 \text{ litre} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ litre}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,0127 \text{ tCO}_2$$

- *Kağıt- karton atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2022 yılında oluşan kağıt-karton atık miktarı 5 kg'dır.

$$\frac{5 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,000106 \text{ tCO}_2$$

- *Plastik atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2022 yılında oluşan plastik atık miktarı 12 kg'dır.

$$\frac{12 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,00025 \text{ tCO}_2$$

- *Hurda metal atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2022 yılında oluşan hurda metal atık miktarı 7200 kg'dır.

$$\frac{7200 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,15 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2022 yılında atık oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} &= 0,0127 + 0,000106 + 0,00025 + 0,15 \\ &= 0,1663 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

olarak belirlenir.

2023 yılı için,

- *Tehlikeli atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste oluşan tehlikeli atıkların 2023 yılında oluşan miktarı 550 litredir.

$$\frac{550 \text{ litre} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ litre}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,0117 \text{ tCO}_2$$

- *Kağıt- karton atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2023 yılında oluşan kâğıt-karton atık miktarı 4 kg'dır.

$$\frac{4 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,000085 \text{ tCO}_2$$

- *Plastik atık oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2023 yılında oluşan plastik atık miktarı 11 kg'dır.

$$\frac{11 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,00023 \text{ tCO}_2$$

- *Hurda metal atıkları oluşumu kaynaklı,*

Tesiste 2023 yılında oluşan hurda metal atık miktarı 7500 kg'dır.

$$\frac{7500 \text{ kg} \times 21,28 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}}{1000 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tCO}_2}} = 0,15 \text{ tCO}_2$$

Tesiste 2023 yılında atık oluşumu kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\begin{aligned} \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} &= 0,0117 + 0,000085 + 0,00023 + 0,15 \\ &= 0,1716 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

olarak belirlenir.

Tesiste 2021, 2022 ve 2023 yıllarında atık oluşumu kaynaklı oluşan toplam CO₂ emisyon miktarı,

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = 0,1726 + 0,1663 + 0,1716 = 0,5106 \text{ tCO}_2$$

olarak belirlenir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde işletmenin faaliyet verilerine ilişkin karbon emisyon miktarları 2021, 2022 ve 2023 yılları için sırasıyla Tablo 4.1 4.2 ve 4.3.'da listelenmiştir. CO₂, CH₄ ve N₂O miktarları ton cinsinden hesaplanmıştır. CH₄ ve N₂O miktarları küresel ısınma potansiyelleri dahilinde eşdeğer karbondioksit değerine (tCO_{2e}) çevrilmiştir. Faaliyet verilerinden kaynaklı emisyon değerleri sonuç olarak tCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Tüm yıllar için hesaplanan karbon emisyonu değerlerinde en yüksek paya sahip olan faaliyet elektrik tüketimidir. Bunu yakıt tüketimi takip etmektedir. Diğer faaliyet verilerinden kaynaklanan karbon emisyonu değerlerinin ise elektrik tüketimi ve yakıt tüketimine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. 2021 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri

Faaliyet Verileri		Karbon Emisyonu Değeri			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(tCO _{2e} /yıl)
Elektrik Tüketimi	Makine, ekipman, teçhizatlardan kaynaklı	5,96	-	-	6,55
	Isınmadan kaynaklı	0,58	-	-	
Yakıt Tüketimi	Personel aracı	2,46	0,000129	0,000129	5,87
	Toplu taşıma aracı	1,98	0,000104	0,000104	
	Hammadde temini	0,85	0,000045	0,000045	
	Ürün sevkiyatı	0,48	0,000025	0,000025	
Su Tüketimi		0,012	-	-	0,012
Atıksu		-	0,0156	0,000409	0,5467
Atık Oluşumu	Tehlikeli atık	0,0127	-	-	0,1726
	Kağıt karton	0,000085	-	-	
	Plastik	0,00021	-	-	
	Hurda metal	0,15	-	-	
Toplam					13,15

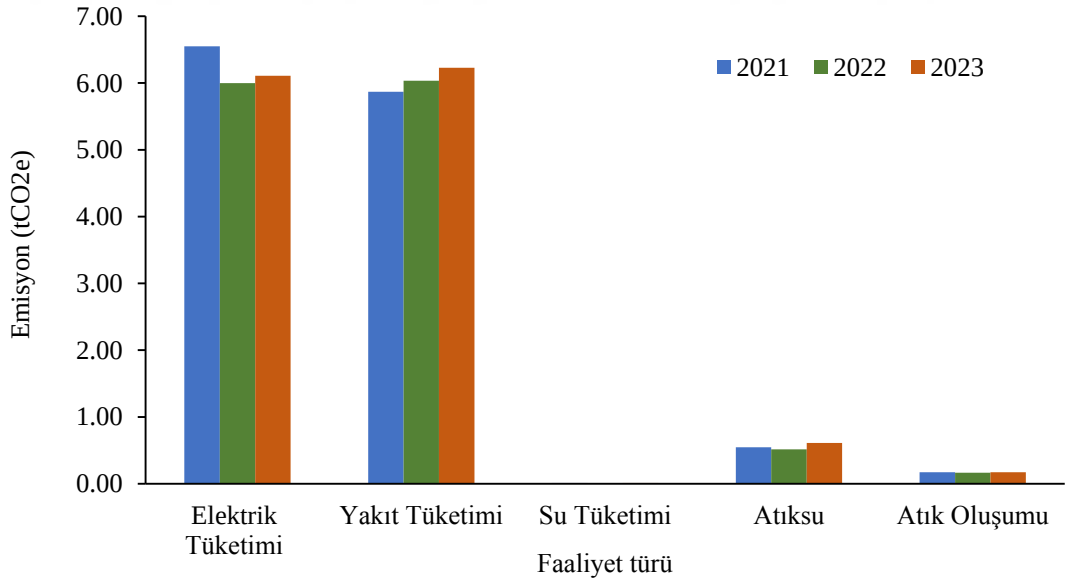
Tablo 4.2. 2022 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri

Faaliyet Verileri		Karbon Emisyonu Değeri			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(tCO _{2e} /yıl)
Elektrik Tüketimi	Makine, ekipman, teçhizatlardan kaynaklı	5,45	-	-	6
	Isınmadan kaynaklı	0,55	-	-	
Yakıt Tüketimi	Personel aracı	2,52	0,000133	0,000133	6,03
	Toplu taşıma aracı	2,14	0,000113	0,000113	
	Hammadde temini	0,77	0,000041	0,000041	
	Ürün sevkiyatı	0,50	0,000027	0,000027	
Su Tüketimi		0,010	-	-	0,010
Atıksu		-	0,0147	0,00039	0,5152
Atık Oluşumu	Tehlikeli atık	0,0127	-	-	0,1663
	Kağıt karton	0,000106	-	-	
	Plastik	0,00025	-	-	
	Hurda metal	0,15	-	-	
Toplam					12,72

2021, 2022 ve 2023 yılı faaliyet verileri kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda faaliyet verileri değerlerinin birbirine yakın olması sebebi ile eşdeğer karbondioksit değerleri (tCO_{2e}) arasında da büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Yıllara göre tCO_{2e} değerlerine ilişkin grafik Şekil 4.1.' de verilmiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon değerinde en fazla tCO_{2e} değeri 2021 yılında olmasına karşın, yakıt tüketimi kaynaklı en fazla tCO_{2e} değeri 2023 yılındadır. Su tüketiminden kaynaklı tCO_{2e} değeri üç yıl için neredeyse aynı değerdedir. Atıksudan kaynaklı tCO_{2e} değeri en yüksek değere 2023 yılında ulaşmıştır. Atık oluşumundan kaynaklı tCO_{2e} değeri ise 2023 yılına göre çok az farkla 2021 yılında daha yüksek değerdedir.

Tablo 4.3. 2023 yılı faaliyet verileri kapsamında oluşan karbon emisyonu değerleri

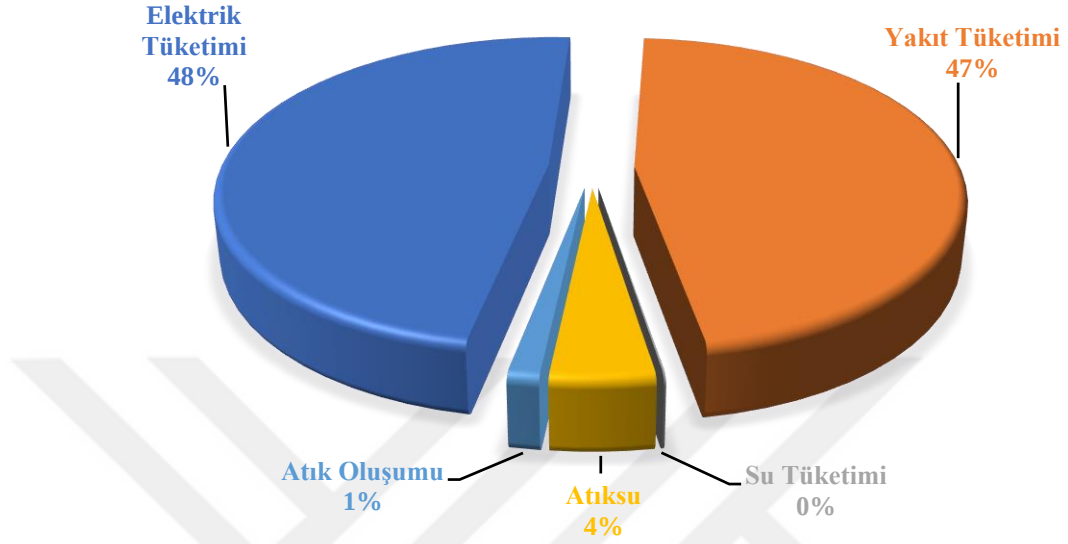
Faaliyet Verileri		Karbon Emisyonu Değeri			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(tCO _{2e} /yıl)
Elektrik Tüketimi	Makine, ekipman, teçhizatlardan kaynaklı	5,59	-	-	6,11
	Isınmadan kaynaklı	0,52	-	-	
Yakıt Tüketimi	Personel aracı	2,39	0,000126	0,000126	6,23
	Toplu taşıma aracı	2,44	0,000129	0,000129	
	Hammadde temini	0,82	0,000043	0,000043	
	Ürün sevkiyatı	0,48	0,000025	0,000025	
Su Tüketimi		0,012	-	-	0,012
Atıksu		-	0,0174	0,00046	0,6098
Atık Oluşumu	Tehlikeli atık	0,0117	-	-	0,1716
	Kâğıt karton	0,000085	-	-	
	Plastik	0,00023	-	-	
	Hurda metal	0,15	-	-	
Toplam					13,13



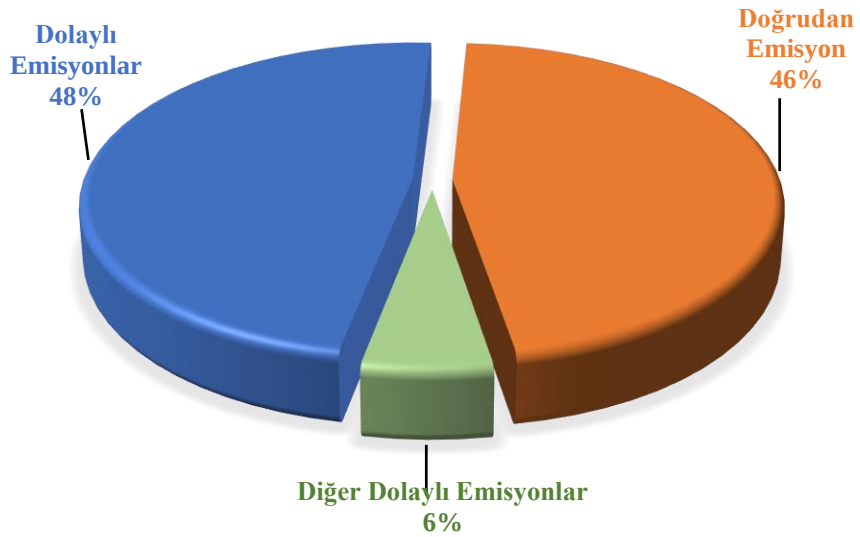
Şekil 4.1. Yıllara göre eşdeğer karbondioksit (tCO_{2e}) değerleri

Yıllara göre tCO_{2e} değerlerine ilişkin 2021, 2022 ve 2023 yılı ortalama değerlere bakıldığında yüzdesel dağılım grafiği Şekil 4.2.'de verilmiştir. Buna göre, üç yılın ortalamasına göre en yüksek emisyon değeri %48 ile elektrik tüketimidir. İkinci sırada

ise %47'lik değer ile yakıt tüketiği yer almaktadır. En az emisyon değeri ise su tüketiğinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2. Yılların tCO₂e ortalamasına göre yüzdesel emisyon değerleri



Şekil 4.3. Yılların tCO₂e ortalamasına göre emisyon değerlerinin GHG protokolü kapsamında yüzdesel dağılımı

Tesisin karbon emisyonu oluşumuna sebep olan faktörlerinin tCO₂e emisyon değerlerinin GHG Protokolü Kapsam 1, 2, 3 dağılımlarına göre sınıflandırması Tablo 4.4.'te verildiği gibidir. Buna göre, doğrudan ve dolaylı emisyonların yıllara göre değerleri birbirine yakın olmakla birlikte diğer dolaylı emisyonlar diğerlerine göre oldukça düşük değerdedir. Yılların tCO₂e ortalamasına göre yüzdesel değerlerine baktığımızda ise Şekil 4.3.'te görüldüğü üzere dolaylı emisyonlar %48 değeri ile en yüksektir. İkinci sırada %46 ile doğrudan emisyonlar yer almaktadır.

Tablo 4.4. Emisyon değerlerinin GHG protokolüne göre dağılımı

	Değer (tCO ₂ e)		
	2021	2022	2023
Doğrudan Emisyon	5,87	6,03	6,23
Dolaylı Emisyonlar	6,55	6,00	6,11
Diğer Dolaylı Emisyonlar	0,732	0,692	0,793

Emisyon değerlerinin ISO 14064:2018 standardı kategorilere göre dağılımı Tablo 4.5.'te verildiği gibidir. Yıllara göre emisyon değerleri kapsamında Kategori 2 ve Kategori 3 değerleri birbirine yakın olmakla birlikte Kategori 4 toplam değeri oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Emisyon değerlerinin kategorilere göre dağılımı (ISO 14064:2018)

Kategori		Değer (tCO ₂ e)		
		2021	2022	2023
Kategori 1	-	-	-	-
Kategori 2	Elektrik tüketimi	6,55	6,00	6,11
Kategori 3	Yakıt tüketimi	5,87	6,03	6,23
Kategori 4	Su tüketimi	0,732	0,692	0,793
	Atık oluşumu			
	Atıksu oluşumu			
Kategori 5	-	-	-	-
Kategori 6	-	-	-	-

4.2. Karbon Ayak İzi Azaltımı

Tesisin karbon emisyonunun azaltımı kapsamında şebekeden tedarik edilen elektrik tüketim miktarının azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynağı kullanarak elektrik elde edilmesi bu faaliyet verisinden kaynaklanan karbon emisyonu değerini oldukça düşürecektir. Bu çalışma, kapsamında yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerji sistemi değerlendirilecektir.

Güneş enerji sistemleri Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Fotovoltaik Sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Isıl Güneş Sistemleri ile ısı elde edilirken Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir [95]. Güneş enerji sistemleri kurulumunda dikkat edilecek üç ana husus vardır. Bunlar;

- Güneş enerji panellerinin gücü, sistem panellerinin gücü ne kadar çok ise elektrik üretme kapasitesi de o kadar yüksektir.
- Güneş enerjisinin verimliliği ve kullanım süresi, Güneş enerjisinden elde edilen elektriği işletmenin kullanacağı elektriğe dönüştürme aşamasında sistemlerde verimlilik kaybı yaşanmaktadır. Verimlilik kaybı panellerde değişkenlik göstermektedir. Kullanım süresi de verimlilik kaybı gibi panellerde değişiklik gösterebilmektedir.
- Güneş enerji sisteminin boyutları, sistem panel içerisindeki güneş pilleri ile elektrik üretimini gerçekleştirmektedir. Ne kadar çok güneş ışığına maruz kalırsa o kadar çok elektrik üretmektedir, bu sebeple panel boyutlarının fazla olması önem arz etmektedir.

Kristal yapıli enerji sistemlerinde monokristal ve polikristal hücre tipleri olarak ikiye ayrılan güneş enerji panellerinde, verimliliğinin daha yüksek olması sebebiyle bu çalışma özelinde monokristal hücre tipli sistem kurulumu tercih edilmiştir. Tesisin faaliyet gösterdiği İzmir ilinde yıllık ortalama güneşlenme süresi 8,1 saattir [96]. Tesisin elektrik tüketiminin güneş enerjisinden sağlanması için kurulması planlanan güneş enerji sisteminin gücü 205 W seçilmiştir. Bu değer güneş enerji panelinin tam güneşlenmenin sağlandığı vakitte bir saatte üretilen elektrik enerjisi miktarıdır [97].

Bu bağlamda, İzmir ili için günde ortalama 8,1 saat güneşlenme süresi ve panelin elektrik üretim gücü dikkate alındığında bir günde bir panelden üretilen elektrik enerjisi,

$$\text{Elektrik enerjisi} = 205 \text{ W} \times 8,1 \text{ sa} = 1660,5 \text{ Wsa}$$

olarak belirlenir. Tesis en fazla elektrik tüketimini 2021 yılında yapmış olup, tüketilen toplam elektrik miktarı 17800 kWh' dir. Tesisin en fazla çalıştığı gün sayısına göre ortalama bir günde tükettiği elektrik miktarı,

$$\text{Elektrik miktarı} = \frac{17800 \text{ kW}}{249 \text{ gün/yıl}} = 71,48 \text{ kW}$$

olur.

Seçilen panelin üretici tarafından beyan edilen verimlilik oranı %90 olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda verimlilik kaybı dikkate alındığında günde ihtiyaç duyulan enerji miktarı,

$$\text{Enerji miktarı} = 71,48 \times \frac{100}{90} = 79,42 \text{ kW}$$

olarak belirlenir. Tesisin tükettiği elektriği üretmesi için planlanan güneş enerji sistemi, panel sayısı,

$$\text{Panel sayısı} = \frac{79,42 \text{ kW}}{1660 \text{ W}} * \frac{1000 \text{ W}}{\text{kW}} = 47,84 = 48 \text{ adet panel}$$

olur. Panelin ölçüleri, 1505 x 679 x 30 mm'dir. 48 adet panel için gerekli olan alan,

$$\text{Alan ihtiyacı} = 1,505 \text{ m} \times 0,679 \text{ m} \times 48 = 49,05 \text{ m}^2$$

olarak belirlenmektedir. Tesisin en fazla çalışma gün sayısına ve elektrik tüketimine sahip olduğu yıl 2021'dir. Bu nedenle hesaplamalar 2021 yılı özelinde yapılmıştır. 2021 yılı verilerine tercih edilen yenilenebilir enerji kullanımı diğer tüm yılların da

elektrik ihtiyacını karşılayacağı ön görülmektedir. Güneş enerjisi sisteminden elektrik eldesi tercih edilmesi durumunda 48 adet panel için yaklaşık 50 m² alana ihtiyaç bulunmaktadır.



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sanayileşme devriminden sonra ürün üretimi ve artan hammadde ihtiyacı doğrultusunda doğal kaynaklar giderek azalmakta atmosferde bulunan sera gazları giderek artmaktadır. Artan sera gazlarının neden olduğu küresel ısınmaya paralel olarak meydana gelen iklim değişikliği ise günümüz şartlarında yakından hissedilmekte ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında gerekli farkındalık da giderek artmaktadır. Mücadeleye katkı sağlamak adına gerek küresel anlamda gerekse bireysel olarak çalışmalar yapılmaktadır.

2021 yılında AB Resmî Gazetesinde yayınlanan Yeşil Mutabakat ile karbon salınımının azaltılması kapsamında farklı yükümlülükler gelmiştir. 2030 yılına kadar karbon salınımını 1990'a kıyasla %55 oranında azaltmak ve 2050'de ise karbon salınımını sıfıra indirmek hedeflenmektedir. Bu hedeflerin sağlanması kapsamında Türkiye'de birçok AR-GE ve yenilik konuları gündeme gelmektedir. Sınırdaki karbon düzenlemeleri, ekonomi, finansman, enerji arzı, tarım, ulaşım, iklim değişikliği, diplomasi ve bilinçlendirme başlıkları altında planlanan hedefler mevcuttur. Gerçekleştirilen faaliyet sebebiyle sanayi kuruluşları da bu hedefler doğrultusunda çalışmalar gerçekleştirmektedir. Karbon emisyonu hesaplaması çevreye verilen zararın ölçülerini belirlemek amacıyla yapılan gönüllülük esaslı çalışmadır.

Bu çalışmada İzmir ilinde makine yedek parça imalatı yapan bir tesisin karbon emisyonu hesaplamaları 2021, 2022 ve 2023 yılları için yapılmış ve bulgular karşılaştırılarak çözüm önerisi sunulmuştur. Emisyon kaynakları; elektrik tüketimi, dizel yakıt tüketimi, su tüketimi, atıksu bertarafı ve atık oluşumu olarak belirlenmiştir. GHG protokolüne kapsamlarına göre Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyon kaynakları mevcuttur. Hesaplama IPCC' de yer alan Tier 1 metodolojisi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde karbon emisyonu değerleri 2021 yılı için 13,15 tCO_{2e}/yıl, 2022 yılı için 12,72 tCO_{2e}/yıl ve 2023 yılı için 13,13 tCO_{2e}/yıl

bulunmuştur. En yüksek değer 2021 yılı olup ikinci sırada 2023 yılı gelmektedir. Tüm yıllara göre bakıldığında karbon emisyonu oluşumuna en çok katkı sağlayan emisyon elektrik ve yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Yılların ortalamasına göre bakıldığında elektrikten kaynaklanan değer bu değer toplam karbon emisyonu değerinin yaklaşık %48'ine denk gelmektedir. İkinci sırada %47'lik değer ile yakıt tüketimi yer almaktadır. Karbon emisyonu salınımı kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde hesaplaması yapılan tesisin kapasitesine ve üretim faaliyetine göre değerler oldukça değişkenlik göstermektedir. Tablo 5.1.'de karbon ayak izi kapsamında yapılan bazı çalışmaların, veri yılı, kapasitesi, faaliyet verileri ve toplam ton CO₂e/ yıl değerleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Yapılan çalışmalarda hesaplanan karbon emisyon değerleri

Çalışma	Yıl	Kapasite	Çalışma Verileri	Karbon Ayak İzi Değeri
Kauçuk Endüstrisi	2018	17.600 ton kauçuk/yıl	Hammadde, Atık, Elektrik, Doğalgaz, Yakıt	55.000 ton CO ₂ e/yıl
Tekstil Endüstrisi	2020	300 gün çalışma	Elektrik, Dizel, Atıksu, Doğalgaz	297.343 ton CO ₂ e/yıl
Otomotiv Endüstrisi	2015	1.000.000 araç/yıl	Araç Miktarı, Atık ve Atıksu, Yakıt, Elektrik, Doğalgaz	3.194.998 ton CO ₂ e/yıl
Kağıt Endüstrisi	2018	591739,9 ton kağıt	Doğalgaz, Elektrik, Yakıt, LPG	9.387,213 ton CO ₂ e/yıl (elektrik hariç)
Karayolu Ulaşımı	2015-2018	Motorin: 188844.75 ton (2017) Benzin: 26819.57 ton (2018) LPG: 22206.395 ton (2016)	Yakıt (Tier 1) Kat edilen Mesafe (Tier2)	(2017)-758.895 gigagram (Gg) CO ₂ e
Makine Yedek Parça İmalatı	2021 2022 2023	384000 adet/yıl	Elektrik, Yakıt, Su tüketimi, Atıksu, Atık	(2021)-13,15 ton CO ₂ e/yıl (2022)-12,72 ton CO ₂ e/yıl (2023)-13,13 ton CO ₂ e/yıl

Bu çalışma kapsamında incelenen otomotiv yedek parça imalatı yapan tesisten kaynaklanan ton CO₂e/ yıl değeri Tablo 5.1'de sunulan diğer çalışmalarda hesaplanan emisyon değerlerine göre oldukça düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük

emisyona sahip olsa da 2050 yılı hedeflerine ulaşılabilmesi için salınımın minimuma düşürülmesi amacıyla gerekli önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Tesis elektrik üretimini yenilenebilir enerji kaynaklarından temin ederek karbon salınımını büyük ölçüde azaltmış olacaktır. Bunun için tesise kurulacak olan 48 adet güneş enerjisi paneli ile elektrik üretimi yenilenebilir enerjiden sağlanmış olacaktır. Bu kurulum için yaklaşık 50 m²'lik alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan sonraki aşamada karbon salınımını daha da azaltmak için yakıt tüketimine odaklanılması gerekmektedir. Dizel yakıtlı araç yerine elektrikli araç kullanımı bu kısım için işe yarar bir seçim olacaktır. Bu iki emisyon kaynağının azaltımı ile toplam karbon emisyonu değeri yaklaşık %95 oranında azaltılmış olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Tuckett, R., Greenhouse gases and the emerging climate emergency. In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth B.*, Third Edition, Elsevier, 19-45, 2021.
- [2] Letcher, T. M., Why do we have global warming? In *Managing Global Warming*, Elsevier, 3–15, 2019.
- [3] Letcher, T. M., Global warming-a complex situation. *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Third Edition, Elsevier, 3–17, 2021.
- [4] Tuckett, R. P., The Role of Atmospheric Gases. In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Second Edition, Elsevier, 375–397, 2016.
- [5] Cohen, S., The Role of Widespread Surface Solar Radiation Trends in Climate Change: Dimming and Brightening, In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 21-41, 2009.
- [6] Dorman, L. I., The Role of Space Weather and Cosmic Ray Effects in Climate Change, In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 43-76, 2009.
- [7] Stenchikov, G. (2009). The Role of Volcanic Activity in Climate and Global Change, In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 77-102, 2009.
- [8] Lourens, L. J., Tuenter, E., The Role of Variations of the Earth's Orbital Characteristics in Climate Change, In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 103–123, 2009.
- [9] Shakun, J. D., Clark, P. U., He, F., Marcott, S. A., Mix, A. C., Liu, Z., Otto-Bliesner, B., Schmittner, A., Bard, E., Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation, *Nature*, 484(7392), 49-54, 2012.

- [10] Letcher, T. M., Introduction with a Focus on Atmospheric Carbon Dioxide and Climate Change, In *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*, Third Edition, 2-17, 2020.
- [11] Tuckett, R. P., The Role of Atmospheric Gases in Global Warming, In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 3-19, 2009.
- [12] Lu, Q.-B., Cosmic-ray-driven reaction and greenhouse effect of halogenated molecules: culprits for atmospheric ozone depletion and global climate change, *International Journal of Modern Physics B*, 27(17), 1350073, 2013.
- [13] <https://www.co2.earth/daily-co2>., Erişim Tarihi: 25.11.2023.
- [14] Denman, Kenneth L; Brasseur, Guy P; Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P. M., Dickinson, R. E, Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., Leite da Silva Dias, P., Wofsy, S. C., Zhang, X., Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, 449–587, 2007.
- [15] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>., Erişim Tarihi:20.11.2023.
- [16] <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/.../its-water-vapor-not-the-co2.html>., Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [17] Amare, M., Balana, B., Climate change, income sources, crop mix, and input use decisions: Evidence from Nigeria, *Ecological Economics*, 211, 107892, 2023.
- [18] <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/renewables>., Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [19] <https://climate.nasa.gov/news/2945/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record/>Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [20] <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/renewables>., Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [21] <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>., Erişim Tarihi: 5.12.2023.

- [22] www.statista.com > i Energy & Environmental Services> Electricity., Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [23] <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-fossil-fuel-emissions-up-zero-point-six-per-cent-in-2019-due-to-china/>, Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [24] Vallero, D. A., Letcher, T., Climate, In Unraveling Environmental Disasters, Elsevier, 183-220, 2013.
- [25] <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/> ., Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [26] <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>., Erişim Tarihi: 5.12.2023.
- [27] Labaran, Y. H., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., Musa, A. A., Carbon footprint management: A review of construction industry, Cleaner Engineering and Technology, 9, 100531, 2022.
- [28] Pekin, M., Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [29] IPCC, The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity Supplementary Material. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.
- [30] https://library.wmo.int/viewer/68532/download?file=GHG-19_en.pdf&type=pdf&navigator=1., Erişim Tarihi: 14.11.2023.
- [31] Ertürk, M, The Relation Between Environmental Pollution and Economic Growth a Comparison of Developed and Developing Countries Using Data Visualization, Munich Personal RePEc Archive, 69879, 2016.
- [32] Conway, T.J., Tans, P.P., Waterman, L.S., Thoning, K.W., Kitzis, D.R., Masarie, K.A., Zhang, N., Evidence Of İnterannual Variability Of The Carbon Cycle From The NOAA/CMDL Global Air Sampling Network, J. Geophys. Research, vol. 99, 22831-22855, 1994.
- [33] https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_trend.html., Erişim Tarihi: 15.11.2023.

- [34] https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_gr.html, Erişim Tarihi: 17.11.2023.
- [35] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [36] Keeling, C.D., Bacastow, R.B., Bainbridge, A.E., Ekdahl, C.A., Guenther, P.R., Waterman, L.S., Atmospheric Carbon Dioxide Variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii, *Tellus*, 28, 538-551, 1976.
- [37] Thoning, K.W., Tans, P.P., Komhyr, W.D., Atmospheric Carbon Dioxide at Mauna Loa Observatory 2. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974-1985, *J. Geophys. Research*, 94, 8549-8565, 1989.
- [38] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/weekly.html>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [39] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gr.html>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [40] Jackson, R. B., Saunio, M., Bousquet, P., Canadell, J. G., Poulter, B., Stavert, A. R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A., Tsuruta, A., Increasing Anthropogenic Methane Emissions Arise Equally from Agricultural and Fossil Fuel Sources, *Environmental Research Letters*, 15(7), 071002, 2020.
- [41] <https://www.globalcarbonproject.org/methanebudget/index.htm>, Erişim Tarihi: 30.08.2022.
- [42] Dlugokencky, E. J., Steele, L. P., Lang, P. M., Masarie, K. A., The Growth Rate and Distribution of Atmospheric Methane, *J. Geophys. Res.*, 99(D8), 17021-17043, 1994.
- [43] https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [44] Thompson, R. L., Lassaletta, L., Patra, P. K., Wilson, C., Wells, K. C., Gressent, A., Koffi, E. N., Chipperfield, M. P., Winiwarter, W., Davidson, E. A., Tian, H., Canadell, J. G., Acceleration of Global N₂O Emissions Seen From Two Decades of Atmospheric Inversion, *Nature Climate Change*, 9, 993-998, 2019.
- [45] https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_n2o/, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [46] Tuckett, R., Climate Change and Global Warming: What Can We Do, What Should We Do? In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 1-7, 2018.

- [47] <https://wmo.int/files/provisional-state-of-global-climate-2023>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [48] Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Gregor, L., Hauck, J. et al., Global carbon budget 2022. *Earth System Science Data* 14(11), 4811-4900, 2022.
- [49] <https://www.energyinst.org/statistical-review>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [50] <https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/sdg7-report2023-full-report.pdf>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [51] Liu, Z., Deng, Z., Davis, S., Ciais, P., Monitoring global carbon emissions in 2022. *Nature Reviews Earth & Environment* 4, 205-206, 2023.
- [52] Grassi, G., Stehfest, E., Rogelj, J., van Vuuren, D., Cescatti, A., House, J., Critical Adjustment of Land Mitigation Pathways For Assessing Countries’ Climate Progress, *Nature Climate Change*, 11, 425-434, 2021.
- [53] <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [54] Lamb, W.F., Grubb, M., Diluiso, F., Minx, J.C, Countries with Sustained Greenhouse Gas Emissions Reductions: An Analysis of Trends and Progress by Sector, *Climate Policy*, 22(1), 1-17, 2021.
- [55] Shukla, P.R., Skea, J., Reisinger, A., Slade, R., Fradera, R., Pathak, M., IPCC, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2022.
- [56] Jones, M.W., Peters, G.P., Gasser, T., Andrew, R.M., Schwingshackl, C., Gütschow, J., Houghton, R. A., Friedlingstein, Pongratz, J., le Quéré, C., National Contributions To Climate Change Due To Historical Emissions Of Carbon Dioxide, Methane, And Nitrous Oxide Since 1850, *Scientific Data*, 10, 155, 2023.
- [57] <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43922/EGR2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.

- [58] Kayhan, A. K., A Review of United Nations Environment Program, Public and Private International Law Review, 33(1), 61-90, 2013.
- [59] <https://www.ipcc.ch/about/history/>, Erişim Tarihi:18.11.2023.
- [60] <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33>, Erişim Tarihi:18.11.2023.
- [61] T.C. Resmî Gazete, Milletlerarası Sözleşme, Karar Sayısı: 2009/14979, 2009.
- [62] <http://www.globalcompactturkiye.org/global-compact-turkiye/ilkeler/>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [63] Borsa İstanbul A.Ş., Şirketler için Sürdürülebilirlik Rehberi, <https://www.borsaistanbul.com/tr/duyuru/3037/borsa-istanbuldan-sirketler-icin-surdurulebilirlik-rehberi>, Erişim Tarihi: 14.06.2022.
- [64] T.C. Resmi Gazete, Milletlerarası Andlaşma “Paris Anlaşması”, Sayı: 31621 (Mükerrer), 2021.
- [65] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [66] TS ISO 14064-1 Sera Gazları- Bölüm 1: Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikleri, 2019.
- [67] <http://www.gelisim.org/index.php?bolum=iso14064>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [68] Barrow, M., Buckley, B., Caldicott, T., Cumberlege T., Hsu, John., Kaufman, S., Greenhouse Gas Protocol, Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions, 2013.
- [69] Binboğa, G., Uluslararası Karbon Ticareti ve Türkiye, Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 9(34), 5732-5759, 2014.
- [70] <https://www.iso.org/standard/66453.html>, Erişim Tarihi: 27.01.2024.
- [71] Buendia, E.C., Guendehou S., Limmeechokchai, B., Pipatti, R., Rojas Y., Sturgiss R., Towprayoon, S., Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019.

- [72] Garg, A., Kazunari, K., Pulles, T., IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1, 2006.
- [73] Civelekoğlu, G., Bıyık, Y., Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2(2), 157-166, 2018.
- [74] <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/c00s00.pdf>, Erişim Tarihi: 27.01.2024.
- [75] <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling>, Erişim Tarihi: 18.11.2023.
- [76] <https://ghginstitute.org/2022/10/31/>, Erişim Tarihi: 27.01.2024.
- [77] Mutlu, V., Özgür, C., Bekaroğlu, Ş. Ş. K., Kauçuk Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2(2), 139-146, 2018.
- [78] Başoğlu, Y., Göksu, T. T., Baran, M. F., Bir Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (31), 146-150, 2021.
- [79] Sreng, R. Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayakizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [80] Arıcı R., Kağıt-Karton Geri Dönüşüm Ürünlerinin Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [81] Kılıç, M. Y., Dönmez, T., Adalı, S., Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 11(3), 943-955, 2021.
- [82] Özsoy, C. E., Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi, Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4(9), 198-215, 2015.
- [83] https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/sustainability-report/2021/Nonfinancial_Report_2021_e.pdf, Erişim Tarihi: 02.09.2022.
- [84] https://www.fordotosan.com.tr/documents/Documents/Surd_Raporlari/2021_surdurulebilirlik_raporu.pdf, Erişim Tarihi: 02.09.2022.

- [85] Tekelioğlu, H. B. S., Başer, H., Makine Sektöründeki Kobi’lerde İhracat Performansına Etki Eden Faktörler: Ankara Örneği, Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 5(2), 112-121, 2013.
- [86] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Makine Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu TR52 Bölgesi (Konya, Karaman), 2022.
- [87] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, 2023.
- [88] Waldron, C. D., Chapter 3: Mobile Combustion, Volume 2: Energy, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- [89] DEFRA, Greenhouse gas reporting: conversion factors 2022, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022>., Erişim Tarihi: 15.04.2023.
- [90] Waldron, C. D., Chapter 6, Wastewater Treatment And Discharge, Volume 5, Waste, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- [91] Dindar, G., Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak Izinin hesaplanması–Bursa İli örneği, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [92] T.C. Resmî Gazete. Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ, Sayı: 29068, 2014.
- [93] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=527awOxymM0=>., Erişim Tarihi: 06.05.2023.
- [94] <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, Erişim Tarihi: 15.05.2023.
- [95] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>, Erişim Tarihi: 05.05.2023.
- [96] <https://www.ekonomiksolar.com/urun/lexron-205-watt-perc-monokristal-gunes-paneli/>., Erişim Tarihi: 07.05.2023.

ÖZGEÇMİŞ

Hilal Kendir Duman ilkokulu ve ortaokulu Kara Hasanpaşa İlköğretim Okulu'nda ve lise eğitimini Dörttyol Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Dörttyol Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. 2012 yılında başladığı Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. 2018 yılında Entegre Enerji Çevre Müh. Taah. Ve Trz. Hz. Sn. ve Ltd. Şti.' de Çevre Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Sonrasında farklı sektörlerde ve farklı illerde Çevre Mühendisi ve İş Güvenliği Mühendisi olarak çalışmaya devam etti. 2023 Mayıs ayında İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. fabrikasında Çevre Mühendisi olarak işe başladı ve halen aynı fabrikada İş Güvenliği Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2021 yılında Giresun Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.