

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Otomotiv Endüstrisi İçin Karbon Ayak İzi Hesaplamaları,
Değerlendirilmesi ve Azaltım Yöntemlerinin Araştırılması**

Özlem AKPINAR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık, 2023

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Otomotiv Endüstrisi İçin Karbon Ayak İzi Hesaplamaları,
Değerlendirilmesi ve Azaltım Yöntemlerinin Araştırılması**

Özlem AKPINAR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi .../.../..... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Doç. Dr. Behzat BALCI (Danışman)

: Doç. Dr. Rozelin AYDIN

: Prof. Dr. Fuat BUDAK

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

:

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
GRAFİKLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Sera Gazları	1
1.1.1. Karbondioksit (CO ₂)	2
1.1.2. Metan (CH ₄).....	3
1.1.3. Diazot monoksit (N ₂ O)	4
1.1.4. Su Buharı (H ₂ O).....	4
1.1.5. Ozon (O ₃)	4
1.1.6. Kloroflorokarbon (CFC)	4
1.2. İklim Değişikliği	5
1.2.1. Karbon Ayak İzi.....	5
1.3. Yasal Gelişmeler	8
1.3.1. Dünya Çevre Zirvesi: Stockholm “İnsan Çevresi Konferansı”	8
1.3.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)	8
1.3.3. II. Dünya Çevre Zirvesi: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED).....	9
1.3.4. İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC-BMİDÇS).....	9
1.3.5. Kyoto Protokolü.....	10
1.3.6. Paris Anlaşması	11
1.3.7. Avrupa Yeşil Mutabakatı.....	11
1.3.8. Avrupa İklim Yasası	14
1.4. ISO 14046 Sera Gazı Standardı.....	16
1.4.1. ISO 14064-1	16
1.4.2. ISO 14064-2.....	17
1.4.3. ISO 14064-3.....	17
1.4.4. ISO 14064 Faydaları	17
1.5. Karbon Emisyonlarının Canlılar Üzerindeki Etkisi	18
1.6. Otomotiv Endüstrisi	19
1.7. Otomotiv Endüstrisi ve Karbon Ayak İzi Miktarı.....	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	23

2.1. Otomotiv sektöründe karbon ayak izi ile ilgili yapılan çalışmalar.....	23
3. MATERYAL VE METOD	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. İşletmeye Dair Bilgiler.....	27
3.1.2. Genel Üretim Prosesleri.....	27
3.1.3. Üretim Tesisi Emisyon Faktörleri.....	31
3.2. Metod	32
3.2.1. IPCC Yöntemi ve Emisyon Faktörleri	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Kapsam 1 Emisyonları	35
4.1.1. Doğalgaz Emisyon Hesaplamaları	38
4.1.2. Benzin ve Dizel Tüketimli Araç Kaynaklı Emisyon Hesaplamaları.....	39
4.1.3. Kapsam 1 Emisyonları Sonuçları.....	40
4.2. Kapsam 2 Emisyonları	42
4.2.1. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları.....	42
4.3. Kapsam 3 Emisyonları	43
4.4. Kapsamlar ve Sonuçlar.....	47
4.4.1. Araç Başı Oluşan Karbon Emisyonları Miktarı	49
4.5. Kapsam 1 Emisyonları Azaltım Yöntemleri	51
4.5.1. Doğalgaz Kullanım Miktarı kaynaklı Karbon ayak izi Azaltım Yöntemleri.....	51
4.5.2. Jeneratör Kullanım Miktarı kaynaklı karbon ayak izi Azaltım Yöntemleri.....	53
4.5.3. Şirket Havuz Araçları ve Off-Road Araçları Kullanımı kaynaklı karbon ayak izi azaltım yöntemleri.....	54
4.6. Kapsam 2 Emisyonları Azaltım Yöntemleri	54
4.6.1. Güneş Enerjisi Projesi.....	55
4.7. Kapsam 3 Emisyonları Azaltım Yöntemleri	57
4.7.1. Üretim ve Satışa Yönelik Lojistik Faaliyetlerinden Kaynaklı Karbon Ayak izi miktarı azaltım yöntemleri	57
4.7.2. Şirket Çalışanları İş Seyahatleri Uçuşları Kaynaklı Karbon ayak izi miktarı azaltım yöntemleri.....	57
4.8. Alternatif Karbon Emisyonları Azaltım Yöntemleri	58
4.8.1. Karbon Kredisi.....	58
4.8.2. Yeşil Enerji Sertifikası.....	59
4.8.3. Atıksuların proste yeniden kullanımı.....	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

Otomotiv Endüstrisi İçin Karbon Ayak İzi Hesaplamaları, Değerlendirilmesi ve Azaltım Yöntemlerinin Araştırılması

Özlem AKPINAR

Danışman: Doç. Dr. Behzat BALCI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Karbon ayak izi, doğrudan veya dolaylı olarak üretilen sera gazı emisyonlarının toplam miktarıdır ve genellikle karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) ile ifade edilir. İnsan faaliyetlerinin yanı sıra, mevcut her tür kurum ve kuruluşun, uluslararası sera gazı emisyonlarına önemli etkisi bulunur. İklim değişikliği, belirli bir yerdeki sıcaklık ve yağış düzenleri gibi değişken iklim değerlerinin, geçmiş değerlerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde değişikliklerini ifade eder. Çoğunlukla İklim Değişikliğine katkıda bulunan sera gazı emisyonlarından kuruluşların sorumlu olduğu göz önüne alındığında, onların etkilerini azaltmadaki rolleri çok önemlidir.

Bu çalışmada, Adana il sınırları içerisinde bulunan bir otomotiv fabrikasının Karbon Ayak İzi miktar hesaplamaları yapılmış, değerlendirilmiş ve karbon ayak izi azaltım yöntemleri ortaya koyulmuştur. Çalışılan operasyonel, kurumsal ve sosyal faaliyetleri detaylı olarak analiz edilerek, karbon ayak izi kapsamında değerlendirilebilecek faaliyetler belirlenmiştir. Kapsam 1, 2 ve 3 emisyonları, "ISO 14064-1 Sera Gazı Standartı" baz alınarak hesaplanmış olup, "Sera Gazları Protokolü: Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı" çerçevesinde operasyonel kontrol prensibi kullanılmıştır. Hesaplamalar sırasında karbon dioksit (CO₂), CH₄, N₂O'ların karbondioksit eşdeğer faktörleri tercih edilmiştir. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) katsayıları, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin 5. Değerlendirme Raporundan (IPCC AR5), Emisyon faktörleri ise Sera Gazı Protokolü (Greenhouse Gas Protocol), DEFRA 2021 ve 2022, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Ulusal Sera Gazı Raporu (NIR), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, IPCC AR5 kaynaklarından elde edilmiş olup, küresel ısınma katsayılarıyla çarpılma sonucu bileşik ton CO₂-e verileri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar fabrikadan kaynaklanan karbon ayak izinin %34,4'ü kapsam 1, %14'ü kapsam 2 ve %52'sinin kapsam 3 emisyonlarından kaynaklandığını göstermiştir. Tesisin karbon ayak izi azaltımının sağlanabilmesi için, hem enerji eldesinde hem de şirket faaliyetleri ve üretimlerinde yeşil enerji kullanımının yaygınlaştırılması, şirket içerisinde kullanılan araçlarda fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmesi, üretim ve lojistik kaynaklı ulaşım faaliyetlerinde daha çevreci ve düşük emisyonlu yöntemlere geçilmesi, atıksuların tekrar kullanımı gibi iyileştirmeler sonucunda, fabrika emisyonlarının %45'inin önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv Endüstrisi, Karbon Ayak İzi, Sera Gazları

Carbon Footprint Calculations, Evaluation and Research of Mitigation Methods for The Automotive Industry

Özlem AKPINAR

Advisor: Doç. Dr. Behzat BALCI

Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

A carbon footprint is the total amount of greenhouse gas emissions produced directly or indirectly, usually expressed in carbon dioxide equivalent (CO_{2e}). In addition to human activities, all types of existing institutions and organizations have a significant impact on international greenhouse gas emissions. Climate change refers to significant changes in the variables of climate, such as temperature and precipitation patterns at a given location, compared to past values. Given that organizations are mostly responsible for greenhouse gas emissions that contribute to Climate Change, their role in mitigating their impact is crucial.

In this study, the Carbon Footprint of an automotive factory located in Adana province has been calculated, evaluated and carbon footprint reduction methods have been put forward. The operational, corporate and social activities studied were analyzed in detail and the activities that can be evaluated within the scope of carbon footprint were determined. Scope 1, 2, and 3 emissions were calculated based on the “ISO 14064-1 Greenhouse Gas Standard” and the operational control principle outlined in the 'Greenhouse Gas Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard' was applied. During the calculations, carbon dioxide equivalent factors of carbon dioxide (CO₂), CH₄, N₂O were utilized. Global Warming Potential (GWP) coefficients are taken from the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR₅), emission factors are taken from the Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), DEFRA 2021 and 2022, International Energy Agency (IEA), National Greenhouse Gas Report (NIR), Elektrik Isleri Etüt Idaresi Genel Müdürlüğü (EIE), T. C. Ministry of Energy and Natural Resources, IPCC AR₅ sources and compound tons of CO₂-e data were calculated by multiplying by global warming coefficients.

The results show that 34.4% of the carbon footprint of the factory is caused by scope 1, 14% by scope 2 and 52% by scope 3 emissions. In order to reduce the carbon footprint of the facility, it was concluded that 45% of the factory emissions could be prevented as a result of improvements such as expanding the use of green energy in both energy generation and company activities and production, preferring renewable energy sources instead of fossil fuels in vehicles used within the company, switching to more environmentally friendly and low-emission methods in production and logistics-related transportation activities, and reusing wastewater.

Keywords: Automotive Industry, Carbon Footprint, Greenhouse gases

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecinde desteklerini ve değerli bilgilerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Behzat BALCI'ya ve emeği geçen tüm hocalarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Bugün bulunduğum noktada olmamı sağlayarak, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli annem Gülay Meral AKPINAR, değerli babam Mehmet AKPINAR, kariyer ve eğitim hayatım boyunca destekleriyle ve başarılarıyla her zaman bana rol model olan değerli abim Türker AKPINAR'a ve tüm aileme şükran ve minnetlerimi sunarım.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Sera gazları için küresel ısınma potansiyelleri	2
Çizelge 1.2. ISO 14064 standardı bölümleri.....	16
Çizelge 3.1. Kapsamlarına göre karbon ayak izi kaynakları	32
Çizelge 4.1. Kapsam 1 Emisyon Faaliyet Verileri.....	35
Çizelge 4.2. Küresel ısınma potansiyelleri	36
Çizelge 4.3. Kapsam 1 emisyon faktörleri.....	37
Çizelge 4.4. Doğalgaz CO ₂ , N ₂ O ve CH ₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veriler tablosu	38
Çizelge 4.5. Dizel şirket araçları ve off road araçlar için CO ₂ , N ₂ O ve CH ₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veri tablosu	39
Çizelge 4.6. Benzinli şirket araçları için CO ₂ , N ₂ O ve CH ₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veri tablosu	40
Çizelge 4.7. Kapsam 1 emisyonları sonuç tablosu	41
Çizelge 4.8. Kapsam 2 emisyon faaliyet verileri	42
Çizelge 4.9. Kapsam 2 emisyon faktörleri.....	42
Çizelge 4.10. Kapsam 2 Emisyonları Sonuç Tablosu.....	42
Çizelge 4.11. Kapsam 3 Emisyon Faaliyet Verileri.....	43
Çizelge 4.12. Kapsam 3 Emisyon Faktörleri	44
Çizelge 4.13. Kapsam 3 Emisyonları Sonuç Tablosu.....	46
Çizelge 4.14. Kapsam1,2,3 Emisyon Hesaplamaları Sonuçları ve Yüzdelik Değerleri	47
Çizelge 4.15. Direkt ve İndirekt Emisyonlara ait Karbon eşdeğer miktarları	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Küresel Sera Gazı Emisyon Değişimleri	1
Şekil 1.2. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları	6
Şekil 1.3. Türkiye’de karbon emisyon miktarlarının yıllara göre değişimi.....	7
Şekil 1.4. Avrupa Yeşil Mutabakatı	12
Şekil 1.5. Ulaşım Sektörü Sera Gazı Emisyonları Dağılımları	20
Şekil 3.1. İlgili Tesis Üretim Akış Şeması	31
Şekil 4.1. Araç başına oluşan karbon emisyon miktarı	50
Şekil 4.2. Güneş paneline uygun tesis çatıları.....	55



GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 4.1. Kapsam1,2,3 Emisyon Hesaplamaları Sonuçları Grafiği	47
Grafik 4.2. Kapsam1,2,3 Karbon Ayak İzi Sonuçları Yüzdelik Göstergeleri.....	48
Grafik 4.3. En büyük ilk 5 emisyon faktörü ve miktarları grafiği.....	49



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AD	: Faaliyet Verisi
AID	: Alt Isıl Değer
AR5	: The Fifth Assessment Report
BM	: Birleşmiş Milletler
BMÇP	: Birleşmiş Milletler Çevresel Programı
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler
CDP	: Karbon Saydamlık Projesi
CF	: Karbon emisyonu
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
CO ₂ e	: Carbon Dioxide Equivalent
DEFRA	: Department for Environment, Food and Rural Affairs
DMÖ	: Dünya Meteoroloji Örgütü
EF	: Emission Factor
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETS	: Emisyon Ticaret Sistemi
GCC	: Global Carbon Council
GHG	: Greenhouse Gas
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GJ	: Gigajoule
GWP	: Global Warming Potential
HAİDP	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
HBFC	: Hidrobromoflorokarbonlar
H ₂ O	: Su Buharı
HFCs	: Hidroflorokarbonlar
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISIC	: Uluslararası Endüstri Sınıflandırması
ISO	: International Organization for Standardization

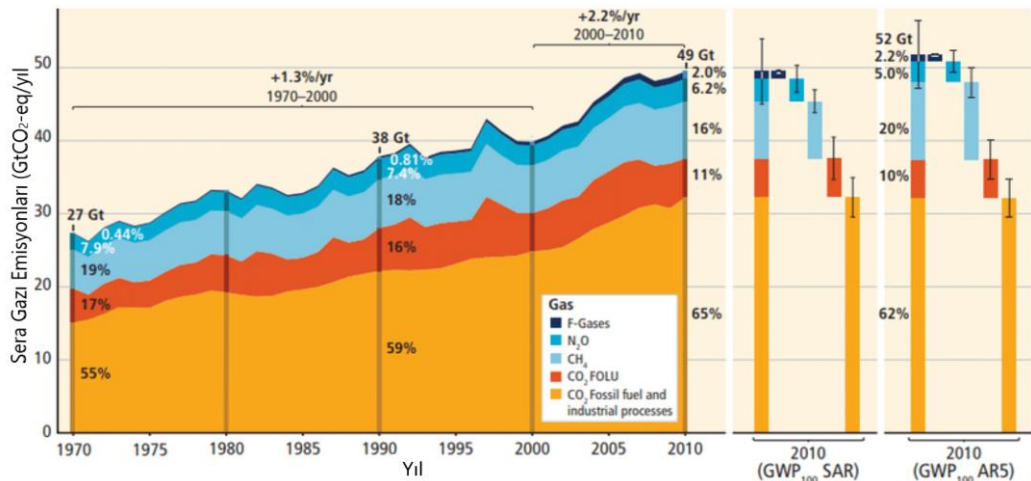
KAİ	: Karbon Ayak İzi
Kg	: Kilogram
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
km	: Kilometre
kWh	: Kilowatt-hour
N ₂	: Azot
N ₂ O	: Nitröz Oksit
NIR	: Ulusal Sera Gazı Raporu
O ₃	: Ozon
OF	: Oksidasyon Faktörü
OSD	: Otomotiv Sanayi Derneği
PFCs	: Perflorokarbonlar
SF ₆	: Sülfür Heksaflorid
SKD	: Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNCED	: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı
UNFCCC	: BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UNFCCC	: İklim Değişikliği Sözleşmesi
VER	: Voluntary Emission Reduction
WBCSD	: Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi
WRI	: Dünya Kaynakları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Bugün dünyada var olan en önemli çevresel problemlerden biri, insanlığın dünyaya ve yeryüzüne en büyük dramatik ve yıkıcı etkisi olan iklim değişikliğidir. İklim değişikliği, ağırlıklı olarak Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar üstlenilen ve hızla gelişen üretim ve tüketim alanlarının bir sonucudur. Ancak son yıllarda yaşanan yangın, sel, kasırga, aşırı sıcaklık gibi doğal afetler ve çevresel felaketler, sera gazlarının çevre üzerindeki artan etkilerine dikkat çekmiştir. Bu da dünya üzerinde mevcut olan tüm endüstrileri, ekolojik etkilerini azaltmaya yönelik çalışmalarının birinci öncelik olmasını sağlamaya yöneltmiştir. İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte ortaya çıkan yeni ticari dinamikler ve düzenlemeler, şirketleri çevresel performanslarını değerlendirme ve geliştirme faaliyetlerine yönlendirmiştir.

1.1. Sera Gazları

Atmosferde ısı tutan gazlara sera gazları denir. Atmosfere salınan toplam sera gazı emisyonlarının ölçüsü de karbon ayak izi şeklinde tanımlanır. Sera gazları, güneşin enerjisini emer ve yeniden yayarlar. Bu olaya sera etkisi denir. Sera etkisine; Karbondioksit (CO_2), Metan (CH_4), Nitröz oksit (N_2O), Su buharı (H_2O), Kloroflorokarbon (CFC) ve Ozon (O_3) gazları sebep olmaktadır. Sera gazlarının atmosferdeki ısıyı tutmalarının sebebi ısı tutma kapasitelerinin yüksek olmasıdır. Ve belirtilen sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları arttıkça bu ısınma etkisi de artar ve küresel ısınma olarak adlandırılır. IPCC raporunda küresel ısınmayı antropojenik sera gazı emisyonlarına bağlamaktadır. 1970 ile 2010 yılları arasındaki küresel sera gazı emisyonları değişimleri Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Küresel Sera Gazı Emisyon Değişimleri (IPCC, 2014)

Karbondiyoksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O) ve kloroflorokarbon (CFC) gazlarına benzeyen sera gazlarının artışları ile beraber atmosferdeki ozon (O₃) yoğunluğu da azalmaya başlamıştır. Sera gazlarında meydana gelen artış nedeni ile, şu an en büyük çevre sorunları içerisinde yer alan küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma problemi ortaya çıkmıştır. Özellikle fosil yakıtların kullanımı, yeşil alanların azaltımı, ormansızlaşma, endüstriyel sanayi aktiviteleri ve benzeri insan faktörleri neticesinde, sera gazı salınımları atmosferde hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Sonuçta, küresel anlamda, ortalama sıcaklık değerlerinin geçtiğimiz yüzyılda 0,4 – 0,8 °C değer aralığında artış gösterdiği gözlemlenmektedir (Özmen 2009).

Çizelge 1.1’de önemli sera gazlarının küresel ısınma potansiyeli değerleri, CO₂ eşdeğeri olarak gösterilmiştir. Bu tablodaki küresel ısınma potansiyeli, CO₂’ye kıyasla diğer gazların kaç kat daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Emisyon hesaplarının daha kolay şekilde yapılması amacıyla bu kıyaslamalar verilmiştir.

Çizelge 1.1. Sera gazları için küresel ısınma potansiyelleri (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sera Gazı Envanter Raporu, 2014)

Sera Gazı	Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)
CO ₂	1
CH ₄	28 t CO _{2 eq} / t CH ₄
N ₂ O	265 t CO _{2 eq} / t N ₂ O

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan 2023 Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu incelendiğinde, 2021 yılı içerisinde ülkemizdeki toplam sera gazları emisyonların 564,4 mt CO₂ eşdeğer olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır. Ve bu hesaplama göre, 2020 yılı için hesaplanmış olan 523,9 mt CO₂ eşdeğeri, bir önceki yıllara kıyaslandığında %7,7 artmıştır. 2021 yılı için hesaplanan sera gazı emisyonlarında en büyük değeri %71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar oluştururken, bunları sırayla %13,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı %12,8 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü izlemiştir.

1.1.1. Karbondiyoksit (CO₂)

Karbonun önemli bir bölümü atmosferde ve doğada karbondiyoksit şeklinde bulunmaktadır. Karbondiyoksitin oluşmasında rol oynayan bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlerden bazıları; orman ve diğer yangınlar, yanardağlarda meydana gelen volkanik patlamalar, kireçli kayalarda meydana gelen çözülmeler, fosil yakıt kullanımı, bazı karbonat içerikli kayaçların içeriğindeki karbondiyoksiti salınımı ve ölmüş canlıların çürümeleriyle karbondiyoksitlerin açığa çıkması olarak açıklanabilmektedir (Anonim, 2023a). Atmosferde bulunan ortalama CO₂ miktarının artışını yukarıda verilen etkiler haricinde endüstriyel sektörler de büyük ve önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle endüstri sektörünün yoğunluğunda kullanılan fosil yakıtlar, sera gazlarındaki artışta

önemli ölçüde rol oynamaktadır. Sanayi olarak gelişmiş ülkeler, doğalgaz gibi karbondioksit salınımları daha düşük olan yakıtları tercih ederken, sanayi olarak hala gelişmekte olan ülkelere sera gazı artışında önemli etkileri bulunan fosil yakıtların kullanımına devam etmektedirler. Özellikle gelişmekte olan bu ülkeler, fosil yakıtlar içerisinde bulunan kömürü sıklıkla kullanarak atmosferdeki CO₂ artışına neden olmaktadır. (Güller 2018).

1900'lü yıllardan sonra, atmosferde bulunan karbondioksit miktarının 350 ppm dolaylarında olduğu ve geçtiğimiz senelerde atmosferde yer alan CO₂ miktarının her geçen sene % 0,5 arttığı araştırmacılar tarafından tespit edilerek belirtilmektedir. Genelde, normal koşullarda atmosferdeki karbon dioksit (CO₂) konsantrasyonunun 300 ppm ile 400 ppm arasında olduğu gözlenmektedir. Ancak metropollerde, bu değerler 600 ppm ile 900 ppm arasında yüksek seviyelere çıkabilmektedir. Ortalama atmosferik CO₂ konsantrasyonu Mart 2022 itibarıyla 417 ppm değerine ulaşmıştır. Bilim insanları, 2060 yılında bu seviyenin 600 ppm'ye, 21. yüzyılın sonunda ise 1000 ppm'in üzerine çıkacağını öngörmektedirler (Tmmob, 2022).

Dünya Meteoroloji Örgütü (DMÖ) tarafından Bahreyn'de düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansı'nda, atmosferdeki karbondioksitin birikmesinden kaynaklanabilecek olası negatif etkilerden ilk kez bahsedilmiştir. DMÖ, Birleşmiş Milletler Çevresel Programı (BMÇP) ve Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (HAİDP) ile işbirliği yaparak, karbon ayak izi çalışmalarının temelini oluşturan sera gazı emisyon faktör verilerini içeren bir çalışma yayınlamıştır (Anonim, 2023b).

1.1.2. Metan (CH₄)

Metan bileşiminin içeriği, 4 tane hidrojen atomu ile 1 tane karbon atomudur. Metan gazı organik atıkların oksijensiz bir ortamda parçalanması sayesinde oluşmaktadır. Normal şartlar altında doğada gaz olarak bulunur. Kokusuz bir bileşendir. Karbondioksit ile karşılaştırıldığında dünya üzerinde yaklaşık 200 kat daha az bulunan bir sera gazıdır. Metan gazı da insan faaliyetleri sonucu oluşur ve atmosferde bulunma süresi yaklaşık 12 senedir. Bu faaliyetlere örnek olarak, evsel atık depolama alanları, petrol ve doğalgaz üretim tesisleri, gübre üretimi, madencilik faaliyetleri, sanayi tesisleri, bireysel ısınma sistemleri ve motorlu taşıtlar gösterilebilir (Oğuz, 2007). Sanayi devrimi ile, sera gazı miktarlarında artış gözlenmeye başlamıştır. Bu sera gazlarından bir tanesi de metan gazıdır. Atmosferde bulunan metan gazı konsantrasyonu sanayi devrimi öncesinden bugüne göre %150 artış göstermiştir (IPCC, 2006). CO₂'nin artmasıyla beraber buzulların erimesi de meydana gelmeye başlamıştır. Grönland'da bu konuda bir çalışma yapılmış ve özellikle yazları 600 km²'lik deniz bölgesinde buzulların erimesi nedeniyle denize akan sular ile 6 ton metan gazının da denize karıştığı analiz edilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarla, kutuplardaki buzulların alt kısmındaki toprakta biriken ve sıkışmış metan içeriğini tespit eden araştırmacılar, metan gazının buzul tabaka içerisinde oluşan anaerobik ortamda da yoğunlukla oluşabildiğini ispatlamışlardır (Anonim, 2023c).

1.1.3. Diazot monoksit (N₂O)

Azot bileşenlerinin en önemlisi olan N₂O diğer sera gazlarıyla karşılaştırıldığında doğal ortama ortalama olarak %15 kadar etkiye bulunmaktadır. Atmosfer tabakasında bulunan diazot monoksit, renksiz ve hoş kokulu bir gaz olup, yok olma ömrü yaklaşık 114 yıldır. Atmosfer tabakasındaki Diazotmonoksit konsantrasyonunun sanayi devriminden sonra %15 oranında fazlaştığı gözlemlenmiştir. N₂O da birçok sera gazında da olduğu gibi tarımsal ve gübre üretim faaliyetlerinden, ısınma nedenli yakıtların tüketimi, ulaşım kaynaklı taşıtlarda yakıt olarak kullanımı, atıksu arıtma tesislerinden ve nitrik asit üretimi gerçekleştiren tesislerden kaynaklanmaktadır (Anonim, 2023c, Güller, 2018).

1.1.4. Su Buharı (H₂O)

Diğer sera gazlarıyla kıyaslandığında su buharı daha yüksek oranda atmosferde bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu, H₂O ışık tutma kapasitesi yüksek ve uzun dalga boyuna sahip bir gazdır. Diğer sera gazlarıyla arasındaki en büyük farklardan biri ise su buharının antropojenik değil tamamen iklim sistemi kaynaklı oluşuyor olmasıdır. Sıcaklıkla beraber su buharlaşarak, atmosfere ulaşmakta ve sıcaklık değeri artış gösterdikçe dünyadaki su kaynaklarındaki buharlaşma miktarları da fazlaştırmaktadır. Atmosferde oluşabilecek su buhar miktarı arttıkça, daha fazla ısınmayla karşı karşıya kalınacağı düşünülmektedir (Bıyık, 2018, Dizdar, 2021).

1.1.5. Ozon (O₃)

Ozon gazı atmosferde bulunurluğu fazla olan bir gaz olup, hava kirliliğinde önemli rol oynayan NO_x ve hidrokarbonların güneş ışığı ile beraber reaksiyon oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Atmosferin troposfer katmanında meydana gelen ozon oluşumu, güneşten yayılan ve zararlı olan UV-A ışınlarının, element oksijenin diğer moleküllerle reaksiyonu sonucu meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda oksijenin sağlayamadığı yüksek enerjili ışınları bünyesinde tutmayı gerçekleştirir. Bu sebeple, yüksek sıcaklık olan dönemlerde ozon miktarında da artışlar gözlemlenebilmektedir. CFC'ler stratosferde bol miktarda bulunan UV-B ve UV-C ışınlarının troposfere gelmesini engellemesini sağlayan ozon gazı ile bileşik meydana getirerek, ozon gazı seviyesinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle güneşten dünyaya gelen UV ışınlarını ozon tabakasının engellemesi zorlaşmaktadır. Meydana gelen bu olay ozon tabakası incelmesi olarak da isimlendirilmektedir (Bıyık, 2018).

1.1.6. Kloroflorokarbon (CFC)

CFC'lerin küresel ısınmada rolü çok fazla olup, parçalanma süresi 100 yılı bulabilmektedir. CFC'ler atmosferde parçalanamıyor olup, ısı tutma oranları CO₂'ye kıyasla yaklaşık 20.000 kat daha fazladır (Uzunçakmak, 2014). Klor kaynaklı gazlar, CFC'ler, hidroflorokarbonlar (HCFC),

metil kloroform, karbon tetraklorid gibi bileşikler ve brom içeren gazlar, halonlar, metil bromid, hidrobroflorokarbonlar (HBFC) için yasal mevzuatlar ve düzenlemeler uygulanmıştır (Anonim, 2023e). CFC içeren bileşikler ise kullanımdan kaldırılmıştır. Kloroflorokarbonlar, alüminyum eritme, magnezyum dökümü gibi faaliyetler sonucunda ortaya çıkar ve ısımayı zorlama açısından etkileri düşüktür. Ancak, hızlı büyümeleri, uzun atmosferde kalış süreleri ve kızılötesi ışınları tutabilme yetenekleri nedeniyle iklim üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Çevirgen, 2009).

1.2. İklim Değişikliği

İklim değişikliği, tarihler boyunca süregelen olağan bir durum olmasına karşı, Sanayi Devrimi itibari ile, doğal gerçekleşen değişikliklere ilave olarak, ilk defa insan faaliyetlerinin de iklim değişikliği üzerinde rol oynamaya başladığı yeni bir dönem başlamıştır. Bu sebeple, iklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında, doğal iklim değişikliğine ek olarak insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atmosferin bileşimindeki değişiklikler olarak tanımlanmaktadır (Devlet Planlama Teşkilatı, 2000).

Mevcut iklim değişikliği dünya çapında birçok soruna neden olmaktadır, bunlar arasında iklim bölgelerinin değişmesi, ani hava değişimleri, bitki ve hayvan habitatlarının değişmesi, buzulların erimesi gibi etkiler bulunmaktadır.

İklim değişikliği, uzun dönemli sıcaklık ve hava modellerindeki değişiklikleri ifade eder. Bu değişiklikler doğal sebeplerle de meydana gelebilir, ancak insan faaliyetleri son yüzyılda iklim değişikliğinin ana itici gücü haline gelmiştir. Bunun temel nedeni, fosil yakıtların (petrol, kömür vb.) yakılmasıyla atmosfere salınan sera gazlarıdır, bu gazlar ısıyı hapseder.

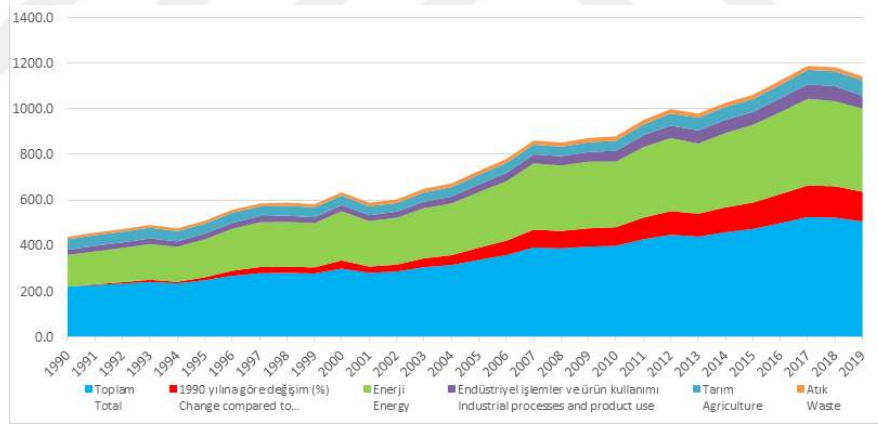
Fosil yakıtların kullanımı, arazi kullanımı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler ve ormansızlaşma nedeniyle atmosferdeki sera gazı miktarı ve yoğunluğu artmaktadır, bu da iklim değişikliğine yol açmaktadır. İklim değişikliğinin en önemli ve bilinen örnekleri şunlardır: kutuplardaki ısı artışı nedeniyle buzul erimeleri, deniz seviyesinin yükselmesi, seller, kıyı bölgelerde toprak kayıpları, temiz suların denizlere karışması, sıcaklık artışına bağlı olarak aşırı buharlaşma ve kuraklık nedeni ile meydana gelen yangınlar, ırmak ve göl su seviyelerinde azalma yaşanması, bazı bitki ve hayvan türlerinin yok olması, azalması gibi etkiler yer almaktadır.

1.2.1. Karbon Ayak İzi

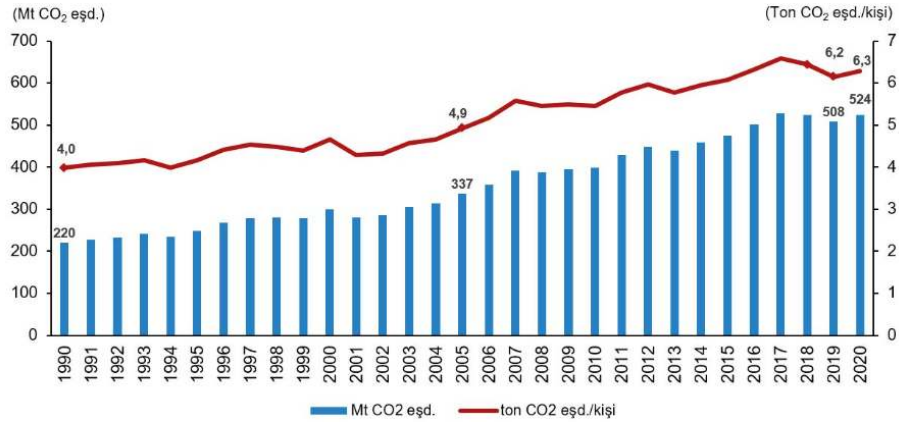
İnsan faaliyetleri sonucunda çevreye verilen zararın ölçüsü, karbon ayak izi olarak adlandırılan sera gazlarının (CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen) bir ölçüsü ile belirlenir. Karbon ayak izi, Kyoto Protokolü tarafından belirlenen üretim ve hizmet sektörü faaliyetleriyle ilişkili sera gazı etkilerinin karbondioksit (CO₂) olarak eşdeğer şekilde hesaplanmasıdır. Bu ölçüm, kurumlar ve firmalar tarafından ulusal yasal gereklilikler, kurumsal veya sosyal sorumluluk projeleri, müşteri talepleri, kuruluş imajı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için gönüllü veya zorunlu olarak

gerçekleştirilir. Karbon ayak izi hesaplamaları, karbon ticareti faaliyetleri kapsamında da değerlendirilir. Karbon ayak izinin kişisel ve kurumsal olmak üzere iki farklı türü bulunmaktadır (Bekiroğlu, 2011).

Yıllar içinde dünya nüfusunun artışı, sanayileşme ve şehirleşme gibi etkenler, enerji talebini hızla artırmıştır. İnsanlığın sürdürülebilir bir şekilde varlığını sürdürebilmesi için enerjiye olan ihtiyaç kaçınılmazdır. Günümüzde enerji gereksinimleri genellikle iki ana kaynaktan karşılanmaktadır: fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları. Dünya genelinde enerji talebinin büyük bir bölümü, petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların düşünmeden tüketilmesi, küresel ısınma, çevre kirliliği ve sera gazları gibi bir dizi soruna yol açmıştır. Karbon emisyonu da, çevresel açıdan ciddi bir sorun olan gazların atmosfere salınmasını ifade eder. Gerçekte, karbon emisyonları, sera gazı emisyonlarını temsil etmektedir. Sera gazlarının emisyonları, genellikle karbondioksit eşdeğerleri olarak ölçüldüğü için, küresel ısınma veya sera etkisi konuşulduğunda "karbon emisyonu" veya "karbon salınımı" terimleri kullanılır. Sera gazlarının çoğu içerisinde karbon molekülleri bulundurur. Kyoto Protokolü'nde sera gazları olarak kabul edilen altı gazdan dördünde karbon molekülleri yer almaktadır. karbon emisyonlarının sektörel bazda dağılımı Şekil 1.2.'de verilmiştir. Şekil 1.3'de Türkiye'de yıllara göre karbon emisyonlarının artış miktarı görülmektedir.



Şekil 1.2. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (IPCC, 2014)



Şekil 1.3. Türkiye’de karbon emisyon miktarlarının yıllara göre değişimi (TÜİK, 2022)

Karbon emisyonları hesaplanırken, endüstriler, kuruluşlar veya bireylerin ulaşım, ısınma, elektrik tüketimi gibi faaliyetlerinden dolayı oluşan, toplam sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsüdür.

Kurum ve kuruluşlar için yapılan karbon ayak izi hesaplamaları, Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonlarını içerir. Bu hesaplamalar, tüm sera gazı emisyonu kaynaklarını kapsayarak çevreye verilen zararın ayrıntılı bir şekilde gösterilmesini sağlar. Kapsam 1 emisyonları, doğrudan faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları temsil ederken, Kapsam 2 emisyonları, elektrik tüketimi gibi dolaylı kaynaklardan kaynaklanan emisyonları kapsar. Kapsam 3 emisyonları ise, kurumun faaliyetleriyle ilişkili tedarik zinciri, iş seyahatleri, atık yönetimi gibi dışsal kaynaklardan kaynaklanan emisyonları içerir. Bu kapsamların hesaplanması, kurumların çevresel etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde anlamalarına ve çevresel performanslarını değerlendirmelerine olanak tanır.

Yukarıda belirtilen kapsamların tanımları şu şekildedir:

- Kapsam 1: Kurumun sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan doğrudan olarak salınan emisyonları içerir. Bu emisyonlar genellikle yakıt tüketimi, üretim süreçleri veya endüstriyel faaliyetler gibi doğrudan kontrol edilebilen kaynaklardan kaynaklanır. Örnek olarak, kurumun kendi araçlarının veya üretim tesisinin doğrudan karbondioksit salınımı bu kapsam altında yer alır.
- Kapsam 2: Kurumun elektrik, ısı veya buhar gibi enerji kaynaklarını tedarik etmek için kullandığı kaynaklardan kaynaklanan dolaylı emisyonları içerir. Bu kapsamda, kurumun satın aldığı elektrik veya diğer enerji kaynaklarının üretimi sırasında ortaya çıkan emisyonlar yer alır. Örneğin, elektrik enerjisinin fosil yakıtlarla üretildiği bir bölgede faaliyet gösteren bir kurumun, tedarik ettiği elektrik kullanımından kaynaklanan karbondioksit emisyonları bu kapsamda değerlendirilir.

- Kapsam 3: Kurumun değer zinciri boyunca yürüttüğü faaliyetlerden kaynaklanan diğer dolaylı emisyonları içerir. Bu kapsam, kurumun tedarik zinciri, iş seyahatleri, ürünlerin kullanımı, atık yönetimi gibi faktörlerden kaynaklanan emisyonları kapsar. Örnek olarak, tedarikçilerin üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonlar, müşteri kullanımından sonra ortaya çıkan emisyonlar veya iş seyahatleri sırasında salınan emisyonlar bu kapsam altında değerlendirilir.

Karbon ayak izi hesaplamaları bu üç kapsamı dikkate alarak kurumların genel emisyon profillerini belirlemeye ve çevresel etkilerini değerlendirmeye yardımcı olur.

Dünya Ekonomik Forumu'nun sunmuş olduğu Küresel Tehlikeler Raporu, 2017 yılından itibaren çevre ve iklim sorunlarına öncelik verme eğilimindedir. İklim felaketleri, kasırgalar, sıcaklık artışı, sel gibi doğal afetlerin sıklığı ve şiddetini artırarak, ekonomik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca, yağışların sıklığı ve miktarındaki değişiklikler nedeniyle kuraklık artış göstermekte, su kaynaklarını olumsuz etkilemekte ve iklimsel göçleri teşvik etmektedir. Küresel ısınmanın hızını yavaşlatmak için sera gazı emisyonlarının azaltılması, özellikle enerjinin karbon emisyonlarının azaltılması, önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, işletmelerin çevresel etkilerini azaltmak için düşük karbon içeren enerji kaynaklarına, özellikle rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerjilere yatırım yapmaları gerekmektedir.

1.3. Yasal Gelişmeler

İklim değişikliğiyle mücadele çalışmaları, uluslararası boyutta 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen İnsan Çevresi Konferansı ile başlamış olup, 1992 yılında Rio Konferansı'nın ardından Birleşmiş Milletler bünyesinde küresel bir mücadele olarak sürdürülmektedir.

1.3.1. Dünya Çevre Zirvesi: Stockholm “İnsan Çevresi Konferansı”

5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında gerçekleştirilen konferans, 86 ülkenin çevre sorunlarıyla ilgili bildiriler sunarak önemli bir platform olmuştur. Bu konferansta çevre hakkı ve ortak sorumluluk kavramları vurgulanmış ve ekonomik ve sosyal gelişmenin çevrenin korunması ve geliştirilmesinin ön koşulu olduğu ifade edilmiştir. Bu bağlamda, kalkınmanın çevre korumasıyla birlikte ele alınması gerektiği ilk defa dile getirilmiştir. Ayrıca, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Çevre Fonu'nun kurulması kararları da bu konferansta alınmıştır (İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu, Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

1.3.2. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), Birleşmiş Milletler' in iklim değişikliğiyle ilgili bilimsel değerlendirme organıdır. 1988 yılında BM Genel Kurulu tarafından onaylanan IPCC, dünya çapında iklim değişikliğiyle ilgili en kapsamlı bilimsel raporları

hazırlamaktadır. IPCC altı değerlendirme raporuyla iklim değişikliği konusunda bilimsel bir temel oluştururken, aynı zamanda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), hükümetler ve uluslararası kuruluşlar tarafından talep edilen belirli bilimsel ve teknik konularda metodoloji raporları, özel raporlar ve teknik makaleler hazırlamaktadır. IPCC, üç tane çalışma grubu ve bir görev gücünden oluşmaktadır. Çalışma Grubu I, iklim değişikliğinin fiziksel bilim temelleriyle ilgilenirken, Çalışma Grubu II, iklim değişikliğinin etkileriyle uğraşmakta ve Çalışma Grubu III, uyum, kırılganlık ve iklim değişikliğinin azaltılması konularına odaklanmaktadır. Ulusal Sera Gazı Stokları Görev Gücü ise ulusal sera gazı emisyonlarının ve giderlerinin hesaplanması ve raporlanması için metodoloji geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1.3.3. II. Dünya Çevre Zirvesi: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED)

3-14 Haziran 1992 tarihleri arasında Rio de Janeiro'da düzenlenen konferansa 64 Devlet Başkanı, 46 Hükümet Başkanı ve 8 Başkan Yardımcısı ile birlikte bir çok ilgili delegeler katılmıştır. Bu konferansın beş önemli sonucu bulunmaktadır. Bunlar şunlardır:

- İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC): Konferans, iklim değişikliğiyle mücadele için uluslararası bir çerçeve olan İklim Değişikliği Sözleşmesi'ni kabul etmiştir.
- Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi: Konferans, dünya genelinde biyolojik çeşitliliği korumak ve sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek amacıyla Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'ni imzalamıştır.
- Rio Deklarasyonu: Konferansta alınan kararlar ve taahhütlerin yanı sıra, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma konularında politik iradeyi vurgulayan Rio Deklarasyonu kabul edilmiştir.
- Gündem 21: Konferans, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek ve çevresel sorunları ele almak için küresel bir eylem planı olan Gündem 21'i oluşturmuştur.
- Ormanların Korunması ve Geliştirilmesine İlişkin Prensipler Listesi: Konferans, ormanların sürdürülebilir yönetimi, korunması ve restorasyonuna ilişkin prensipleri içeren bir liste oluşturmuştur.

Bu sonuçlar, Rio Konferansı'nın önemli başarılarını temsil eder ve iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik, sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma konularında uluslararası iş birliğini teşvik etmektedir.

1.3.4. İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC-BMİDÇS)

İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC), küresel iklim değişikliği ile mücadelede uluslararası hukuki bir çerçeve sağlayan temel bir anlaşmadır. Bu anlaşma, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim konusundaki etkilerine karşı küresel bir tepki olarak kabul edilmektedir.

UNFCCC'ye, Türkiye dahil olmak üzere 196 ülke ve Avrupa Birliği (AB) taraf olarak katılmıştır. Sözleşme, 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiş ve Türkiye, 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf olmuştur.

UNFCCC'nin 2. maddesi, sözleşmenin nihai amacını "Sözleşme'nin ilgili hükümlerine göre, atmosferdeki sera gazı miktarlarını, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir miktarda tutmayı başarmak" olarak tanımlamaktadır. Bu hedef, ekosistemlerin doğal olarak iklim değişikliğine uyum sağlayabilmesi, gıda üretimini tehdit etmemesi ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın devam etmesi için belirli bir zaman çerçevesi içinde gerçekleştirilmelidir.

Anlaşma, katılımcı ülkeleri sera gazı emisyonlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji transferi konularında iş birliği yapmaya ve sera gazı yutaklarını (ormanlar, okyanuslar, göller vb.) korumaya yönlendirmeyi amaçlamaktadır. Anlaşmanın yürürlüğe girdikten bir yıl sonra, 28 Mayıs-7 Nisan 1995 tarihleri arasında, sözleşmeye taraf ülkelerin katılımıyla ilk Taraflar Konferansı (COP1) Berlin'de düzenlenmiştir ve bu tarih itibarı ile Taraflar Konferansı her sene düzenli olarak gerçekleştirilmektedir.

1.3.5. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla hazırlanmış ve bir uygulama protokolüdür. Protokol, sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda gelişmiş ülkelerin bağlayıcı hedefler üstlenmelerini amaçlamaktadır.

Kyoto Protokolü, 1997 yılında imzalanmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Protokol, imzalandığı dönemde sera gazlarının %55'ini oluşturan ülkeler tarafından imzalanması şartını öngörmüştür. Protokolün hedefi, birinci taahhüt dönemi olan 2008-2012 yılları arasında sera gazı emisyonlarını, 1990 yılına göre %5 oranında azaltmaya yönelik taahhütlerin yerine getirilmesidir.

Kyoto Protokolüne 191 ülke ve AB taraf olup, Türkiye ise 2009 yılında taraf olmuştur. Ancak Türkiye, Protokolün birinci ve ikinci döneminde herhangi bir sayısallaştırılmış sera gazı azaltım hedefi taşımamaktadır. Protokolün Ek-I ülkeleri, yani azaltım hedefleri olan ülkeler, Ek-B listesini oluşturmaktadır. Ek-B listesinde yer alan ülkelerin sera gazı emisyonlarının toplamı, 1990 yılı seviyesinin %5 altına düşürülmesi hedeflenmektedir. Protokolün ikinci taahhüt dönemi olan 2013-2020 yılları için Ek-B listesinde yer alan ülkelerin emisyonlarını en az %18 oranında azaltması kararlaştırılmıştır.

Protokole taraf olan diğer ülkeler ise Ek-Dışı ülkeler olarak adlandırılmakta ve sayısal emisyon azaltım yükümlülükleri bulunmamaktadır.

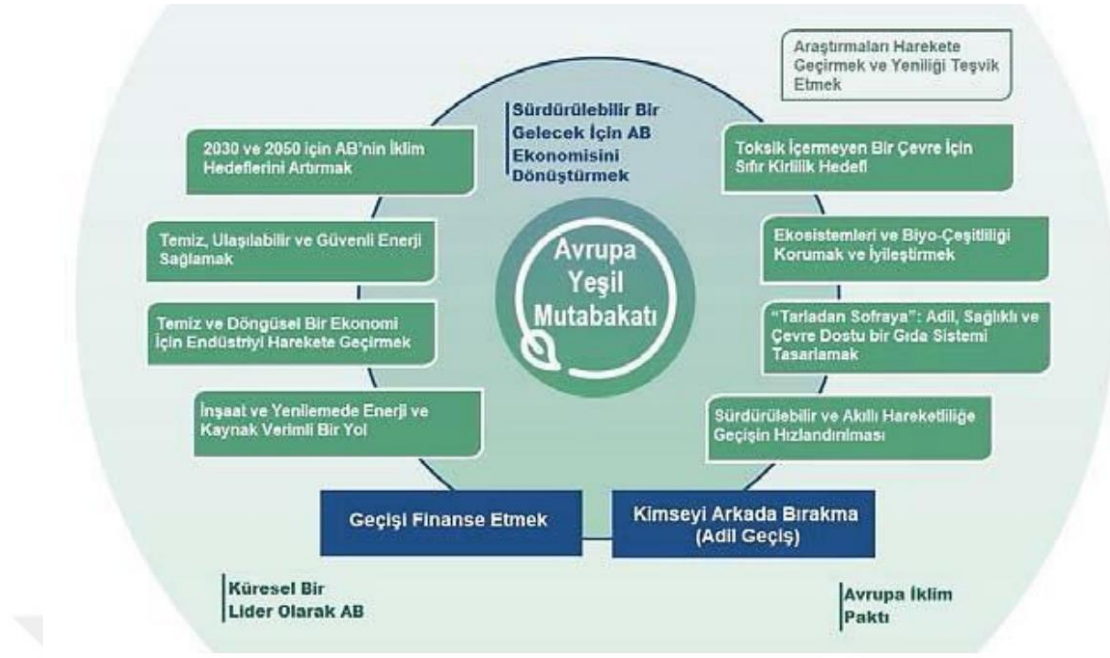
Türkiye, Kyoto Protokolüne taraf olmasına rağmen Ek-B listesine dahil edilmediği için sayısal emisyon sınırlandırma/azaltım taahhüdü bulunmamaktadır. Bu durum, Türkiye'nin Kyoto Protokolü kapsamında diğer ülkelerle aynı şekilde belirlenmiş hedefleri taşımadığı anlamına gelmektedir.

1.3.6. Paris Anlaşması

Kyoto Protokolünde belirlenen sürenin bitmesiyle beraber Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilerek iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası bir çerçeve haline gelmiştir. Anlaşmanın yürürlüğe girebilmesi için küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 ülkenin anlaşmayı onaylaması gerekmekte olup, bu koşul 5 Ekim 2016 tarihinde sağlanmış ve anlaşma 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Paris Anlaşması, kabulünden kısa bir süre sonra uygulamaya geçen ilk küresel anlaşmadır. Anlaşma, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında ulusal katkılar, emisyon azaltımı, uyum, kayıp/zarar, finansman, teknoloji geliştirme ve transferi, kapasite geliştirme, şeffaflık ve durum değerlendirmesi gibi konulara ilişkin uygulama usullerini belirlemektedir. Aynı zamanda, anlaşmanın amacı, 2020 sonrası süreçte küresel sosyo-ekonomik dayanıklılığı artırarak iklim değişikliği riskine karşı önlem almaktır. Anlaşmanın uzun vadeli hedefi, endüstri öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışını mümkün olan en düşük seviye olan 2°C'nin altında tutmaktır. Bu hedefin gerçekleştirilmesi, fosil yakıtların (petrol, kömür) kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerjiye geçiş gerektirmektedir. Ayrıca, Paris Anlaşması, Sözleşme'nin uygulanmasını güçlendirmek için ilk kez uzun vadeli sıcaklık artışı hedefi belirlemiş ve küresel sıcaklık artışını 1,5-2°C arasında sınırlama hedefini benimsemiştir. Türkiye, Paris Anlaşması'nı 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamıştır. Ulusal Beyanımızda, gelişmekte olan bir ülke olarak Paris Anlaşması'nı imzaladığımız vurgulanmıştır. Anlaşma, Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 6 Ekim 2021 tarihinde onaylanmış ve yürürlüğe girmiştir.

1.3.7. Avrupa Yeşil Mutabakatı

Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2019 Kasım ayında açıklanmış olup, sera gazlarının azaltımı, enerjide yenilenebilir enerjilere teşvik benzeri önemleri içeren, sürdürülebilirlik ve çevre açısından atılacak adımların taahhüttü olan bir program paketidir. Avrupa Birliği yeşil mutabakatı bağlamında, 2050 yılına gelindiğinde karbon nötr ilk kıta olunması hedefini belirlemiştir. Ve ayrı olarak, ekonomik büyümenin hammadde ve kaynak kullanımına bağlı olmasının sona erdirilmesi, hiçbir ülke ve bölgenin geride kalmamasını hedefleyen stratejidir. Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2050 yılına kadar Avrupa Birliği'ni iklim nötr bir kıta yapma hedefini benimsemektedir. Bu hedef, daha temiz bir çevre, ucuz temiz enerji, akıllı ulaşım, döngüsel ekonomi ve yeni iş fırsatları gibi çeşitli politikaları uygulayarak yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı, bu hedeflere ulaşmak için kullanılmak üzere 1 trilyon €'dan fazla finansman kaynağı içeren bir dizi finansman mekanizması sunmaktadır. Bu yatırımlar, AB'nin ekonomik büyümesinin iklim değişikliği üzerindeki etkisini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, BM'nin 2030 gündemi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu olan Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB ekonomisinin sürdürülebilir bir geleceğe dönüşmesini simgeliyor. Şekil 1.4.'de Avrupa Yeşil Mutabakatının kapsamı gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Avrupa Yeşil Mutabakatı (Avrupa Komisyonu)

AB'nin çevresel hedeflerine ulaşması tek başına mümkün değildir, çünkü iklim değişikliği, çevre kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi sorunlar ulusal sınırları aşan küresel meselelerdir. Bu nedenle AB, diğer ülkelerin katılımını sağlayarak güçlü iş birlikleri kurmayı planlamaktadır. Avrupa Komisyonu, 2050 yılına kadar iklim nötr olma hedefine ilişkin net bir çerçeve sunmaktadır. AB, bu hedefe ulaşmak için yaptığı modernizasyon ve dönüşüm çalışmaları sayesinde 1990-2018 döneminde ekonomik büyümeyi %61 artırırken sera gazı emisyonlarını %23 azaltmayı başarmıştır. Ancak, mevcut politikaların sürdürülmesi durumunda, sera gazı emisyonlarının 2050'ye kadar yalnızca %60 azalacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, kapsamlı eylem planlarının hızla ve tavizsiz bir şekilde uygulanması AB'nin hedeflerine ulaşması için büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, diğer paydaşların AB'nin hedeflerini benimsememesi durumunda üretim emisyon azaltımının diğer ülkelere kayabileceği bir karbon kaçağı riski bulunmaktadır. Bu nedenle AB, karbon kaçağı riskini azaltmak için sınırda karbon düzenleme mekanizmalarını uygulamayı planlamaktadır. Küresel iklim hedeflerini gerçekleştirmek için sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarına odaklanmak büyük önem taşımaktadır. AB'nin sera gazı emisyonlarının %75'ten fazlası enerji üretimi ve kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir enerji sektörünün geliştirilmesi, altyapının oluşturulması ve enerji üretim ve kullanımının verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, enerji arzının işletmeler ve tüketiciler için uygun maliyetli olması için enerji piyasasının entegrasyonu ve dijitalleşmesi sağlanmalıdır. AB, akıllı ve entegre bir enerji sistemi oluşturmak için çeşitli stratejiler ve düzenlemeler getirmektedir. İklim nötrlüğe geçişte akıllı şebekeler, hidrojen ağları ve enerji depolama gibi yenilikçi teknolojilere odaklanma ve enerji sektöründe dönüşüm, güncelleme ve entegrasyon için gerekli teşvikleri sağlama konularında çaba sarf etmektedir.

Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKD)

Karbon vergisi, ton başına sera gazı emisyonlarını  cretlendiren bir sistem üzerine kurulmuştur. Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), belirli bir yönetim alanında toplam sera gazı emisyonlarını sınırlayarak emisyon azaltmayı amaçlamaktadır. Son yıllarda, ETS uygulaması, iklim değişikliği ile mücadele maliyetini azaltması nedeniyle daha fazla önem kazanmıştır. ETS sistemi içinde, belirli bir alan içinde izin verilen sera gazı emisyonunu aşan şirketler, fazla emisyonlarını satın alarak ya da ceza ödeyerek telafi etmek zorundadır. 2020 itibariyle, 28 farklı ETS sistemi arasında, Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB-ETS), kapsadığı sera gazı emisyonu ve ticaret hacmi açısından en büyüğüdür.

Ancak, karbon fiyatlandırma politikaları aynı zamanda karbon kaçağı riskini de beraberinde getirmektedir. Karbon fiyatlandırma politikalarının bir bölgede uygulanması sonucunda, bu politikaların uygulanmadığı diğer bölgelerdeki emisyon artışı, karbon kaçağı olarak adlandırılır ve hem haksız rekabete yol açar hem de iklim değişikliği ile mücadeleyi olumsuz etkiler.

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın önemli bir parçası olması beklenen sınırdaki karbon düzenleme (SKD) mekanizması, karbon fiyatlandırma politikalarının uygulanmadığı bölgelerden AB pazarına girecek ürünlere gümrükte karbon fiyatı uygulanmasını ve böylece karbon kaçağını  nemeyi hedeflemektedir. SKD mekanizmasının ayrıntıları bu yıl içinde açıklanacak ve 2023 itibariyle uygulanacaktır. İlk başta elektrik üretimi,  imento,  elik, alüminyum, petrol rafinerileri, kimyasal maddeler, cam ve kağıt gibi enerji yoğun sektörleri kapsayacağı düşünülmektedir.

2020 verilerine göre Türkiye'nin ihracatının %41'i AB ülkelerine yapılmaktadır. Bu nedenle, ülke ticaretini ve sanayisini önemli ölçüde etkilemesi beklenen düzenlemelerin etkilerini azaltmak ve hatta bu etkileri fırsata dönüştürmek mümkün görünmektedir. Bu nedenle, Avrupa Yeşil Mutabakatı açıklandıktan sonra ilgili bakanlıklar liderliğinde çeşitli kurumlar ve özel sektörlerin katkı sağladığı çalışmalara başlanmış ve sekiz ana başlıkta toplanan bir eylem planı hızla oluşturulmuştur. Süreç içinde AB ile görüş ve öneriler paylaşılmaya devam edilmekte ve AB  yesi ülkelerle ekonomik ilişkilerin geliştirilmesine yönelik temaslar sürdürülmektedir.

Günümüzde, iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik endişeleri, otomotiv endüstrisini farklı düzenlemeler ve politika önlemleriyle karşı karşıya bırakmıştır. Bu bağlamda, Karbon Emisyonları Sınırdaki Düzenleme (SKD) mekanizması, otomobil endüstrisi için önemli bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır. SKD, karbon emisyonlarını ithalat ve ihracat noktalarında düzenleyerek, otomobil üreticilerini karbon ayak izlerini azaltma yönünde teşvik etmektedir. Bu, otomobil üreticilerini daha verimli motorlar, hafif malzemeler ve  evre dostu üretim süreçleri gibi çözümler geliştirmeye y nlendirebilirken, aynı zamanda üretim maliyetlerini artırabilir.

Otomotiv sektörü, SKD mekanizması nedeniyle rekabet koşulları açısından yeni bir düzenleme ile karşı karşıya bulunmaktadır. Yabancı otomobil üreticileri için karbon düzenlemeleri, ithalat ürünlerinin rekabet gücünü etkileyebilir ve uluslararası ticarete dengesizliklere yol açabilir.

Aynı zamanda, yerel pazarlarda tüketici tercihlerini de değiştirebilir. Daha az karbon emisyonuna sahip araçlar, tüketiciler tarafından daha fazla talep görebilir ve bu da otomobil üreticilerini ürün yelpazelerini yeniden şekillendirmeye yönlendirebilir.

Ancak, otomotiv sektörü için SKD, çevre dostu ve sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesine ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir fırsat sunabilir. Üreticiler, karbon düzenlemelerine uyum sağlamak ve gelecekteki talebi karşılamak için inovasyona yatırım yapabilirler. Bu bağlamda, yüksek teknolojiye sahip ve daha az karbon emisyonlu araçlar, sektörün gelecekteki önceliklerinden biri olabilir.

1.3.8. Avrupa İklim Yasası

AB'nin iklim temelli hedeflerini gerçekleştirmek için attığı politik adımlardan biri, Avrupa İklim Yasası'dır. AB, Paris Anlaşması'na olan bağlılığını teyit etmek amacıyla Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı onaylamış ve bu yasa aracılığıyla iklim hedeflerine geri dönüşü olmayan bir şekilde ulaşmayı amaçlamaktadır. Avrupa İklim Yasası, 9 Temmuz 2021 tarihinde Resmi Gazete 'de yayımlanmış ve 29 Temmuz 2021 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yasa, 2050 yılına kadar Avrupa ekonomisi ve toplumu için iklim-nötr hedefinin bağlayıcı mevzuata dökülmüş bir unsuru olarak öne çıkmaktadır.

Yasa aynı zamanda, net sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 1990 yılındaki seviyelere göre en az %55 oranında azaltılması için ara hedeflerin belirlenmesini de öngörmektedir. İklim-nötr hedefi, 2050 yılına kadar AB ülkeleri için emisyonları azaltarak, yeşil teknolojilere yatırım yaparak ve doğal çevreyi koruyarak net sıfır sera gazı emisyonu elde etmeyi amaçlamaktadır.

Yasa ayrıca, AB'nin karbon havuzunu geliştirme ihtiyacını tanımak amacıyla Komisyon tarafından Temmuz 2021'de sunulan daha iddialı bir Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık düzenlemesine dikkat çekmektedir. Bu düzenleme, ülkemiz için de önemli olan bir adımdır. Yasa, farklı ekonomik sektörlerde iklim-nötr hedefine yönelik yol haritalarının belirlenmesi için sektörlerle etkileşim ve işbirliği taahhüdü sunmaktadır. Tarım sektörü de bu sektörler arasında önemli bir konumdadır ve yasa, tarım çerçevesi ile AB tarımının dönüşümünün yanı sıra Paris Anlaşması'na taraf olan ülkemizin tarımsal üretim yapısının iklim temelli dönüşümünde de rol oynamayı hedeflemektedir.

Avrupa İklim Yasası'nın hedefleri şunlardır:

- Uzun vadeli seyahat yönünü belirlemek: Yasada belirtilen hedef, 2050 iklim-nötr hedefine tüm politikalarla, sosyal açıdan adil ve uygun maliyetli bir şekilde ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu, Avrupa'nın uzun vadeli iklim politikalarını belirleyerek sürdürülebilir bir geleceğe yönelik yol haritasını oluşturmayı içermektedir.

- Daha iddialı bir AB 2030 hedefi belirlemek: Yasaya göre, Avrupa'yı 2050 yılına kadar iklim açısından nötr hale getirmek için daha iddialı bir AB 2030 hedefi belirlenmesi gerekmektedir. Bu, kısa vadeli hedeflerin belirlenerek Avrupa'nın hızla iklim değişikliğiyle mücadele etmesini ve sürdürülebilir bir gelecek için önemli adımlar atmasını sağlamayı amaçlamaktadır.
- İlerlemeyi izlemek için bir sistem oluşturmak: Yasada, iklim hedeflerine ulaşma sürecini izlemek ve değerlendirmek için etkili bir izleme sistemi oluşturulması öngörülmektedir. Bu sistem, ilerlemenin takip edilmesini, gerektiğinde düzeltici önlemler alınmasını ve politikaların etkinliğinin değerlendirilmesini sağlayarak sürecin şeffaflığını ve hesap verilebilirliğini artırmayı hedeflemektedir.
- Öngörülebilirlik sağlamak: Yasada, yatırımcılar ve diğer ekonomik aktörler için iklim politikalarının öngörülebilirlik sağlaması vurgulanmaktadır. Bu, iş dünyası ve yatırımcıların uzun vadeli planlamalarını yapabilmelerini, sürdürülebilir ve iklim dostu yatırımlara yönelmelerini teşvik etmeyi amaçlamaktadır.
- Geri dönüşü olmayan iklim-nötre geçiş: Yasada belirtilen hedeflerin gerçekleştirilmesiyle, iklim-nötre geçişin geri döndürülemez olduğunu ve sürdürülebilir bir geleceğin inşa edildiğini sağlamak hedeflenmektedir. Bu, iklim değişikliğiyle mücadelede kararlılığın ve sürekliliğin sağlanmasını, toplumun ve ekonominin iklim-nötr bir yapıya dönüşmesini ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılmasını hedeflemektedir.

Avrupa İklim Yasası, Avrupa Birliği'nin iklim değişikliğiyle mücadelede kararlı bir şekilde ilerlemesini sağlayan önemli bir adımdır. Yasada belirlenen hedefler, iklim değişikliğine yönelik acil eylemler ve uzun vadeli bir planın oluşturulması gerekliliğini vurgulamaktadır. 2050 iklim-nötr hedefine ulaşmak için politikaların tüm alanlarda sosyal açıdan adil ve uygun maliyetli bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, daha iddialı bir AB 2030 hedefi belirleyerek kısa vadeli hedeflere odaklanmak ve hızla ilerleme kaydetmek önemlidir. Yasada öngörülen izleme sistemi, ilerlemenin sürekli takip edilmesini ve gerektiğinde düzeltici önlemler alınmasını sağlamaktadır. Böylece politikaların etkinliği değerlendirilebilir ve sürecin şeffaflığı artırılır. Yatırımcılar ve diğer ekonomik aktörlere sağlanacak öngörülebilirlik, sürdürülebilir ve iklim dostu yatırımların teşvik edilmesini sağlayacak ve bu alanda ilerlemeyi hızlandıracaktır. En önemlisi, bu yasayla iklim-nötre geçişin geri dönüşü olmayan bir süreç olduğu vurgulanmaktadır. Avrupa İklim Yasası, iklim değişikliğiyle mücadelede kararlılığın ve sürekliliğin sağlanması, toplumun ve ekonominin iklim-nötr bir yapıya dönüşmesi ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılması için önemli bir çerçeve oluşturmaktadır.

1.4. ISO 14064 Sera Gazı Standardı

ISO 14064 Sera Gazı Standardı, sera gazı emisyonlarının etkin bir şekilde hesaplanması, izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması için kullanılan uluslararası bir standarttır. Bu standardın amacı, sera gazı emisyonlarının kontrolünü sağlamak, azaltma çabalarını yönlendirmek ve şeffaflığı artırmaktır. ISO 14064, CO₂, CH₄, N₂O gibi sera gazlarının ölçüm ve raporlamasını kapsar. Bu standart, organizasyonlara, sera gazı envanterlerini oluşturma, emisyonları izleme ve raporlama konusunda rehberlik etmektedir. Standart, sera gazı emisyonlarının kaynaklarına göre sınıflandırılmasını ve izlenmesini sağlar. Ayrıca, doğrulama ve doğrulama kuruluşlarıyla iş birliği yaparak raporlanan emisyon verilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için bir çerçeve sunar. ISO 14064 Sera Gazı Standardı, ulusal ve uluslararası düzeyde sera gazı emisyonlarının hesaplanmasını ve izlenmesini standardize ederek, bu verilerin karşılaştırılabilirlik ve güvenilirlik sağlamasına katkıda bulunur. Bu da sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda daha etkili politika ve önlemlerin geliştirilmesine yardımcı olur.

Sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve raporlanması, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adımdır. ISO 14064 Sera Gazı Standardı, bu süreci standartlaştırarak organizasyonların sera gazı emisyonlarını daha iyi anlamasını, azaltma stratejilerini belirlemesini ve ilerlemeyi izlemesini sağlar. Bu da hem kurumsal sorumluluk bilincini artırırken hem de küresel iklim hedeflerine ulaşmak için etkili önlemler alınmasına katkı sağlar.

Bu standart Çizelge 1.2.'de görüldüğü üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

Çizelge 1.2. ISO 14064 standardı bölümleri (Anonim, 2023f)

ISO 14064 Bölümleri	ISO 14064 Standart İçeriği
ISO 14064-1	Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler
ISO 14064-2	Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının veya Uzaklaştırma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler
ISO 14064-3	Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına ve Onaylanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler

1.4.1. ISO 14064-1

ISO 14064-1, sera gazı envanterlerinin planlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanmasıyla ilgili ayrıntılı bilgiler sunan uluslararası bir standarttır. Bu standart, organizasyonlara ve işletmelere sera gazı emisyonlarını ölçme ve raporlama konusunda bir çerçeve sunmayı amaçlar. Sera gazı emisyonlarının hesaplanması sürecini yönetmek, emisyon azaltma

tedbirlerini belirleme ve uygulama sürecinde rehberlik etme gibi amaçları vardır. Ayrıca, emisyonların belirlenmesi için hesaplama metodolojilerini, emisyon azaltma tedbirlerinin oluşturulması ve faaliyete geçirilmesi için gereken adımları içermektedir. Doğrulama faaliyetlerini yönetmek için kalite yönetimi, raporlama, iç tetkik ve kuruluşun sorumluluklarıyla ilgili şartları da kapsar. ISO 14064-1'nin kullanımı, sera gazı emisyonlarının sistematik bir şekilde ölçülmesini ve raporlanmasını sağlayarak kuruluşların daha etkili stratejiler geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, emisyonların doğrulanmasını ve güvenilirliklerini artırır. Bu standardın küresel olarak sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve yönetilmesi için bir kılavuz sağladığı ve çevresel performansın izlenmesi ve raporlanması için bir çerçeve sunduğu da unutulmamalıdır. Bu da sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

1.4.2. ISO 14064-2

ISO 14064-2 standardı, kuruluşların sera gazı emisyonlarını azaltmak için özel olarak tasarlanmış projeler ve bu projelerin etkisiyle gerçekleştirilen faaliyetlere odaklanmaktadır. Bu standardın temel amacı, projenin belirlenen hedefler doğrultusunda yürütülmesini sağlamak ve projenin performansını izlemek, değerlendirmek ve raporlamaktır. ISO 14064-2, projenin başlangıcından sonuna kadar ilke ve şartlar sunarak, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik projelerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu standart, kuruluşların çevresel performanslarını iyileştirmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir çerçeve sunar. Projelerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için izleme, değerlendirme ve raporlama süreçlerini kapsar. ISO 14064-2, kuruluşların çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olurken, projelerin etkinliğinin ölçülmesini ve raporlanmasını sağlayarak şeffaflığı artırır.

1.4.3. ISO 14064-3

ISO 14064-3, sera gazı envanterlerinin doğrulanması ve geçerliliği için ilkelere ve ayrıntılı bilgilere odaklanmaktadır. Bu standart, kuruluşların veya projelerin sera gazı beyanlarının değerlendirilmesi gibi bileşenleri belirleyerek sera gazı değerlendirme süreçlerini kapsar. Sera gazı beyanlarının geçerliliğini doğrulamak için kuruluşlar ve bağımsız kullanıcılar tarafından tercih edilir. ISO 14064-3, doğrulama sürecinin şeffaflığını ve güvenilirliğini artırarak sera gazı envanterlerinin projelerini doğrulama ve geçerli kılma konusunda rehberlik sağlar. Bu standardın kullanımı, kuruluşların ve projelerin sera gazı emisyonlarını objektif bir şekilde değerlendirme ve raporlama yeteneklerini güçlendirir ve çevresel performanslarını iyileştirmelerine yardımcı olur.

1.4.4. ISO 14064 Faydaları

ISO 14064 standardının faydaları arasında şunlar yer almaktadır: Sera gazı hesaplaması sayesinde kuruluşlar çevresel boyutun farkındalığını artırabilir, emisyon azaltımı için yapılan projelerin izlenmesi, raporlanması ve tutarlılığı sağlanabilir. Ayrıca, standart şeffaflığı ve

güvenilirliği artırarak kuruluşların sera gazı emisyonlarını yönetim stratejilerini geliştirme ve uygulama süreçlerini kolaylaştırır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve emisyon uzaklaştırma projelerinin etkisinin görülmesi, artış performansının iyileştirilmesi ve izlenmesi ISO 14064 sayesinde kolaylaşır. Standardın bir diğer faydası, sera gazı emisyon azaltımlarının kredilendirme ve ticaretini kolaylaştırmasıdır.

Ülkemizde, Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Yönetmeliği ile Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Tebliği gibi düzenlemeler, sera gazı emisyonlarını belli bir sınırın üzerinde olan işletmeler için izlenmesi ve doğrulanmasını gerektirmektedir. ISO 14064 standardına uygun işleyen şirketler, sadece uluslararası kabul görmüş bir standart çerçevesinde faaliyet göstermekle kalmayacak, aynı zamanda ülke yasal gereksinimlerini de yerine getirmiş olacaklardır. Sera gazı envanterlerini veya sera gazı salınımlarını azaltan projelerin doğrulama onaylama işlemleri ise ISO 14065 standardı ile gerçekleştirilir. Bu doğrulama süreci, yönetmelik kapsamında belirlenen doğrulayıcı kuruluşlar tarafından yürütülür. Doğrulayıcı kuruluşlar, sera gazı envanterinin uygunluğuyla ilgili bir rapor hazırlarlar ve uygun olduğu takdirde sera gazı emisyon raporunu onaylarlar. Bu sayede, kuruluşlar ulusal düzeyde yasal gereklilikleri yerine getirmenin yanı sıra uluslararası standartlara da uyum sağlamış olurlar (Dindar, 2021).

1.5. Karbon Emisyonlarının Canlılar Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliğinin etkileri çeşitli alanlarda kendini gösterirken, insanlar üzerindeki en yıkıcı etkileri doğal felaketler aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Bu felaketler, atmosfer ve iklim, buzullar, kar, buz, deniz sistemleri, karasal ekosistemler, biyolojik çeşitlilik, su, tarım, ekonomi ve insan sağlığı gibi farklı kategorilerde olumsuz etkilere yol açar. Fosil yakıt kullanımına bağlı hava kirliliği, enerji üretim tesisleri, motorlu taşıtlar, ısınma amaçlı yakıtlar ve sanayi kuruluşlarından kaynaklanan bir çok etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra, atmosferdeki artan sıcaklık, kuru hava ve büyük orman alanlarında ot yangınlarına neden olarak geniş alanlara yayılmasına, ağaçların yok olmasına, bitki örtüsünün zarar görmesine ve orman canlılarının hayatını kaybetmesine yol açar. Örneğin, 2020'deki Avustralya yangınları, bu tür etkilerin bir örneğini oluşturmuştur. Yüksek sıcaklıkların otları tutuşturmasıyla başlayan yangınlar, bir çok insanın ve yüzbinlerce hayvanın ölümüne, 19.8 milyon hektar orman arazisinin küle dönüşmesine neden olmuştur (Anonim, 2023g). Yangın felaketi sırasında Avustralya'da meydana gelen ve yangının yayılmasına katkıda bulunduğu düşünülen şimşekler, küresel iklim değişikliği ve atmosfer aktiviteleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Diğer doğal afetler olan kasırga, hortum ve yıldırım gibi olayların da canlılara zarar verdiği bilinmektedir. Küresel ısınmanın bir sonucu olarak vücut homeostasisinin bozulması, salgın hastalıkların ortaya çıkması ve milyonlarca insanın hayatını kaybetmesiyle sonuçlanabileceği düşünülmektedir. Bu konuda yapılan bir araştırmada (Akın, 2006), bu riskin vurgulandığı belirtilmektedir (Dindar, 2021).

1.6. Otomotiv Endüstrisi

Uluslararası Endüstri Sınıflandırması (ISIC) çerçevesinde otomobil sektörü, çekiciler, kamyonlar, kamyonetler, karavanlar, midibüsler, minibüsler, araçlar, otobüsler, römorklar, iki ve üç tekerlekli taşıtlar ve yan endüstri ürünleri gibi bir dizi kategoriyi kapsayan bir endüstri dalını ifade etmektedir. Ayrıca, bu sektör sıkça karayolu taşıtları üretim endüstrisi veya motorlu taşıtlar üretim endüstrisi olarak adlandırılır.

20. yüzyılın başından bu yana otomotiv endüstrisinde iki önemli değişim yaşanmıştır ve bu değişimler diğer endüstrilerde de önemli gelişmelere yol açmıştır. İlk değişim, siparişe dayalı, emek yoğun üretim yapısından seri üretime geçiş olmuştur. ABD'de 1910'lu yıllarda gerçekleşen bu dönüşüm, üretim maliyetlerinde hızlı bir düşüş sağlamış ve otomotiv endüstrisinde hızlı bir büyümeyi tetiklemiştir. Seri üretim anlayışı uzun bir süre önemini korumuş olsa da, 1970'li yıllardan itibaren esneklik ve iş birliği prensiplerine dayanan yalın (esnek) üretim tekniklerine yerini bırakmıştır.

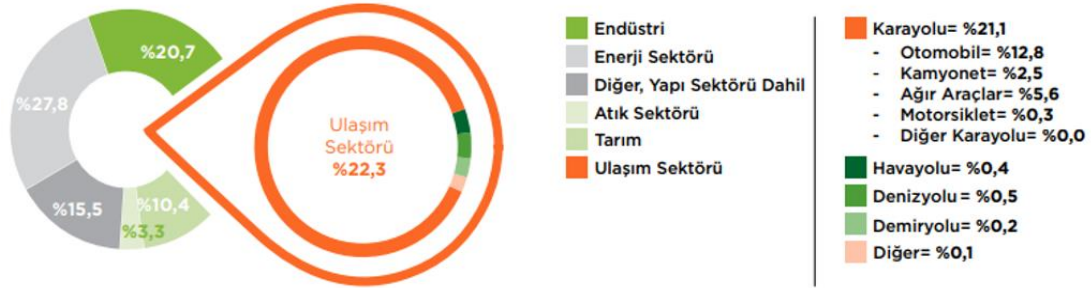
Otomotiv endüstrisi günümüzde son derece rekabetçi bir sektördür. Gelişmiş pazarlarda, yüksek teknolojiye sahip yeni modellerin geliştirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Aynı şekilde, gelişmekte olan pazarlarda da, tüketicilerin alım gücüne uygun araçların üretilmesi gerekmektedir. Özellikle doygun pazarlarda, müşteri tercihleri sıkça değişmekte ve ürün geliştirme başarısı büyük bir önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, otomotiv ürünlerinin uluslararası çevre standartlarına uygun olması, güvenlik, hafiflik, yakıt tasarrufu ve kompozit malzemelerin kullanımı gibi faktörler öne çıkmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde bir diğer önemli gelişme ise yoğun rekabetin sonucunda kâr marjlarının azalması, kapasite fazlalığı, artan Ar-Ge harcamaları ve yeni teknolojilere yatırım yapma gerekliliği nedeniyle şirketler arasında birleşme ve iş birliği eğiliminin artmasıdır. Özellikle 1960'lı yıllardan itibaren Japonya'nın otomotiv endüstrisindeki ağırlığı giderek artmış ve 1980'li yıllarda güçlü bir konuma ulaşmıştır. Japon üreticiler, üretiminin %35'ini Japonya dışında gerçekleştirmekte ve Japonya'da üretilen araçların %40'ını ihraç etmektedir. Japonya'nın bu başarısının altında yatan temel unsurlar, üretim stratejileri ve organizasyon yapısındaki özgünlükler olarak gösterilmektedir. Yeni üretim ve iş yönetimi tekniklerinin birçoğu, Japonya'nın geliştirdiği bu yaklaşımlara dayanmaktadır. Çalışmalar, Japon otomobil endüstrisindeki maliyet azaltmanın büyük ölçüde kalite çemberleri, toplam kalite yönetimi, zamanında üretim, hata sıfırlama, malzeme ve çevre yönetimi, sorumluluk sahibi çalışanlar, personelin yetkilendirilmesi, mühendislerin AR-GE faaliyetlerine odaklanması, güçlü ana ve yan endüstri ilişkileri, yan endüstri katılımı ile ürün geliştirme ve sürekli iyileştirme gibi farklı yaklaşımlardan kaynaklandığını göstermektedir.

1.7. Otomotiv Endüstrisi ve Karbon Ayak İzi Miktarı

Taşımacılık ve ulaşım endüstrisi, küresel petrol kullanımının yaklaşık %64' ünü, tüm enerji tüketiminin %27' sini ve dünyanın enerjiyle ilişkili sera gazı emisyonlarının yaklaşık %23'ünü

meydana getirerek, ekonomik ve sosyal kalkınma açısından önemli bir sektördür. Şekil 1.5’de toplam sera gazları içerisindeki ulaşım sektörü kaynaklı sera gazları ve dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Ulaşım Sektörü Sera Gazı Emisyonları Dağılımları (OSD, 2020)

Avrupa Komisyonu, 14 Temmuz 2021 tarihinde AB mevzuatının gözden geçirilmesine yönelik "Fit for 55" paketini açıklamıştır. Bu paket, düşük ve sıfır emisyonlu araçların üretimini ve satışını hızlandırmak için hafif araçların CO₂ emisyon standartlarını gözden geçirme önerilerini içermektedir. Bu önerilerin bir parçası olan "Yeni Otomobil ve HTA CO₂ Emisyonu Performans Standardı Değişiklik Önerisi" (AB 2019/631 Direktifi Değişikliği), yeni üretilen araçların emisyonlarının 2030'a kadar %55 oranında azaltılmasını ve 2035'e kadar ise %100 azaltılmasını önermektedir. İklim değişikliği küresel bir sorundur ve tüm ülkelerin sorumluluğundadır. Otomotiv sektörü, üretim aşamasında ve üretilen araçların kullanımı sonucunda CO₂ emisyonlarına önemli katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, çevreye duyarlılık arttıkça, otomotiv sektöründe farklı ülkeler tarafından çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır (Sreng, 2016).

Gelişmiş ülkelerde, küresel ısınmayı önlemek amacıyla CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik yasal düzenlemeler geliştirilmiştir. Avrupa örneğinde, 2015 yılında 130 g/km olan CO₂ emisyon değeri, alınan önlemler ve yapılan çalışmalar sonucunda 2022 yılına kadar 95 g/km'ye düşürülmesi hedeflenmiştir (Gür ve Furuncu, 2019).

Türkiye gibi otomotiv sektöründe satışları göreceli olarak düşük olan ülkelerde de çevre dostu araçların kullanımını teşvik etmek için çalışmalar yapılmaktadır. Kyoto Protokolü'nün imzalanmasıyla birlikte Türkiye'de de düşük CO₂ emisyonlu araçların kullanımını teşvik eden altyapı çalışmaları başlamıştır. Elektrikli araç satışları 2015 yılında başlamış olup, ülkede henüz sektörün başlangıç ve gelişme aşamasında olduğunu söyleyebiliriz. Türkiye'de hibrit otomobiller gibi düşük emisyonlu teknolojiler, ekonomik kalkınma modelleri içerisinde yer almaktadır. Sanayi sektörünün enerji tüketimine etkisine bakıldığında, Türkiye'de otomotiv sanayisinin gayri safi yurtiçi hasıla içindeki payı %5,8'dir. Sanayi sektöründeki büyüme ile enerji tüketimi arasında bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle 2004-2008 döneminde sanayi üretim endeksi %14,5 artarken, sanayide kullanılan elektrik tüketimi %30 artmıştır (İklim Değişikliği Eylem Planı, 2011).

Sonuç olarak, otomotiv sektöründe çevreye duyarlılık arttıa, düşük emisyonlu araçlara yönelik talep ve düzenlemeler de artmaktadır. lkeler, iklim politikalarını uygulayabilmek için kendi mevzuatlarında da yerel düzenlemelere yer vermelidir. Ayrıca, enerji tkretiminde verimlilik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da önemli bir konudur.

Bu alışma, otomotiv sektörü ile karbon ayak izi arasındaki ilişkiyi anlamak ve sektörde çevresel sürdürülebilirlik açısından geliştirilebilecek politika ve uygulamalara katkıda bulunmak amacıyla önemli bir araştırmadır.

Bu tez çalışmasının amacı, bir otomotiv üretim tesisinde doğaya salınan karbon ayak izinin hesaplanması, değerlendirilmesi ve azaltım yöntemlerinin araştırılmasıdır. Bu çalışmanın hedefi, otomotiv sektörünün karbon ayak izini azaltma potansiyelini belirlemek ve sektörde çevreye duyarlı uygulamaların teşvik edilmesine yönelik öneriler sunmaktır. Mevcut veriler ve analizler, otomotiv sektörünün çevresel etkisini anlamak ve gelecekte sürdürülebilir bir sektör için alınabilecek tedbirler konusunda değerli bir bilgi kaynağı sağlamaktadır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Otomotiv sektöründe karbon ayak izi ile ilgili yapılan çalışmalar

Dindar (2021) tarafından Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması - Bursa İli Örneği yüksek lisans tezinde gerçekleştirilen çalışmada, Tier 1 yaklaşımı ile oluşan karbon ayak izi miktarları incelenmiştir. Otomobil farı üretimi faaliyetli ilgili tesisteki çalışma yapılan tesisteki karbon ayak izinin 2019 yılı için elektrik enerjisi tüketimi kaynaklı 13.056,806 ton CO_{2e}, su tüketimi ve atıksu oluşumu kaynaklı 99,002 ton CO_{2e}, atık kaynaklı 1 867,3611 ton CO_{2e}, benzinli ve dizel yakıtlı şirkete ait araçlar kaynaklı 183,426407 ton CO_{2e} toplamda 16.677,767 ton CO_{2e} olduğu, 2020 yılı için ise ilgili tesiste yapılan hesaplamalarda doğalgaz tüketiminden kaynaklanan 945,4026 ton CO_{2e}, elektrik enerjisi tüketimi kaynaklı 10 677,767 ton CO_{2e}, su tüketimi ve atıksu oluşumu kaynaklı 67,8708 ton CO_{2e}, atık kaynaklı 903,42377 ton CO_{2e}, benzinli ve dizel yakıtlı şirkete ait araçlar kaynaklı 326,42399 ton CO_{2e} e karbon ayak izi miktarının 12.921 ton CO_{2e} olduğu hesaplanmıştır.

Sreng (2016) tarafından “Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayak izi” isimli yüksek lisans tezinde gerçekleştirilen çalışmada, karbon ayak izinin insan sağlığına etkileri, iklim değişikliğine olan etkileri ve küresel otomotiv endüstrisi üzerindeki etkileri incelenmiş ve yıllık üretim miktarı 1.000.000 olan bir otomotiv fabrikasının 2015 yılı karbon ayak izi miktarı Tier 1 yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Emisyon faktörleri IPCC, Defra ve Dünya Kaynaklar Enstitüsü tarafından alınmıştır. Kapsam 1 den kaynaklanan emisyonlar 1.702.457,72 ton CO_{2e}, kapsam 2 den kaynaklanan emisyonlar 1.478.235,91 ton CO_{2e} ve kapsam 3 emisyonları 14.303,88 ton CO_{2e} olarak bulunarak, toplam emisyon miktarı 3.194.998 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak, çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Bu öneriler arasında, yeşil alanların artırılması ve yenilenebilir güneş enerjisinin enerji üretiminde kullanılması gibi önemli stratejiler bulunmaktadır. Yapılan hesaplamalar, elektrik tüketimine bağlı olarak oluşan CO₂ emisyonlarını tamamen ortadan kaldıracak için 250 watt gücündeki güneş panellerinin yeterli olabileceği belirtilmiştir.

Ediz (2023) tarafından Otomotiv Yan Sanayisinde Parça Üretim Faaliyetlerinden Kaynaklanan Karbon Emisyonları, Karbon Ayak İzi Hesaplamaları Ve Enerji Verimliliği Uygulama Önerileri yüksek lisans tezinde gerçekleştirilen çalışmada, otomotiv yan sanayiinde parça üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Kapsam 1 den kaynaklanan emisyonlar 1.580 ton CO_{2e}, kapsam 2 den kaynaklanan emisyonlar 9.295 ton CO_{2e} ve kapsam 3 emisyonları 239.452 ton CO_{2e} olarak bulunarak, toplam emisyon miktarı 250.328 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır.

Jochem ve Wolfram (2014) tarafından Volkswagen Otomotiv Endüstrisi'nin endirekt emisyonlarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama, iş seyahatleri, lojistik süreçler, araç kullanımı, atık yönetimi ve tedarik zinciri faaliyetleri ile ilişkilendirilen sera gazı

emisyollarını içermektedir. Volkswagen, CO₂ emisyonlarının envanterini Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi (WBCSD) standartlarına göre oluşturmuştur. Bu envanterin içinde Kapsam 3 indirekt emisyonlar yer almaktadır, bu da iş seyahatleri, lojistik süreçleri, araç kullanımı, bertaraf ve tedarik zinciri gibi üretim dışı faaliyetleri kapsar. CO₂ eşdeğeri, bireysel spesifik küresel ısınma potansiyellerine göre hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 2014 yılında arabalar ve hafif ticari araçlardan kaynaklanan CO₂e emisyon miktarı 0,048 milyon ton/yıl veya grup üretim yerleri için 4,79 Kg/araç olarak tespit edilmiştir (Sreng, 2016).

"TOYOTA Yeni Zellanda Ltd. Şirketi", sera gazı emisyonlarının envanterini şirketin çevre araştırma ekibi tarafından oluşturmaktadır. Operasyon kontrolünün konsolide edilmesi yaklaşımı, ISO 14064-1:2006 standardına ve Sera Gazları Protokolü'nde belirtilen yöntemle referansla operasyonel emisyonlar için kullanılmaktadır. 01.04.2012 ile 31.03.2013 tarihleri arasındaki sera gazı emisyonları ölçülmüş ve bu emisyonların hesaplanmasında operasyonel sınırların 3 kapsamı da uygulanmıştır. Bu üç kapsamdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının toplamı 19.803,79 ton CO₂ olarak kaydedilmiştir (Cemars, C., Toyota, 2013).

"BMW Yeni Zellanda Ltd. Şirketi", operasyonel emisyonlarını Sera Gazları Protokolü ve ISO 14064-1:2006 standardında tarif edilen yöntemle başvurarak hesaplayan bir yaklaşım olan operasyonel kontrol konsolidasyonu yöntemini kullanmaktadır. 01.01.2014-31.12.2014 tarihleri arasındaki sera gazı emisyonları toplamda 10.431,32 ton CO₂ olarak kaydedilmiştir (Cemars, C., BMW, 2014).

"Tayvan merkezli FORD Lio Ho Motor Co., Ltd", öncü bir Küresel Emisyonlar Yöneticisi ve yüksek derecede entegre bir enerji izleme sistemi kullanmaktadır. Örneğin, CO₂ emisyonları sürekli olarak gözlemlenmektedir. İlgili emisyon verileri, Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) tarafından geliştirilen sera gazı hesaplama araçlarına dayalı olarak oluşturulmuştur. Hesaplama her yıl WRI tarafından sağlanan elektrik emisyon faktörlerine göre gerçekleştirilir. En son güncellenmiş olan 2010 WRI emisyon faktörü, 2014 yılı emisyon hesaplamaları için kullanılmıştır. Sonuç olarak, 2014 yılında karbon dioksit toplam miktarı 17.935 metrik ton CO₂ olarak kaydedilmiştir (Ford Lio Ho Motor, 2014).

"NISSAN Motor Co., Ltd", 1 Nisan 2014 ile 31 Mart 2015 tarihleri arasındaki mali yıl için sera gazı emisyonlarının raporunu sunmuştur. Kapsamı, Nissan'ın tüm üretim tesislerini, yönetim ofislerini ve yan kuruluşlarını, bağlı üretim şirketlerini ve Nissan Motor Co.Ltd. dünya çapında kapsamaktadır. Enerji girişi ve karbon ayak izi rakamlarının bazı tekrar hesaplamaları, emisyon faktörlerini içeren iç kılavuzların gözden geçirilmesi sonucunda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, karbon dioksit toplam miktarı 12.166,429 ton CO₂ olarak raporlanmıştır (Nissan Motor Corporation Sust.Report, 2015).

"Jaguar Land Rover Otomotiv PLC, UK", karbon emisyonlarının hesaplanmasında elektrik ve gaz için DEFRA dönüşüm faktörlerini ve Jaguar Land Rover Karbon Azaltma Taahhüdü programı verilerini kullanmıştır. Üretim ile ilgili ve üretim dışı aktivitelerin 2014-2015 döneminde toplam CO₂ miktarı 421.394 ton olarak kaydedilmiştir (Jaguar Land Rover Automotive, 2015).

"DAIMLER AG, Mercedes-Benz", sera gazı emisyonlarının envanterini kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 emisyonları dahil olmak üzere belirlemek için sera gazı protokolünü kullanmıştır. Üst ve alt akış CO₂ emisyonları, özellikle Mercedes-Benz Cars bölümü için (Kapsam 3) rapor edilmiştir. CO₂ üst akış üretimi, 2015 yılında 13,4 milyon ton olarak kaydedilmiştir ve bu rakam, yakıt üretiminin de dahil edilmesiyle satılan araçların hizmet ömrü boyunca (150.000 km) 42 milyon ton olmuştur. 2015 yılında, Daimler Grubu'nun CO₂ kapsam 1 doğrudan emisyonları ve kapsam 2 dolaylı emisyonları toplamda 3.231.000 ton olarak belirlenmiştir (Daimler, 2015).





3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Adana il sınırlarında bulunan bir otomotiv üretim tesisinin 2022 yılı içerisindeki faaliyetleri içerisinde Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 dahilinde değerlendirilebilecek emisyon yayan tüm faktörler belirlenerek, IPCC Tier 1-2 metodu ile operasyonel kontrol ilkesiyle hesaplanmıştır. Hesaplamalarda CO₂, CH₄, N₂O'ların, CO₂ eşdeğeri faktörleri kullanılmıştır.

3.1.1. İşletmeye Dair Bilgiler

İşletme, Türkiye'nin önde gelen ulaşım şirketlerinden biri olarak kabul edilen otobüs, midibüs ve hafif kamyon üretimi işlerini sürdürmektedir. Yıllık 10.000'den fazla otobüs, midibüs ve hafif kamyon üretme yeteneğine sahip olan bu şirket, şu anda dünya genelinde yaklaşık 70 ülkede faaliyetlerini sürdürmektedir. Ayrıca, ABD, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya gibi önde gelen ekonomilerde de faaliyet göstermektedir.

Fabrikada toplamda yaklaşık 1.500 çalışan bulunmaktadır ve tek vardiyada yıllık olarak 10.000'den fazla araç üretme kapasitesine sahiptir. Bu üretim kapasitesi içerisinde 4.000 adet otobüs ve midibüs ile 6.000 adet hafif kamyon üretimi gerçekleştirilmektedir.

3.1.2. Genel Üretim Prosesleri

Proses Özetleri

Tesis ana bölümlerden, ek birimlerden ve idari binalardan oluşmaktadır. Bu bölümler, gövde mekanik üretim hattı, trim üretim hattı, boyahane, fosfat ve parça boya ünitesi, kamyon-kamyonet üretim hattı, malzeme ambarları ve Arge'dir. Bu binaların dışında yemekhane, sosyal tesisler, final kalite kontrol, arıtma tesisi ve idari binalar mevcuttur. Otobüs ve midibüs üretimi aşağıdaki gibi 5 ana hat üzerinde ilerlemektedir.

Bunlar:

A. Gövde Hatları

Arka şase, ön şase ve orta şase aynı truck üzerinde bir araya getirilir. Birleştirilen şase kompleksi gövde jigine alınır. Gövde jigine alınan şase kompleksi ile yan duvarlar, ön gövde, arka gövde, tavan kompleksi birleştirilir. Jigden çıkarılan gövde kompleksi üzerinde jigde yapılamayan kaynaklar tamamlanır. Bir sonraki hatları etkileyen braket montajları ve delik açma işlemleri yapılır.

B. Fosfat ve Kataforez Hattı

Montajı tamamlanan gövde kompleksi fosfat ve kataforez ünitesine alınır. Eğer gövde kompleksi karbon malzemeden yapılmış ise metal yüzey yabancı cisimlerden arındırılır ve temizlenen gövde kompleksi havuzlarda fosfatlanır ve kataforez boya ile kaplanır. Sonrasında gövde kompleksi fırında kurutmaya alınır. Fırınlama sonrasında şasi bölgesi astar boya ile kaplanarak tekrar gövde kompleksi fırında kurutmaya alınır. Eğer gövde kompleksi paslanmaz malzemeden yapılmış ise metal yüzey yabancı cisimlerden arındırılır ve temizlenen gövde kompleksi havuzlarda fosfatlanır ve astar boya yapılır. Sonrasında gövde kompleksi fırında kurutmaya alınır. İki aşamada da aracın paslanmasını önleyen bir yüzey kaplama yapılmış olur. Bu durum araçta kullanılan detay malzemeler için de geçerlidir.

C. Gövde Tamamlama Hatları

Fosfat ve kataforez işlemleri tamamlanan gövde kompleksi gövde tamamlama hattına alınır. Gövde tamamlama alınan araç üzerine sırasıyla,

- Sealer uygulama
- Yan panel yapıştırma
- Ön arka mask yapıştırma
- Taban tahta montajı yapılması
- Kapı kapak ve fender montaj işlemleri uygulanır.
- Ön arka tampon alıştırması ve montajı yapılır.

Gövde tamamlama operasyonları sonucu araç boyahaneye alınır.

D. Boyahane

- Macun Uygulama ve Macun Zımpara
- Temizlik
- Maskeleme
- Etch Primer, Busfiller ve Akrilik Astar Uygulaması ve Kurutma
- Zımpara Yapılması
- Son Kat Boyama ve Kurutma
- Alt Kaplama ve Dinitrol Uygulaması
- Wax Uygulama
- Parça Boya Uygulama
- Parça Boya Rötüş ve Tamamlama işleri yapılır.

E. Mekanik Hatları

Boya işlemleri tamamlanan araç yürüyen aksam montajları için mekanik hatta alınır. Mekanik hat üzerinde sırasıyla,

- Aracın opsiyonlarına göre valf montajları
- Ana elektrik tesisatlarının döşenmesi
- Hava yakıt su hatlarının döşenmesi
- Hava tankları montajı
- Silecek montajı
- Direksiyon kolonu ve Pedal montajları
- Polyamid ve bakır boru montajları
- Ön Arka aks montajları
- Motor montajı
- Motor altı muhafaza montajı ve hava kaçak kontrol işlemleri tamamlanır.
- Alt muhafaza ve mekanik tamamlama montajı yapılır.

F. Trim Hatları

Yürüyen aksam montajları tamamlanan araç trim hatlarına alınır. Trim hatları üzerinde sırasıyla,

- Aracın tavan ve yan gövde izolasyonları yapılır.
- Tahta ve döşeme montajları
- WC montajı
- Klima, arka cam montajları
- Elektrik montajları
- Sepetlik montajı
- Dashboard montajı
- Cam montajları
- İç trim cover ve partition montajları ile tamamlanır.

Otobüs Üretim Hattı

Firma, üretim tesisinde otobüslerini montaj yolu ile üretmektedir. Tesiste kullanılan teknoloji ve üretim akışı, şase parçaları kaynakla birleştirilir ve üzerine ön, arka gövde, tavan ve yan duvarların montajları tamamlanır ve şase ile birleştirilip aracın gövde karkası oluşturulur. Oluşturulan karkas fosfat ve kataforez ünitesine alınır. Fosfat ve kataforez kaplanacak yüzeyin hazırlığı yapılır. Gövde hammaddesine göre kataforez kaplama ve/veya astar boya işlemi uygulanır.

Fosfat ve kataforez ünitesinde işleri tamamlanan karkas tekrar gövde hattına alınır ve yapıştırma işlemleri yapılır. Sac yan panel yapıştırma işlemleri yapılır. Gövde tamamlama hattında araç üzerine ön kapı-arka kapı veya orta kapı ile birlikte tüm bagaj kapakları, çamurluklar monte edilir. Kapı, kapak, yan panel ve sealer işlemleri tamamlanan araç boyanmak için boyahaneye gelir. Boyahaneye giren araçların bütün yüzeyleri boyahane personellerince gözle ve elle dokunmak suretiyle macun çekilecek bölgeler tespit edilir. Bütün bölgelere zımpara, gereken bölgelere macunlama işlemi yapılır. Tamamen izoleli ve havalandırmalı bir kabinde macun zımparası yapılmaktadır. Macun zımparası yapılan aracın bütün yüzeyi temizlik solventi ile temizlenir ve gerekli bölgeler maskelenir. Daha sonra araç, kurutma fırınına alınır. Astarlanan yüzey, son kat boyaya hazırlanmak amacıyla zımparalanır. Astar boyada gerekli zımparalama işlemlerinden sonra son kat boya kabinine alınır. Kabin alının aracın maskeleme ve yüzey temizlik işlemleri yapılır. İstenilen renkteki boya pompalı tabanca ile tatbik edilir. Son kat boyası kurutulan aracın maskeleri sökülür. Müşteri talebine göre istenilen dizayn işlemleri de uygulanmaktadır. Aracın korozyona dayanımını arttırmak için şasi kompleksi çeşitli malzemelerle kaplanır. Araç mekanik hatta verilmeden önce en son boya temizliği yapılır. Gerekirse araç yüzeyinde rötüş ve cila işlemleri yapılır.

Yürüyen aksam montajları tamamlanan ve boyahane işlemleri biten araç trim hattına alınır. Trim hattında tahta montajı, izolasyon sünger ve keçeleri, taban muşambaları, elektrik tesisatı montajı gibi işler yapılır. Klimalar, tavandan montajlı olup müşterinin marka isteğine göre otobüslerde standarttır. Sepetlik montajı yapılır.

Bütün camlar (ön, arka ve yan camlar) mevsimlere göre değişken tipte çeşitli yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılmaktadır. Yan camlar çift camlı olup standarttır. Müşteri isteğine göre sürgülü tip yan camlı araçlarda üretilmektedir. Tavan kadifesi, yan duvar halıları, müşteri talepleri doğrultusunda yapılmaktadır. Koltuk montajı yapılmaktadır. Trim hattında iç ve dış aksesuarları takılıp montaj işlemleri tamamlanır. Trim sonunda araca motor yağı, antifrizli soğutma suyu ve hidrolik direksiyon yağı eklenir. Trim hatlarından çıkan araçlar, gerekli kontrol ve testler için son tamamlama istasyonuna verilerek varsa eksikler tamamlanmakta ve yanlışlar düzeltilmektedir. Son Tamamlama'da tamamlanan araç sevkiyat öncesi kontroller yapılmak üzere Final Kalite Kontrol Birimine teslim edilir. Final kalitede araç yol testi yapılır. Son onay verilen otobüsler müşteri sevkiyatına hazır hale getirilir.

Midibüs Üretim Hattı

Firma, kurmuş olduğu üretim tesisinde midibüsleri montaj yolu ile üretmektedir. Tesiste kullanılan teknoloji ve üretim akışı, şase parçaları kaynakla bileştirilir ve üzerine ön, arka gövde, tavan ve yan duvarların montajları tamamlanır ve şase ile birleştirilip aracın gövde karkası oluşturulur. Oluşturulan karkas fosfat ve kataforez ünitesine alınır. Fosfat ve kataforez kaplanacak yüzeyin hazırlığı yapılır. Gövde fosfatlama, kataforez boya kaplama ve astar boya işlemi uygulanır.

Fosfat ve kataforez ünitesinde işleri tamamlanan karkas tekrar gövde hattına alınır ve yapıştırma işlemleri yapılır. Prestij Line Hattına alınır. Gövde, motor ve şanzıman montajı yapılmış yürüyen şasi üzerine bindirilir. Şasi üzerinde yapılması gereken elektrik tesisatı döşenmiş, direksiyon sistemi - soğutma sistemi - hava sistemi montajı yapılmış halde komple şasi üzerine bindirilerek U cıvataları ve destek braketlerle cıvatalı montajı yapılmaktadır. Şekillendirilen yan panel sacları aracın yan duvarlarına monte edilir. Ön - arka kapı, bütün yan kapaklar, fenderların montajı bu istasyonda yapılır. Burası boya öncesi son istasyon olduğundan bütün diğer eksikler burada tamamlanır, Kalite Güvence bölümünün kontrolleri burada daha yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Boya işlemleri biten araç Trim hattına girer, burada tahta, izolasyon sünger ve keçeleri, taban muşambaları elektrik tesisatı vs. monte edilmektedir. Midibus araçlarda A/C opsiyon olup müşteri isteği doğrultusunda klima monte edilmektedir. Tavan kaplamaları, yan duvar halıları, koltuk desenleri ve renkleri, yolcu koltuk sayıları müşteri talepleri doğrultusunda yapılmaktadır. Araç boyahaneden alt ziftleme ve son kat boyama yapıldıktan sonra trim hattına alınır. İç ve dış aksesuarları takılıp montaj işlemleri tamamlanır. Trim hattı, Son Tamamlama ve Final Kalite işlemleri otobüs üretim aşamalarında anlatıldığı gibi yapılmaktadır.

Kamyon Kamyonet Üretim Faaliyeti

Kamyon üretimi üretim planlama ve lojistik ile başlar. Line, trim ve line/trim tali montaj hatlarından oluşmaktadır. Montaj hattı sonunda ise final kalite kontrol hattı bulunmaktadır. Ayrıca kamyonların final kontrolü sonrasında yol testi işlemleri yapılmakta ve duş testi odasında araç halinde su ile test edilmektedir. Tüm işlemler sonunda kamyonların müşteriye teslimat öncesi son kontrolleri yapılmaktadır.

İlgili tesisin üretim akış şeması Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İlgili Tesis Üretim Akış Şeması

3.1.3. Üretim Tesisi Emisyon Faktörleri

Değerlendirme yapılırken, mevcut tesisin bulunduğu coğrafi konuma uygun güncel ve ilgili emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon faktörleri “EİE, Defra 2021, Defra 2022, IPCC / IPCC

AR5, TEİAŞ, NIR, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verileri değerlendirilerek temin edilmiştir.

İlgili tesiste kullanılacak faaliyet verileri kapsamlarına göre ayrı olarak Çizelge 3.1 Kapsamlarına göre karbon ayak izi kaynakları çizelgesinde belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Kapsamlarına göre karbon ayak izi kaynakları

Kapsamlar	Emisyon Kaynağı
Kapsam 1 – Direk Emisyonlar	Araçlarda kullanılan dizel, benzin ve CNG türevli yakıtlar, binalarda kullanılan yakıtlar (doğalgaz), soğutucu gazlar, yangın söndürücüler, Jeneratörler (dizel) ve Proses CO2 tüketimleri
Kapsam 2 – Enerji Dolaylı Emisyonlar	Elektrik Tüketimi
Kapsam 3 - Diğer Kaynaklı Emisyonlar	Üretime yönelik lojistik faaliyetleri (yurtiçi-yurtdışı karayolu, havayolu ve denizyolu), operasyondan kaynaklanan atıklar(tehlikeli, tehlikesiz), iş seyahatleri, çalışanların kullanımı sağlanan servisler ve satışa yönelik lojistik faaliyetleri

3.2. Metod

Bu katsayılar, Sera Gazları Protokolü yayınlarından alınmıştır ve bileşik ton CO₂-e birimi için uygun katsayılarla çarpılarak emisyonlar hesaplanmıştır.

Çalışmada, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin 5. Değerlendirme raporu IPCC AR5, NIR (Ulusal Sera Gazı Raporu), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), EIE, Defra ve Sera Gazı Protokolü'nden elde edilen Emisyon faktörleri ve Küresel Isınma Potansiyeli katsayıları kullanılmıştır.

3.2.1. IPCC Yöntemi ve Emisyon Faktörleri

Karbon ayak izini hesaplamak amacıyla kullanılan IPCC 2006 Kılavuzunun, 2019 yılında bazı kısımları güncellenmiştir. IPCC 2006 Kılavuzu, toplam beş ciltten oluşur. Cilt 1, genel bilgiler ve raporlama hakkında temel bilgilere sahiptir. Cilt 2, enerjiyle ilgili konuları, Cilt 3, endüstriyel işlemleri ve ürün kullanımını, Cilt 4, tarım, orman ve diğer arazi kullanımını, ve Cilt 5, atık yönetimi konularını ele almaktadır. Her bir cilt, ilgili sektörler için özgü hesaplama yöntemlerini içeren bölümlere ayrılmıştır. Emisyonları tahmin etmek için, Kılavuz, Tier yöntemini önermektedir. Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olmak üzere farklı düzeyde hesaplama yöntemleri sunar. Tier 1 yöntemi, kaynaklar ve veriler kısıtlı olduğunda kullanılır. Tier 2 yöntemi, Tier 1'den farklı olarak ülkeye özgü emisyon faktörlerini kullanır. Tier seviyeleri yükseldikçe, daha kesin sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir, ancak Tier 1 yöntemiyle yapılan CO₂ emisyon tahminleri oldukça

başarılıdır. Tier 3 yöntemi, en ayrıntılı ve en fazla bilgi gerektiren yaklaşım olarak dikkat çeker. Tier 3 yöntemi, kullanılan yakıt türüne, yanma teknolojilerine, işletme şartlarına, kontrol teknolojilerine, bakım kalitesine ve kullanılan ekipmanın yaşına bağlıdır (Aydın, 2023). Bu çalışmada, Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerine göre ilgili kılavuz içerisindeki varsayılan emisyon faktörleri seçilerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

Emisyon faktörleri, karbon ayak izi hesaplamalarında temel rol oynayan değerlerdir. Bu faktörler, belirli bir faaliyetin veya sürecin gerçek emisyonlarını belirlemedeki belirsizlikleri yansıtarak hesaplamalara esneklik kazandırır. Alt ve üst değerler arasındaki bu belirsizlik aralığı, tahminlerin daha kesin ve güvenilir hale getirilmesine olanak tanır. Emisyon faktörü seçimi, belirsizlik seviyesi, risk toleransı, ihtiyaç düzeyi ve yerel koşullar gibi faktörlere dayalı olarak yapılmalıdır. Daha genel bir tahmin yapmak amacıyla alt değer, spesifik ve hassas bir tahmin yapmak amacıyla ise üst değer tercih edilebilir. Bu tez çalışması içerisindeki belirsizliğe sahip olan faaliyetler için emisyon faktörleri IPCC 2006 kılavuzuna göre varsayılan değer alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Emisyon kaynakları dahil edilen hesaplama yöntemi, bu kaynakların IPCC AR5, NIR (Ulusal Sera Gazı Raporu), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETBK), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), EIE, Defra ve Sera Gazı Protokolü'nden elde edilen emisyon faktörleriyle çarpılarak belirlenmiştir. ISO 14064 Sera Gazı Hesaplama ve Doğrulama Yönetim Sistemi kapsamlarına (kapsam 1, kapsam 2, kapsam 3) göre sınıflandırılan kalemlere ait veriler, uygun emisyon katsayılarıyla çarpılarak hesaplanan ve eşdeğer karbon dioksit (CO₂e) birimi cinsinden ifade edilen emisyon değeri hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan karbon ayak izi hesaplarında kullanılan formül eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\text{Karbon emisyonu (CF)} = \text{Faaliyet verisi(AD)} \times \text{Emisyon faktörü(EF)} \quad (1)$$

Burada CF, elektrik tüketimi, ulaşım, ısınma vb. faaliyetler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticilerinin karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden miktarını, AD, bir proses tarafından tüketilen veya üretilen yakıt veya maddelere ilişkin veriyi, EF, belirli bir kirleticinin birim değeri (hacim, kütle, zaman, alan vb.) için ortalama emisyon miktarını temsil etmektedir (Doğan, 2019).

Faaliyet verisi ton cinsinden olmadığında gerekli çevirmeler için yoğunluk değeri hesaba dahil edilmiştir. Bu çalışmada, IPCC 1997 kılavuzunda yer alan “Enerji” başlığı altında, mobil kaynakların neden olduğu emisyonlar bölümünün içeriğinden ve Defra emisyon faktörlerinden yararlanılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarıdaki faaliyet verileri ve emisyon faktörleri aracılığıyla yapılan hesaplamalar sonucu bulunan sonuçlar aşağıdaki tablolarda ve hesaplamalarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1. Kapsam 1 Emisyonları

Sera gazı emisyonları, kuruluşun sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından doğrudan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar, kuruluş faaliyetlerinden kaynaklanan ve doğrudan atmosfere salınan sera gazlarını içerir.

Kapsam 1 verileri içerisine; Araçlarda kullanılan dizel, benzin ve CNG türevli yakıtlar, binalarda kullanılan yakıtlar (doğalgaz), soğutucu gazlar, yangın söndürücüler, Jeneratörler (dizel) ve Proses CO₂ tüketimleri dahil edilmiştir.

İncelenen şirket araçlarından kaynaklanan emisyonları hesaplarırken, üretim sırasında tüketilen motorin ve şirket çalışanlarına tahsis edilen şirket araçlarının kullandığı benzin ve motorin miktarı da dikkate alınmıştır.

Bu tez çalışmasında ele alınan kapsam 1 emisyon faaliyet verileri çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kapsam 1 Emisyon Faaliyet Verileri

Faaliyet Verisi	Miktar	Faaliyet Birimi
Yakıt (dizel) tüketimi şirket araçları	63.830	litre
Yakıt (benzin) tüketimi şirket araçları	75.803,67	litre
Yakıt (dizel) off-road araçlar (forklift/trayler/traktör/iş makinası vb.)	9.544	litre
Yakıt (CNG) off-road araçlar (forklift/trayler/traktör/iş makinası vb.)	13.202,46	m ³
Yakıt (Doğal gaz)	1.036,393	sm ³
Soğutucu gaz - R22 (kaçak/yıl)	108,8	kg
Soğutucu gaz - R410A (kaçak/yıl)	22,7	kg
Soğutucu gaz - R134A (kaçak/yıl)	85,05	kg
CO ₂ yangın söndürücü	2.255	kg
Proses CO ₂ tüketimi	12.1155	kg
Jeneratör (Dizel)	418.066,092	litre
Üretim-Jeneratör	6,186,092	litre
Üretim-Proseste kullanılan	411.880	litre

Çizelge 4.1.'de de görüldüğü üzere, belirtilen tüm faaliyet yıllık üretim kapasitesi 10.500 adet olan ve yaklaşık 1500 çalışanın görev yaptığı bir otomotiv tesisinden ilgili veriler temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan benzinli ve dizel şirket araçları, üretim tesisi içerisinde kullanım sağlayan dizel ve CNG tüm iş makinaları, şirket içerisinde yakıt olarak kullanılan doğalgaz miktarı, kullanılan tüm soğutucu gazlar, proses ve yangın CO₂ miktarları ve mevcuttaki jeneratör kullanımları da dahil edilerek, kapsam 1 verileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Karbon Ayak İzi hesaplamaları yapılırken göz önünde bulundurulması gereken üç önemli gaz CO₂, N₂O ve CH₄'dır. Bu gazların küresel ısınma potansiyelleri IPCC 5 Değerlendirme Raporuna (AR5) göre sırasıyla 265 ve 28'dir (IPCC, 2014)

Metan ve azotoksitin küresel ısınma potansiyelleri Çizelge 4.2. Küresel ısınma potansiyelleri (IPCC AR 5, 2014) çizelgesinde ayrıca belirtilmiştir. Doğrudan kg CO_{2e} olarak sonuç elde edilebilmesi için hesaplamalarda ilgili veriler kullanılarak çevrim yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Küresel ısınma potansiyelleri (IPCC AR 5, 2014)

CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	28	265

Bu tez çalışmasında ele alınan kapsam 1 emisyon faktörü verileri çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kapsam 1 emisyon faktörleri (EF)

Faaliyet Verisi	CO₂ Emisyon Faktörü kg CO₂ / birim	CH₄ Emisyon Faktörü kg CO₂e / birim	N₂O Emisyon Faktörü kg CO₂e / birim	Emisyon Faktörü (EF) birim/yıl	Kaynak
Yakıt (dizel) tüketimi şirket araçları	2,626	0,00387	0,0366	kg CO ₂ / litre	IPCC 2014, ETKB 2021
Yakıt (benzin) tüketimi şirket araçları	2,217	0,00340	0,0483	kg CO ₂ / litre	IPCC 2014, ETKB 2021
Yakıt (dizel) off-road araçlar (Traktör, forklift, iş makinası, trayler vb.)	2,626	0,00411	0,2686	kg CO ₂ / litre	IPCC 2014, ETKB 2021
Yakıt (CNG) off-road araçlar (Traktör, forklift, iş makinası, trayler vb.)	2,146	0,0599	0,00183	kg CO ₂ / m ³	IPCC 2014, EPDK 2015
Yakıt (Doğal gaz)	2,146	0,00107	0,01014	kg CO ₂ / sm ³	IPCC 2014, EPDK 2015
Soğutucu gaz - R22 (kaçak/yıl)	1760	0	0	kg CO ₂ / kg	IPCC 2014
Soğutucu gaz - R410A (kaçak/yıl)	1923,5	0	0	kg CO ₂ / kg	IPCC 2014
Soğutucu gaz - R134A (kaçak/yıl)	1300	0	0	kg CO ₂ / kg	IPCC 2014
CO ₂ yangın söndürücü	1	0	0	kg CO ₂ / kg	IPCC 2014
Proses CO ₂ tüketimi	1	0	0	kg CO ₂ / kg	IPCC 2014
Jeneratör (Dizel)	2,626	0,00992	0,0056	kg CO ₂ / litre	IPCC 2014, ETKB 2021

4.1.1. Doğalgaz Emisyon Hesaplamaları

Tez çalışmasında kapsam 1 içerisinde yer alan doğalgaz emisyon miktarları ve emisyon faktörleri hesaplamalarında kullanılan değerler T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu ve 2005 ve 2006 yılı IPCC Raporu ile uyumludur. Alınan veriler doğrultusunda, alt ısı değer ve enerji içeriği verileri çarpımları yolu ile belirlenerek hesaplanmıştır. Buna göre toplam emisyon miktarları olarak aşağıda hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında kapsam 1 emisyon faktörleri hesaplarında kullanılan veriler çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Doğalgaz CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veriler tablosu

	CO₂ EF Kullanılan Değer	CH₄ EF Kullanılan Değer	N₂O Kullanılan değer	Kaynak
Isıl Değer (kcal/m ³)	9,155	9,155	9,155	T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2015
Enerji İçeriği (MJ/m ³)	4,1868	4,1868	4,1868	-
Emisyon Değeri (Default)	56100	1	0,1	IPCC AR5
Küresel Isınma Katsayısı	1	28	265	IPCC AR5

Doğrudan sera gazı emisyonlarından doğalgaz kaynaklı emisyon hesaplamaları eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır:

$$KAİ = (FV) \times (EF) \times (AID) \times (OF) \times (KIP) \quad (2)$$

KAİ: Karbon Ayak İzi (ton CO₂e)

FV: Faaliyet Verisi

EF: Emisyon Faktörü

AID: Alt Isıl Değer

OF: Oksidasyon Faktörü

KIP: Küresel Isınmaya Etki Potansiyeli

4.1.2. Benzin ve Dizel Tüketimli Araç Kaynaklı Emisyon Hesaplamaları

Tez çalışmasında kapsam 1 içerisinde yer alan benzin, dizel ve CNG yakıtlı kullanılan şirket araçları kaynaklı emisyonlar hesaplanırken, ilgili emisyon faktörleri hesaplamalarında yoğunluk, ısı değer bilgisi Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından hazırlanan yönetmelik ile ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile uyumludur. Kullanılan emisyon faktörleri 2005 ve 2006 yılı IPCC Raporu'nda yer alan Tablo 3.2.1 Karayolu Taşımacılığı CO₂ varsayılan emisyon faktörleri ve Tablo 3.2.2 Karayolu Taşımacılığı varsayılan değerlerden seçilmiştir. N₂O ve CH₄ ve küresel ısınma katsayıları değerlerinden alınmıştır.

Dizel Şirket ve Off-Road Araç Emisyon Faktörü Hesaplamaları

Bu tez çalışmasında dizel araçlardan kaynaklanan emisyon faktörleri hesaplarında kullanılan veriler çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Dizel şirket araçları ve off road araçlar için CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veri tablosu

	CO₂ EF	CH₄ EF	N₂O	Kaynak
	Kullanılan	Kullanılan	Kullanılan	
	Değer	Değer	değer	
Isıl Değer (kcal/kg)	10.200	10.200	10.200	T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği Ve Çevre Dairesi Başkanlığı, 2021
Enerji İçeriği (MJ/m ³)	4,1868	4,1868	4,1868	-
Yoğunluk (kg/lt)	0,830	0,830	0,830	IPCC AR5, 2014
Emisyon Değeri (kg /TJ) (Default)	74.100	3,9	3,9	IPCC AR5, 2014
Küresel Isınma Katsayısı	1	28	265	IPCC AR5, 2014

Benzin Tüketimli Şirket Araçları Emisyon Faktörü Hesaplamaları

Bu tez çalışmasında benzinli araçlardan kaynaklanan emisyon faktörleri hesaplarında kullanılan veriler çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Benzinli şirket araçları için CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon faktörü hesaplamasında kullanılan veri tablosu

	CO₂ EF Kullanılan Değer	CH₄ EF Kullanılan Değer	N₂O Kullanılan değer	Kaynak
Isıl Değer (kcal/kg)	10.400	10.400	10.400	T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği Ve Çevre Dairesi Başkanlığı
Enerji İçeriği (MJ/m ³)	4,1868	4,1868	4,1868	-
Yoğunluk (kg/lt)	0,735	0,735	0,735	IPCC AR5
Emisyon Değeri (kg /TJ) (Default)	69.300	3,8	5,7	IPCC AR5
Küresel Isınma Katsayısı	1	28	265	IPCC AR5

Doğrudan sera gazı emisyonlarından benzinli ve dizel araç kullanımı kaynaklı emisyon faktörü hesaplamaları yapılırken eşitlik 3 kullanılmıştır.

$$EF: (AID) \times (OF) \times (KIP) \times (YG) \quad (3)$$

EF: Emisyon Faktörü

AID: Alt Isıl Değer

OF: Oksidasyon Faktörü

YG: Yoğunluk

KIP: Küresel Isınmaya Etki Potansiyeli

4.1.3. Kapsam 1 Emisyonları Sonuçları

Tez çalışması içerisinde yapılan hesaplamalara göre, 2022 yılı içerisinde toplam ton CO₂ değerleri incelendiğinde; kapsam 1 için 4.209,46 ton CO_{2e} sera gazı emisyonu olduğu hesaplanmıştır. kapsam 1 emisyonlarını oluşturan en büyük emisyon faktörlerinin başında oluşan toplam kapsam 1 emisyonlarının %53'ünü, oluşan toplam emisyonların da %18'ini oluşturan 2.236,58 ton CO_{2e} miktarına sahip doğalgaz kullanımı, ikinci sırada ise jeneratör kullanımı olduğu gözlemlenmiştir.

İlgili tesisten kaynaklanan kapsam 1 emisyonları sonuç tablosu Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kapsam 1 emisyonları sonuç tablosu

KAPSAM 1	Faaliyet Verisi	Faaliyet Birimi	CO ₂ Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	CH ₄ Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	N ₂ O Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	Emisyon Faktörü birim/yıl	CO ₂ Ton CO ₂	CH ₄ Ton CO ₂ e	N ₂ O Ton CO ₂ e	Genel Toplam ton CO ₂
Yakıt (dizel) tüketimi şirket araçları	63.830,00	litre	2,6265	0,004	0,037	kg CO ₂ / litre	167,65	0,25	2,34	170,24
Yakıt (benzin) tüketimi şirket araçları	75.803,67	litre	2,218	0,003	0,048	kg CO ₂ / litre	168,12	0,26	3,66	172,05
Yakıt (dizel) off-road araçlar (forklift/trayler/traktör/iş makinası vb.)	9.544,00	litre	2,627	0,004	0,269	kg CO ₂ / litre	25,07	0,04	2,56	27,67
Yakıt (CNG) off-road araçlar (forklift/trayler/traktör/iş makinası vb.)	13.202,46	m ³	2,14682919	0,067	0,002	kg CO ₂ / m ³	28,34	0,88	0,02	29,25
Yakıt (Doğal gaz)	1.036.393,00	Sm ³	2,14682919	0,0010715012	0,0101409935	kg CO ₂ / Sm ³	2.224,96	1,11	10,51	2.236,58
Soğutucu gaz - R22 (kaçak/yıl)	108,80	kg	1760,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / kg	191,49	-	-	191,49
Soğutucu gaz - R410A (kaçak/yıl)	22,70	kg	1923,500	0,000	0,000	kg CO ₂ / kg	43,66	-	-	43,66
Soğutucu gaz - R134A (kaçak/yıl)	85,05	kg	1300,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / kg	110,57	-	-	110,57
CO ₂ yangın söndürücü	2.255,00	kg	1,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / kg	2,26	-	-	2,255
Proses CO ₂ tüketimi	121.155,00	kg	1,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / kg	121,16	-	-	121,16
Jeneratör (Dizel)	418.066,09	litre	2,627	0,0099	0,0056	kg CO ₂ / litre	1.098,05	4,15	2,36	1.104,56
Toplam							4.181,32	6,68	21,46	4.209,46

4.2. Kapsam 2 Emisyonları

İlgili üretim tesisinde kapsam 2 emisyonları içerisinde elektrik tüketim verileri yer almaktadır. Ve hesaplamalar dış kaynaklardan tedarik edilen elektrik kullanımı sırasında oluşan sera gazı emisyonlarını kapsamaktadır.

Bu tez çalışmasında ele alınan kapsam 2 emisyon faaliyet verileri çizelge 4.8.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Kapsam 2 emisyon faaliyet verileri

Faaliyet Verisi	Miktar	Faaliyet Birimi
Elektrik Tüketimi	2.310.000	kWh

İlgili tesiste kapsam 2 emisyon hesaplarında kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 4.9.'da belirtilmiştir.

Türkiye'de resmi makamlarca açıklanmış bir elektrik Emisyon faktörü bulunmamaktadır. DEFRA, IEA gibi uluslararası kaynaklarda da veriler güncel değildir. Bu sebeple Emisyon faktörü T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu içerisinde yer alan emisyon verileri doğrultusunda hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Kapsam 2 emisyon faktörleri (EF)

Faaliyet Verisi	CO ₂ Emisyon Faktörü kg CO ₂ / birim	Emisyon Faktörü (EF) birim/yıl	KAYNAK
Elektrik Tüketimi	0,7424	kg CO ₂ / kWh	ETKB 2022

4.2.1. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları

İlgili tesisten kaynaklanan kapsam 2 emisyonları sonuç tablosu Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Kapsam 2 emisyonunu oluşturan faktörün elektrik kullanımı olduğu ve toplam emisyonların %14'ünü oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.10. Kapsam 2 Emisyonları Sonuç Tablosu

KAPSAM 2	Faaliyet Verisi	Faaliyet Birimi	CO ₂ Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	Emisyon Faktörü birim/yıl	Genel Toplam ton CO ₂
Elektrik Tüketimi	2.310.000	kWh	0,7424	kg CO ₂ / kWh	1.714,94

4.3. Kapsam 3 Emisyonları

İlgili üretim tesisi için kapsam 3 hesaplamaları yapılırken, üretime yönelik lojistik faaliyetleri (yurtiçi-yurtdışı karayolu, havayolu ve denizyolu), operasyondan kaynaklanan atıklar (tehlikeli, tehlikesiz), iş seyahatleri, çalışanların kullanımı sağlanan servisler ve satışa yönelik lojistik faaliyetleri verileri kullanılarak kapsamlı bir analiz yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında ele alınan kapsam 3 emisyon faaliyet verileri çizelge 4.11.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Kapsam 3 Emisyon Faaliyet Verileri

Faaliyet Verisi	Faaliyet	Faaliyet Birimi
Üretime yönelik lojistik faaliyetleri	55.837.860,82	km
Yurtiçi- Karayolu	1.029.356,10	km
Yurtdışı- Karayolu	20.754.880,41	km
Yurtdışı- Denizyolu	33.361.740,70	km
Yurtdışı- Havayolu (>3700 km)	691.883,61	km
Operasyondan kaynaklanan atıklar	1.552,25	ton
<i>Tehlikesiz atık</i>	1.044,44	ton
<i>Tehlikeli atık</i>	507,81	ton
İş seyahatleri	5.189.910,00	Yolcu km
İş amaçlı uçuşlar - İç hatlar	257.326	km
İş amaçlı uçuşlar - Kısa Mesafe (Avrupa)	3.331.312	km
İş amaçlı uçuşlar - Kıtalararası	1.601.272	km
Çalışanların Ulaşımı		
Servisler- Türkiye	1.163.520,00	km
Servisler- Fransa	39.852,00	litre
Satışa yönelik lojistik faaliyetleri	17.988.203,44	km
Yurtiçi- Karayolu	2.914.735,83	km
Yurtdışı- Karayolu	12.123.965,43	km
Yurtdışı- Denizyolu	2.949.502,18	km
Toplam su kullanımı	127.672,00	m ³
Atıksu miktarı	54.379,00	m ³

İlgili çalışmada kapsam 3 emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri Çizelge 4.12.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.12. Kapsam 3 Emisyon Faktörleri

Faaliyet Verisi	CO₂ Emisyon Faktörü kg CO₂ / birim	CH₄ Emisyon Faktörü kg CO₂e / birim	N₂O Emisyon Faktörü kg CO₂e / birim	Emisyon Faktörü (EF) birim/yıl	Kaynak
Üretime yönelik lojistik faaliyetleri				kg CO₂	DEFRA 2021
Yurtiçi- Karayolu	0,106	-	-	kg CO ₂	-
Yurtdışı- Karayolu	0,106	-	-	kg CO ₂	-
Yurtdışı- Denizyolu	0,016	-	-	kg CO ₂	-
Yurtdışı- Havayolu (>3700 km)	0,539	-	-	kg CO ₂	-
Operasyondan kaynaklanan atıklar				kg CO₂	DEFRA 2022
Tehlikesiz atık	21,28	-	-	kg CO ₂	-
Tehlikeli atık	467,008	-	-	kg CO ₂	-
İş seyahatleri				kg CO₂	DEFRA 2021
İş amaçlı uçuşlar - İç hatlar	0,129	0,000	0,001	kg CO ₂	-
İş amaçlı uçuşlar - Kısa Mesafe (Avrupa)	0,080	0,000	0,001	kg CO ₂	-
İş amaçlı uçuşlar - Kıtalararası	0,101	0,000	0,001	kg CO ₂	-
Çalışanların Ulaşımı				kg CO₂	DEFRA 2021-2022
Servisler- Türkiye	0,498	-	-	kg CO ₂	-
Servisler- Fransa	2,627	0,004	0,037	kg CO ₂	-
Satışa yönelik lojistik faaliyetleri				kg CO₂	-
Yurtiçi- Karayolu	0,106	-	-	kg CO ₂	-
Yurtdışı- Karayolu	0,106	-	-	kg CO ₂	-
Yurtdışı- Denizyolu	0,016	-	-	kg CO ₂	-
Toplam su kullanımı	0,149	-	-	kg CO ₂	-
Atıksu Miktarı	0,272	-	-	kg CO ₂	-

İlgili emisyon faktörleri DEFRA 2021, 2022 Emisyon dönüşüm faktörleri ve 2006 yılı IPCC Raporu'nda yer alan Tablo 3.2.1 Karayolu Taşımacılığı varsayılan CO₂ Emisyon Faktörleri tablosundan alınarak hesaplanmıştır. Tehlikeli ve tehlikesiz atık emisyon faktörleri DEFRA 2022 emisyon faktörleri veri seti aracılığıyla hesaplanmıştır. İlgili veri seti içerisinde yer alan tehlikesiz atıkları üretim tesisi kaynaklı oluşan atık türlerine göre incelendiğinde emisyon faktörlerinin aynı olduğu göz önünde bulundurularak kategorilerine ayrılmamıştır.

İlgili tesisten kaynaklanan kapsam 2 emisyonları sonuç tablosu Çizelge 4.13.'de verilmiştir.



Çizelge 4.13. Kapsam 3 Emisyonları Sonuç Tablosu

KAPSAM 3	Faaliyet Verisi	Faaliyet Birimi	CO ₂ Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	CH ₄ Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	N ₂ O Emisyon Faktörü (kg CO ₂ / birim)	Emisyon Faktörü birim/yl	CO ₂ Ton CO ₂	CH ₄ Ton CO ₂	N ₂ O Ton CO ₂	Genel Toplam ton CO ₂
Üretim yönelik lojistik faaliyetleri										
Yurtiçi- Karayolu	55.837.860,82	km	0,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / ton km	3.223,40	-	-	3.309,83
Yurtdışı- Karayolu	1.029.356,10	km	0,106	-	-	kg CO ₂ / ton km	109,26	-	-	109,26
Yurtdışı- Karayolu	20.754.880,41	km	0,106	-	-	kg CO ₂ / ton km	2.202,92	-	-	2.202,92
Yurtdışı- Denizyolu	33.361.740,70	km	0,016	-	-	kg CO ₂ / ton km	538,53	-	-	538,53
Yurtdışı- Hava yolu (>3700 km)	691.883,61	km	0,539	-	-	kg CO ₂ / ton km	372,70	-	-	372,70
Operasyondan kaynaklanan atıklar										
Tehlikesiz atık	1.552,25	ton	0,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / ton	259,38	-	-	259,38
Tehlikeli atık	1.044,44	ton	21,280	-	-	kg CO ₂ / ton	22,23	-	-	22,23
İş seyahatleri										
İş amaçlı uçuşlar İç hatlar	507,81	ton	467,008	-	-	kg CO ₂ / ton	237,15	-	-	237,15
İş amaçlı uçuşlar Kısa Mesafe (Avrupa)	5.189.910,00	km	0,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / Yolcu km	462,86	0,08	4,38	467,32
İş amaçlı uçuşlar Uzun Mesafe	257.326	km	0,129	0,000	0,001	kg CO ₂ / Yolcu km	33,12	0,03	0,31	33,46
Çalışanların Ulaştırması										
Servisler- Türkiye	3.331.312	km	0,080	0,000	0,001	kg CO ₂ / Yolcu km	267,84	0,03	2,53	270,40
Servisler- Fransa	1.601.272	km	0,101	0,000	0,001	kg CO ₂ / Yolcu km	161,90	0,02	1,54	163,46
Servisler- Türkiye	-					kg CO ₂ /	683,62	0,15	1,46	685,23
Servisler- Türkiye	1.163.520,00	km	0,498	-	-	kg CO ₂ / araç km	578,94	-	-	578,94
Servisler- Fransa	39.852,00	litre	2,627	0,004	0,037	kg CO ₂ / litre	104,67	0,15	1,46	106,29
Satışa yönelik lojistik faaliyetleri										
Yurtiçi- Karayolu	17.988.203,44	km	0,000	0,000	0,000	kg CO ₂ / ton km	1.643,82	-	-	1.643,82
Yurtdışı- Karayolu	2.914.735,83	km	0,106	-	-	kg CO ₂ / ton km	309,37	-	-	309,37
Yurtdışı- Karayolu	12.123.965,43	km	0,106	-	-	kg CO ₂ / ton km	1.286,84	-	-	1.286,84
Yurtdışı- Denizyolu	2.949.502,18	km	0,016	-	-	kg CO ₂ / ton km	47,61	-	-	47,61
Toplam su kullanımı (Şebeke+Kuyu)	127.672,00	m ³	0,149	-	-	kg CO ₂ / m ³	19,02	-	-	19,02
Atıksu Miktarı	54.379,00	m ³	0,272	-	-	kg CO ₂ / m ³	14,79	-	-	14,79
Toplam							6.306,89	0,23	5,84	6.312,96

4.4. Kapsamlar ve Sonuçlar

Bu tez çalışması içerisinde Otomotiv Sektöründe yer alan bir üretim tesisinde kapsam 1, 2, 3 karbon ayak izi miktar hesapları yapılmış olup, detaylı hesaplama tabloları 3.Bölüm içerisinde sunulmuştur.

Yapılan hesaplamalara göre, 2022 yılı içerisinde toplam ton CO₂ değerleri incelendiğinde; kapsam 1 için 4.209,46 ton CO₂, kapsam 2 için 1.714,94 ton CO₂, kapsam 3 için ise 6.312,96 ton CO₂ değerleri bulunmuştur.

İlgili tesiste oluşan kapsam 1,2,3 emisyon hesaplamaları sonuçları ve yüzdelik değerleri verilerini içeren sonuç tabloları izelge 4.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Kapsam1,2,3 Emisyon Hesaplamaları Sonuçları ve Yüzdelik Değerleri

2022	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Toplam	Yüzde
Kapsam	ton CO ₂	ton CO ₂ e	ton CO ₂ e	ton CO ₂	%
Kapsam 1	4.181,32	6,68	21,46	4.209,46	34,40%
Kapsam 2	1.714,94	-	-	1.714,94	14,01%
Kapsam 3	6.306,89	0,23	5,84	6.312,96	51,59%
Toplam	12.203,15	6,91	27,30	12.237,37	100,00%

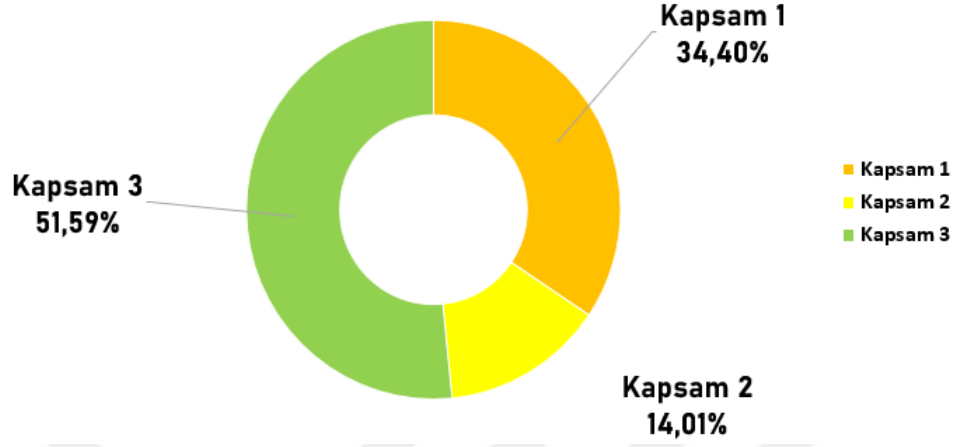
İlgili tesiste oluşan kapsam 1,2,3 emisyon hesaplamaları sonuçlarının grafiksel gösterimi grafik 4.1.’de gösterilmiştir.



Grafik 4.1. Kapsam1,2,3 Emisyon Hesaplamaları Sonuçları Grafiği

Bu tez içerisinde bir otomotiv üretim tesisi verileri doğrultusunda yapılan çalışmalar sonucunda, kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 emisyonları hesaplanmış olup, hesaplamalar sonucunda en yüksek emisyonların sırasıyla %51,59 ile kapsam 3, %34,40 ile kapsam 1 ve %14,01 ile kapsam 2 olduğu ve toplam emisyon miktarının 12.237,37 ton CO₂ olduğu gözlemlenmiştir.

İlgili tesiste oluşan kapsam 1,2,3 karbon ayak izi sonuçlarının yüzdelik gösterimleri grafik 4.2.'de gösterilmiştir.



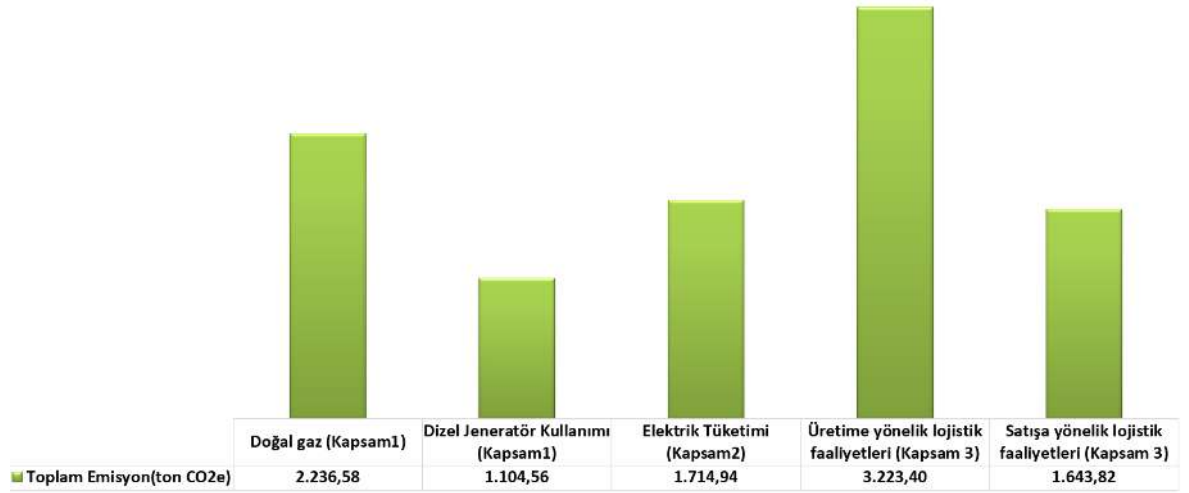
Grafik 4.2. Kapsam1,2,3 Karbon Ayak İzi Sonuçları Yüzdelik Göstergeleri

Bu tez çalışması içerisindeki otomotiv üretim tesisi verileri doğrultusunda yapılan çalışmalar sonucunda oluşan kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 emisyonlarına ait karbon eşdeğer miktarlarının indirekt ve direkt olarak gösterimi çizelge 4.15.'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Direkt ve İndirekt Emisyonlara ait Karbon eşdeğer miktarları

Kapsamlar	Emisyon Veri Adı	Ton olarak karbon miktarı
Kapsam 1	Direkt Emisyonlar	4.209,46
	Doğalgaz Kullanımı	
Kapsam 2	İndirekt Emisyonlar	1.714,94
	Elektrik Tüketimi	
Kapsam 3	Diğer indirekt emisyonlar	6.312,96
	Lojistik faaliyetleri	
	Çalışan Ulaşımı	
	Seyahatler	
	Toplam Su kullanımı	
	Atık su oluşumu	

İlgili tez çalışmasında yapılan hesaplamalar sonucu oluşan kapsam1,2,3 emisyonları içerisinde en yüksek miktara sahip ilk 5 faaliyet Grafik 4.3.'de gösterilmiştir.



Grafik 4.3. En büyük ilk 5 emisyon faktörü ve miktarları grafiği

Kapsam 1 emisyonlarını oluşturan en büyük emisyon faktörlerinin başında oluşan toplam kapsam 1 emisyonlarının %53'ünü, oluşan toplam emisyonların da %18'ini oluşturan Doğalgaz kullanımı, ikinci sırada ise jeneratör kullanımı olduğu gözlemlenmiştir.

Kapsam 2 emisyonunu oluşturan faktörün elektrik kullanımı olduğu ve toplam emisyonların %14'ünü oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Kapsam 3 emisyonlarını oluşturan en büyük emisyon faktörleri incelendiğindeyse kapsam 3 emisyonlarının %52'sini oluşturan üretime yönelik lojistik faaliyetlerinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Diğer yüksek emisyonu sahip faaliyetin ise %26 ile satışa yönelik lojistik faaliyetleri olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.1. Araç Başı Oluşan Karbon Emisyonları Miktarı

Yapılan hesaplamalara göre, 2022 yılı içerisinde toplam ton CO₂ değerleri incelendiğinde; kapsam 1 için 4.209,46 ton CO₂, kapsam 2 için 1.714,94 ton CO₂, kapsam 3 için ise 6.312,96 ton CO₂ değerleri bulunmuştur.

İlgili üretim tesisi içerisinde 2022 yılında üretilen toplam araç sayısının 2.445 adet/yıl olduğu verisine göre 2022 yılında oluşan araç başı emisyonlar sırasıyla aşağıda hesaplanmıştır.

Kapsam 1 Araç Başı Oluşan Emisyonlar

Kapsam 1 karbon ayak izi miktarı: 4.209,46 ton CO₂e

2022 Yılı üretilen araç adedi: 2.445 adet/yıl

Kapsam 1 kaynaklı araç başı karbon ayak izi miktarı;

Oluşan sera gazı miktarı (tonCO₂e) / Üretilen Araç Sayısı: 4.209,46 ton CO₂e / 2.445 adet/yıl = 1.72 ton CO₂e kapsam 1 kaynaklı emisyon oluşumu hesaplanmıştır.

Kapsam 2 Araç Başı Oluşan Emisyonlar

Kapsam 2 karbon ayak izi miktarı: 1.714,94 ton CO₂e

2022 Yılı üretilen araç adedi: 2.445 adet/yıl

Kapsam 2 kaynaklı araç başı karbon ayak izi miktarı;

Oluşan sera gazı miktarı (tonCO₂e) / Üretilen Araç Sayısı: 1.714,94 ton CO₂e / 2.445 adet/yıl = 0,70 ton CO₂e kapsam 2 kaynaklı emisyon oluşumu hesaplanmıştır.

Kapsam 3 Araç Başı Oluşan Emisyonlar

Kapsam 3 karbon ayak izi miktarı: 6.312,96 ton CO₂e

2022 Yılı üretilen araç adedi: 2.445 adet/yıl

Kapsam 3 kaynaklı araç başı karbon ayak izi miktarı;

Oluşan sera gazı miktarı (tonCO₂e) / Üretilen Araç Sayısı: 6.312,96 ton CO₂e / 2.445 adet/yıl = 2,58 ton CO₂e kapsam 3 kaynaklı emisyon oluşumu hesaplanmıştır.

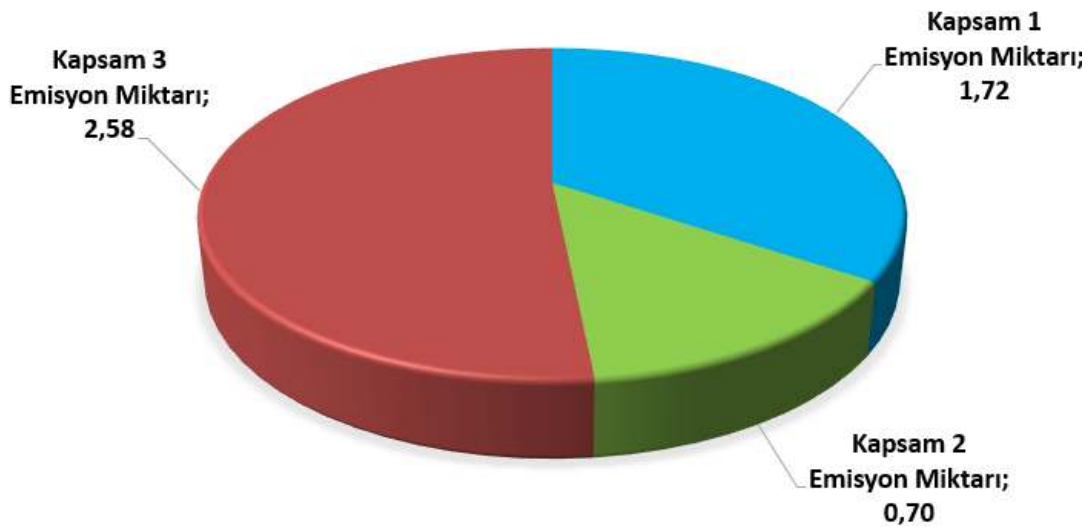
Araç Başı Oluşan Toplam Karbon Miktarı

İlgili üretim tesisinde hesaplanan toplam emisyon miktarı 12.237,37 ton CO₂e olup, üretilen araç sayısı bilgisi de 2.445 adet/yıldır.

Bu verilere dayanarak, araç başı oluşan toplam emisyon hesabı aşağıda belirtilmiştir.

Oluşan toplam sera gazı miktarı (tonCO₂e) / 2022 yılı üretilen araç sayısı: 12.237,37 ton CO₂e / 2.445 adet/yıl = **5 ton CO₂e** toplam karbon emisyonu oluşumu hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucu araç başına oluşan karbon miktarları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Araç başına oluşan karbon emisyon miktarı

Dünya genelinde ve ülkemizde iklim değişikliğinin önemini anlama konusundaki farkındalığın artmasıyla birlikte, hükümetlerden yatırımcılara, kuruluşlardan bireylere kadar herkesin sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik çözümleri benimsemesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bilinçle, ilk olarak mevcut emisyonların güvenilir kaynaklarla hesaplanması ve emisyon azaltma stratejilerini içeren bir yönetim planının oluşturulması gerekmektedir. Ürünlerin ve sunulan hizmetlerin karbon ayak izinin azaltılması veya nötrlenmesi, şirketlerin marka değerini yatırımcılar ve tüketiciler nezdinde artıracığına işaret edilmektedir.

Seçilen bir otomotiv üretim tesisinde karbon ayak izinin belirlendiği çalışmada, 2022 yılına ait veriler doğrultusunda üretim faaliyetlerinden kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı hesaplanmıştır. İlgili tez çalışmasında yapılan araştırmalar, hesaplamalar ve analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda yer almaktadır;

- Toplam kapsam 1 emisyonları hesaplamaları sonucunda 4.209,46 ton CO₂e olduğu hesaplanmıştır. Kapsam 1 emisyonları içerisinde en büyük paya sahip olan faktörlerin 2.236,58 ton CO₂e ile doğalgaz ve 1.104,56 ton CO₂e ile jeneratör kullanımı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dizel/benzin yakıtlı şirket araçları ve off road araçlar da kapsam 1 emisyonlarında artışa sebep olmaktadır.
- Kapsam 2 emisyonlarına bakıldığında elektrik tüketimleri neticesinde toplam 1.714,94 ton CO₂e olduğu hesaplanmıştır.
- Kapsam 3 emisyonları değerlendirildiğinde ise, 6.312,96 ton CO₂e olduğu hesaplanmıştır. En önemli faktörlerin sırasıyla 3.309,83 ton CO₂e ve 1.643,82 ton CO₂e karbon emisyonu ile üretime ve satışa yönelik lojistik faaliyetlerden kaynaklandığı gözlemlenmektedir. Ayrıca iş seyahatleri de kapsam 3 emisyonlarında artışa sebep olmaktadır.

İlgili bulgular göz önüne alınarak, karbon ayak izi azaltım için yapılacak iyi uygulamalar, faaliyetler ve ikame yöntemleri aşağıda sırasıyla değerlendirilmiştir.

4.5. Kapsam 1 Emisyonları Azaltım Yöntemleri

4.5.1. Doğalgaz Kullanım Miktarı kaynaklı Karbon ayak izi Azaltım Yöntemleri

İlgili çalışmada kapsam 1 emisyonlarının %53'lük önemli bir kısmının Doğalgaz kullanımına bağlı olarak olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz kullanımına bağlı karbon ayak izi miktarı ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının en önemli ve verimli yöntemi, daha temiz yakıtların tercih edilmesidir.

Yeşil Hidrojen Kullanımı

Hidrojen, enerji hücrelerinde kullanılan evrendeki en temel unsur ve en yaygın gazdır. Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olan hidrojen, geleceğin temiz enerji sistemlerinde elektronlar için mükemmel bir tamamlayıcıdır. Hidrojen üretiminin gelişmesiyle birlikte, dünya genelinde kimya ve petrol endüstrisine bağlı ve sürekli büyüyen bir hidrojen ekonomisi oluşmuştur, bu süre zarfında yaklaşık otuz yıl. Bu nedenle hidrojen, gelecekte yaygınlaşabilecek tek alternatif olarak petrol, kömür ve doğal gazın yerine geçebileceği düşünülmektedir (Kılıç, 2009).

Hidrojen, doğal bir yakıt değildir; bunun yerine su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi çeşitli hammaddelerden sentetik olarak üretilen bir yakıttır. Üretim aşamasında buhar rafinasyonu, atık gazların arındırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi çeşitli alternatif hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur.

Temelde, yakıt hidrojenin su ve yenilenebilir enerjiler kullanılarak üretilmesi ana ilkedir. Hidrojen üretim yöntemleri arasında en öne çıkan suyun doğrudan elektrolizi gelmektedir. Elektroliz için gereken elektrik, fosil yakıtlardan, hidroelektrik kaynaklardan, nükleer enerjiden, jeotermal enerjiden, güneş, rüzgar ve deniz dalga enerjilerinden sağlanabilir. Gelecekte en çok üzerinde durulan yöntem ise fotovoltaik güneş üreteçlerinin kullanılmasıdır.

Hidrojen, enerji taşıyıcısı olarak işlev görür ve elde edilen enerjiyi nakleder. Hidrojen, atmosferdeki oksijenle reaksiyona girdiğinde, azot (N_2), su (H_2O) ve oksijen (O_2) gibi yan ürünler üretir. Azot oksit emisyonları, hidrojen motorlarında, petrol ve petrol türevlerini kullanan yanmalı motorlara kıyasla daha düşük seviyelerde bulunmaktadır (Shekardasht, 2016). Hidrojeni diğer yakıtlardan ayıran önemli bir özellik, güneş veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi ve ısı enerjisi kullanılarak doğadaki bileşiklerden elektroliz ve hidroliz gibi tekniklerle üretilmesidir. Teorik olarak, hidrojen her türlü bileşikten üretilir, ancak dünyamızda su en zengin hidrojen kaynağıdır.

İlgili üretim tesisinde kullanılan doğalgaza alternatif olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektroliz işlemi yöntemi baz alınan yeşil hidrojen teknolojisi değerlendirilmiştir.

Normal şartlarda (oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında), suyun molekülleri ayrışmaz. Suyun hidrojen ve oksijene ayrıştırılması için en az 1,23 V'lık bir elektrik enerjisi gereklidir (Shekardasht, 2016). Elektroliz, suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenlere ayrılma sürecini ifade eder ve hidrojen üretimi için en temel yöntemlerden biridir. Genellikle, elektroliz hücresi içinde, iki elektrot (genellikle düzlem metal veya karbon plakalar) ve bu elektrotların içine daldırıldığı, elektrolit adı verilen iletken bir sıvı bulunur. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında, akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda doğru hareket eder. Bu süreçte, elektrolit içindeki su, katottan çıkan hidrojen ve anottan çıkan oksijene ayrışır. Ancak, suyun iyi bir iletken olmaması nedeniyle, elektrolitin içine genellikle potasyum hidroksit gibi bir madde eklenir. (Şenaktaş, 2005).

Elektroliz için suyun ayrışması, normal basınç ve sıcaklıkta ideal olarak 1,23 volt ile gerçekleşir. Ancak tepkimenin yavaş olması ve diğer nedenlerle, elektroliz işleminde genellikle daha yüksek gerilimler kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları tercih edilir. Bu nedenle, suyun ayrıştırılması için pratikte hücre başına uygulanan gerilim genellikle 2 volt civarındadır.

Kuramsal olarak, her metreküp hidrojen üretimi için 2.8 kw saat elektrik enerjisi yeterli olabilir, ancak pratikte kullanılan elektrik enerjisi miktarı bir metreküp hidrojen üretimi için 3,9-4,6 kw saat arasında değişir. Bu da elektroliz işleminin veriminin yaklaşık %70 olduğunu gösterir. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde %90' a varan verimler elde edilmiştir. Pratikte kullanılan elektroliz hücrelerinde genellikle nikel kaplı çelik elektrotlar kullanılmaktadır (Şenaktaş, 2005).

Hidrojenin etkin ve güvenilir bir şekilde depolanabilmesi hem sabit hem de taşınabilir uygulamalar için önemlidir. Taşınabilir uygulamalarda hafiflik, depolama için ek bir önem taşır. Depolanabilirlik, hidrojenin en önemli özelliklerinden biridir. Günümüzde büyük miktarlarda enerji depolamak için uygun bir yöntem bulunamamış olması, hidrojenin önemini artırmaktadır.

Hidrojenin çeşitli depolama yöntemleri bulunmaktadır, bunlar arasında nanotüplerde depolama, metal hidrürlerde depolama, alanatlarda depolama, bor esaslı depolama, tanklarda depolama gibi yöntemler bulunmaktadır. Hidrojen, uygun nitelikli tanklarda gaz veya sıvı olarak depolanabilir. Depolama yöntemleri ağırlıklı olarak gaz halinde depolamadır.

Etkin bir depolama için 150 atmosfer veya daha yüksek basınç gerekebilir, ancak yüksek basınç ile birlikte tankın hafif olma gerekliliği, tank tasarımını zorlaştırır. Gaz halinde depolama durumunda hacimsel yoğunluk nispeten düşük olduğundan, bu durumu artırmak için bir yöntem, gazın daha düşük sıcaklıkta, örneğin sıvı azot sıcaklığında veya daha da soğutulmuş (-253°C) sıvı olarak depolanmasıdır. Ancak, sıvılaştırma için gerekli enerji, göz ardı edilmemesi gereken bir seviyededir ve hidrojenden sağlanacak enerjinin yaklaşık 1/4'ü kadardır. (Ewald, 1998).

Yakıt olarak hidrojen kullanımı her ne kadar karbon emisyonlarını önemli bir ölçüde azaltacak olsa da, hem bahsedilen depolama problemleri hem de hidrojenin depodan sızma riski gibi nedenler, hidrojenin büyük fabrikalarda yakıt olarak kullanımını kısıtlamaktadır.

Bu nedenle, ilgili otomotiv üretim tesisinde hidrojenin kullanımının uygun olmadığı gözlemlenmektedir.

4.5.2. Jeneratör Kullanım Miktarı kaynaklı karbon ayak izi Azaltım Yöntemleri

İlgili üretim tesisinde ani elektrik kesintileri esnasında kullanılması amacıyla jeneratörler bulunmaktadır. Bu jeneratörlerden kaynaklanan 2022 yılı içerisinde toplam 1.104,56 ton CO₂e oluşumu hesaplanmıştır. Jeneratör kullanımına bağlı karbon emisyonlarının azaltılması, eğer doğalgaz benzin ve dizel dışında alternatif yakıtlara geçilmesi mümkün değilse, yakıt verimliliği artırılarak sağlanabilir. Yakıt verimliliğini artırmak için, jeneratörün düzenli olarak bakımı

yapılmalı, filtreleri temiz bulundurulması, doğru bir hava-yakıt karışımı sağlanmalı ve iyi bir yakıt yönetimi oluşturulmalıdır. Jeneratör daha düşük devirde çalıştırılarak gereksiz enerji kullanımının önüne geçilebilir. Otomatik devreye alma sistemleri ve uzaktan izleme teknolojileri kullanılarak, jeneratörlerin yük taleplerine göre daha iyi kontrol edilebilmesi sağlanabilir.

Fakat jeneratör kullanımına bağlı karbon ayak izi miktarı ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının en önemli ve verimli yöntemi, daha temiz yakıtların tercih edilmesidir. Fosil yakıtlar yerine biyoyakıt veya hidrojen gibi daha temiz ve düşük karbonlu alternatifler kullanılarak ilgili salınımların önüne geçilmesi sağlanabilir.

4.5.3. Şirket Havuz Araçları ve Off-Road Araçları Kullanımı kaynaklı karbon ayak izi azaltım yöntemleri

İlgili üretim tesisinde benzin, dizel ve cng yakıtlı şirket binek araçları ve off road araçlardan kaynaklanan kapsam 1 içerisindeki %10'luk emisyonların azaltımı için sürekli olarak güncel teknolojiyi izlemek ve çevre dostu yenilikleri incelemek, daha verimli ve temiz enerji kaynaklarına geçiş yapılmasına yardımcı olacaktır. Benzinli veya dizel araçların yerine elektrikli binek araçları veya elektrikli forkliftler kullanılması ve bu enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi ilgili emisyonların büyük bir oranda azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Elektrikli araçlar, sıfır emisyonlu sürüş sağlar ve daha çevreci bir seçenek sunar. Elektrikli forkliftlere geçiş, iç mekandaki hava kalitesini iyileştirir ve dışarıya zararlı emisyonların salınımını engeller. Eğer tamamen elektrikli araçlar uygun değilse, hibrit araçların kullanımı (benzin veya dizel motor ile elektrik motoru birleşimi) daha düşük yakıt tüketimine ve emisyon oluşmasına katkı sağlayabilir.

Şirket havuz araçları ve off road araçların elektrikli araçlara çevrilmesi ve bu elektriğin güneş panelleri ile sağlanması halinde 369,95 t CO₂e emisyonun önlenmesi sağlanabilir.

4.6. Kapsam 2 Emisyonları Azaltım Yöntemleri

Hesaplanan sera gazı emisyonları incelendiğinde, elektrik tüketiminden kaynaklı emisyonların, toplam emisyon miktarının yaklaşık %14'lük önemli bir oranını oluşturduğu karşımıza çıkmaktadır. Elektrik tüketiminden dolayı oluşan sera gazı emisyonları kapsam 2 emisyonlar olarak değerlendirilmektedir. İlgili hesaplamalar Türkiye içerisinde kullanılan TEİAŞ 2022 elektrik tüketimi sera gazı emisyonu değerleri kullanılarak yapılmış olup, üretim tesisi içerisinde şebeke elektriği kullanılmaktadır. Küresel olarak bakıldığında birçok kurum ve kuruluş, kullandığı elektrik enerjisinin tamamını veya bir kısmını şebeke elektriğinden temin etmektedir.

Kapsam 2 emisyonlarını düşürmenin bir diğer yolu ise, ilgili üretim tesisi içerisinde uygun alanlar içerisine yapılacak yenilenebilir enerji kaynakları ile tüketilen enerjinin ilgili tesis içerisinde üretilmesinin sağlanmasıdır. İlgili tesisin coğrafi konumu da göz önünde bulundurulduğunda, tesis için en önemli sistem güneş panelleri ile solar elektrik üretimi olacaktır.

4.6.1. Güneş Enerjisi Projesi

İlgili üretim tesisinde oluşan kapsam 2 emisyonların önlenmesi adına enerji ihtiyacının güneş enerjisi ile elde edilmesi senaryo olarak planlanmıştır. Üretim tesisi içerisindeki uygun alanlara bakıldığında yaklaşık toplam 3100 m²'ye sahip Arge Binası ve ambar binaları çatılarının güneş panelleri açısından uygun olduğu gözlemlenmiştir. İlgili tesis içerisinde güneş paneline uygun tesis alanları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş paneline uygun tesis çatıları

İlgili alan içerisine 545 watt gücünde ve 2279 mm x 1134 mm boyutlarında bir güneş paneli konulacağı varsayıldığında,

$$\text{Panelin alanı: } 2279 \text{ mm} \times 1134 \text{ mm} = 2.584.386 \text{ mm}^2 = 2,58 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m}^2\text{'nin gücü: } 545 \text{ watt} / 2,58 \text{ m}^2 = 211 \text{ Watt olacaktır.}$$

Metrekaresi 211 watt güce sahip bir güneş paneli için tipik olan %20'lik bir ortalama verimlilik ve ilgili bölge verileri incelenip günde ortalama 7,1 saat (Anonim, 2023h) güneş ışığına maruz kalma varsayıldığında, 1 m² güneş paneli günde yaklaşık 211 watt x 7,1 saat = 1498 watt (1,49 kW) elektrik üretebilir. .Bu da ayda yaklaşık 59,4 kilovat saate eşdeğerdir (Anonim, 2023ı).

Kullanılabilir 3100 m² lik alan içerisine yerleştirilecek güneş panellerinden 1 senede üretilebilecek elektrik miktarı ise, 3100 m² x 59,4 kw x 12 ay = 2.209 kwh olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan karbon ayak izi hesaplarında kullanılan formül eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\text{Karbon emisyonu (CF)} = \text{Faaliyet verisi(AD)} \times \text{Emisyon faktörü(EF)} \quad (1)$$

$$= 2.209 \text{ kwh} \times 0,7424 = 1.640 \text{ ton CO}_2$$

İlgili üretim tesisinde güneş paneli için uygun alanlar göz önünde bulundurulduğunda, hesaplanan projenin yapımı ile, bir senede oluşacak 1.640 kg CO₂ nin önüne geçilebileceği öngörülmüştür.

Güneş panellerinin cam ve alüminyum malzemesi çevre için büyük bir sorun yaratmamasına karşın, güneş hücrelerinden oluşan paneller çeşitli ağır metaller, katkı maddeleri (yarı iletkenler) genellikle insan sağlığına ve doğaya zararlı olabilecek kimyasal maddeler içeriyorlar. Kanser yapabilen ve oldukça zehirli olan bu maddelerin başlıcaları: arsenit, kurşun, bakır, galyum, kadmiyum tellürid, kadmiyum sülfid, polyvinül florür, selenyum gibi birçok toksik madde içermekte olup, bu zehirli atıkların toprağa ve suya sızması durumunda zaman içinde ciddi insan sağlığı ve çevre sorunlarına yol açabilir. Bu tehlikelerin önlenmesi için bu malzemelerin kullanım ömrü sonunda uygun şekilde işlenmesi gerekmektedir. Tehlikeli atıkların belirlenmesi için farklı ülkeler, PV panel üretiminde kullanılan malzemelerde bulunan zararlı bileşenlerin konsantrasyonu için farklı değerleri kabul etmektedir. Belirlenen konsantrasyona bağlı olarak güneş panelleri, bazı ülkelerde tehlikeli atık olarak, bazı ülkelerde ise tehlikesiz atık olarak değerlendirilir (Predoiu, 2017).

Güneş panelleri, dünya çapında en iyi temiz enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilirken, panellerin yaşam döngüsü incelendiğinde de taşıma, üretim ve elektrik üretimi aşamalarında da doğrudan ve dolaylı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, panel üretimi sırasında zararlı toksinleri içeren çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır, bu da paneli oluşturan bazı malzemelerin çevre sağlığını tehdit etmektedir (Yıldız vd., 2020).

ABD Illinois eyaletindeki Northwestern Üniversitesi ile ABD Enerji Bakanlığı Argonne Ulusal Laboratuvarı iş birliğiyle yapılan bir çalışmaya göre, Çin'de güneş kolektörleri üretiminin çevresel etkileri Avrupa'dakilerden yaklaşık olarak iki kat daha fazladır. Çalışmanın yazarlarından biri olan Fengqi You, Çin'de üretilen ve Avrupa'da kullanılan bir güneş panelinin, yerel olarak üretilip kullanılan bir panele kıyasla karbon ayak izinin yaklaşık iki katı olduğunu tahmin ettiklerini bildirmektedir.

Dünya üretiminin üçte ikisi Çin'e aittir ve düşük üretim maliyetleri ve hükümetin finansal teşvikleri sayesinde Çin, dünyanın en büyük fotovoltaik üreticisi haline gelmiştir. Çin'in hem güneş paneli talebinde hem de tedarikinde dünya pazarını kontrol ettiği belirtilmiştir. Çin'in 2013'te dünya üretiminin yaklaşık üçte ikisini elinde bulundurduğu ifade edilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi teknolojisi, günümüzde artan enerji talebine uygun ve sürdürülebilir bir çözüm sunan bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Almallahi vd., 2022). Ancak, bu sistemlerin belli bir ömrü olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu sistemlerin ömrü tamamlandığında yapılması gerekenler konusunda yeterli çalışma yapılmamış ve bu nedenle gerekli önlemler alınmamıştır. Güneş panellerinin geri dönüşümü ve bertarafı, kadmiyum, kurşun, selenyum ve tellür gibi tehlikeli kimyasallar içermeleri nedeniyle kritik ve acil bir öneme sahiptir.

Panel seçimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir faktördür. Çünkü panellerin üretiminde kullanılan malzemeler, enerji tüketimi ve üretim süreçlerinin çevresel etkileri, seçilen bir güneş panelinin toplam çevresel ayak izini belirler. Bu nedenle, panel seçerken sadece verimlilik değil, aynı zamanda çevresel etkileri de dikkate almak önemlidir.

Güneş panelleri, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Ancak, bu panellerin üretimi ve kullanımı çevresel etkilere neden olabilir. Özellikle, Çin menşeli güneş panellerinin üretimi sırasında ortaya çıkan çevresel etkiler, özellikle yüksek enerji tüketimi ve düşük standartlardan kaynaklanan karbon ayak izi gibi faktörler, endişe verici bir boyut kazanmıştır. Çin'deki üretim süreçlerindeki düşük çevre standartları, bu panellerin ömrü boyunca büyük bir çevresel etki bırakmasına yol açmaktadır.

Çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir seçenek olan güneş panelleri arasında, özellikle tek kristalli paneller ve çok kristalli paneller gibi seçenekler bulunmaktadır. Ancak, bu panellerin üretiminde kullanılan malzemeler ve enerji tüketimi arasında dengeli bir yaklaşım bulmak, çevresel etkileri en aza indirmek açısından önemlidir.

4.7. Kapsam 3 Emisyonları Azaltım Yöntemleri

4.7.1. Üretim ve Satışa Yönelik Lojistik Faaliyetlerinden Kaynaklı Karbon Ayak izi miktarı azaltım yöntemleri

Üretim ve satışa yönelik lojistik faaliyetlerinin alt kısımları çıkarılarak azaltım yöntemleri değerlendirilmiştir. Faaliyet verileri ve emisyon faktörleri kapsamlı olarak incelendiğinde, kapsam 3 emisyonlarının artışına sebep olan faaliyet yurtdışı karayolu ulaşimleri olarak belirlenmiştir.

2022 yılı içerisinde satış ve üretim kaynaklı, karayolu denizyolu ve havayolu lojistik faaliyetleri incelendiğinde kat edilen mesafenin 36.822.937 km olduğu, Defra'dan alınan emisyon faktörleri ile hesaplama yapıldığında 2022 yılı içerisinde toplam 4.867,22 ton CO₂e karbon ayak izi salınımına neden olduğu hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, üretim ve satış kaynaklı yurtdışı faaliyetlerinde karayolu yerine denizyolu ulaşımı tercih edildiğinde, karayolu denizyolu ve havayolu kaynaklı oluşan 4.867,22 t toplam CO₂ yerine 1.547,99 t CO₂ miktarında sera gazı emisyonu oluşacak olup, toplam 3.319,23t CO₂ emisyon oluşumun önleneceği hesaplanarak, ilgili yöntem seçilirse kapsam 3 karbon ayak izi miktarlarının yüksek oranda azaltımının sağlanabileceği belirlenmiştir.

4.7.2. Şirket Çalışanları İş Seyahatleri Uçuşları Kaynaklı Karbon ayak izi miktarı azaltım yöntemleri

Kapsam 3 emisyon hesaplama sonuçları incelendiğinde, emisyon oluşumuna neden olan bir diğer yüksek faktörlü oluşumun iş seyahatleri nedeniyle uçak kullanımı olduğu gözlemlenmiştir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok iş toplantısı ve görüşmesi video konferans yoluyla yapılması sağlanabilir. Şirket içi ve müşteri toplantılarını video konferanslarla gerçekleştirmek, seyahat ihtiyacını azaltabilir.

İlgili üretim tesisi çalışanlarının iş seyahatleri dolayısı ile oluşan karbon emisyonlarının telafi edilebilmesi için karbon kredileri satın alınabilir veya çevre projelerine yatırım yapılabilir.

4.8. Alternatif Karbon Emisyonları Azaltım Yöntemleri

4.8.1. Karbon Kredisi

Karbon vergisi, karbon içeren yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmayı teşvik etmek ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamak amacıyla kullanılan bir vergidir. CO₂, atmosferdeki sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturduğu için bu gazın azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede son derece önemlidir.

İklim değişikliğine neden olan sera gazları içinde CO₂'nin etkisinin %80 olduğu hesaplanmıştır. Bu bağlamda, CO₂ emisyonlarını azaltmak, iklim değişikliğini önlemek açısından son derece kritik bir faktördür.

Kyoto Protokolü'nün ardından, gönüllü karbon ticareti adı verilen bir sistem, karbon denkleştirme için gönüllü olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Bu yaklaşım Voluntary Emission Reduction (VER) olarak adlandırılmaktadır. Karbon sertifikaları, sera gazı azaltım faaliyetlerinin her bir ton CO₂ eşdeğer azaltımına ilişkin olarak verilmektedir. Kuruluşlar, tarım, ağaçlandırma, arazi kullanımı, yenilenebilir enerji gibi sera gazı emisyonlarını azaltan çalışmalar aracılığıyla CO₂ eşdeğerindeki karbon sertifikalarını kazanmaktadır. Bu sertifikalara hak kazanan kuruluşlar, karbon emisyonlarını dengelemek isteyen diğer organizasyonlara farklı standartlar çerçevesinde satabilmektedir.

Bu standartlar arasında Gold Standard, VERRA ve GCC (Global Carbon Council) gibi gönüllü karbon ticareti standartları bulunmakta olup, her biri kendi koşullarına uygun sera gazı azaltım projelerini onaylayarak bu projelerin kredi olarak belgelenmesini ve ticaretini sağlamaktadır. Gold Standard ve VERRA, 2020 itibarıyla Türkiye'deki yenilenebilir enerji projelerine sınırlamalar getirmiştir. Gold Standard sadece atık yönetimi projelerini kabul etmektedir.

Karbon fiyatları, kullanılan hesaplama araçlarına göre 1\$ ile 130\$ (fiyatlar, CO₂ eş değerinde ton için) değişmektedir. (Gazbir)

İlgili tez çalışmasında emisyon azaltım alternatif önerileri olarak Küresel Karbon Konseyi (GCC) standartlarına sahip yetkili kuruluşlardan ton başına karbon kredisi alınarak ilgili emisyonların nötrleneceği bulguları elde edilmiştir.

Orman Karbon Kredisi

Sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmaların içinde, "ormanlandırma" yöntemi önemli bir rol oynamaktadır. Bilimsel araştırmalara göre, bitkiler fotosentez yoluyla karbondioksiti emer ve kimyasal reaksiyonlarla organik maddeye dönüştürerek CO₂'nin tutulmasını sağlar. Ormanlar, CO₂ tüketimini büyük ölçüde gerçekleştiren bitki topluluklarıdır. Bu nedenle, sera gazı emisyonlarının canlı ve cansız varlıklar üzerindeki zararlı etkilerini geciktirme konusunda, bilim insanları tarafından en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilen ormanlandırma faaliyetleri göz ardı edilmemelidir.

Ormanlandırma, sera gazı salınımının azaltılmasında etkili bir yöntem olarak ön plana çıkarken, doğal dengeyi yeniden sağlama konusunda da en etkili mücadele araçlarından biri haline gelmektedir.

Tüm bu özellikler göz önüne alındığında, iklim değişikliği ile mücadele etmek amacıyla orman karbonu piyasası geliştirilmiştir.

Nemli bölgelere dikilen bir ağacın, 40 yıl boyunca yılda ortalama 50 pound (22 kg) karbondioksiti azaltacağı bilgi göz önünde bulundurularak, üretim tesisinde 2022 yılı içerisinde oluşan 12.237,37 ton CO₂e sera gazı miktarının nötrlenebilmesi için yaklaşık 556 bin ağaç dikilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Anonim, 2023k).

4.8.2. Yeşil Enerji Sertifikası

Türkiye'deki yenilenebilir enerji santralleri için yaygın bir standart olan I-REC (International Renewable Energy Certificate) %100 Yeşil Enerji Sertifikası, ilgili üretim tesisi için önem arz eden ve emisyonların tamamını nötrlemeyi sağlayacak önemli bir seçenek olduğu bulgusu elde edilmiştir. I-REC, Sera gazları Protokolü, Karbon Saydamlık Projesi (CDP) ve %100 yenilenebilir enerji (RE100) tarafından kabul edilen uluslararası bir yenilenebilir enerji standardıdır. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak %100 yenilenebilir yeşil enerji satın alınması halinde, elektrik tüketiminden kaynaklanan 1.714,94 tCO₂e kapsam 2 emisyonları neredeyse sıfırlanacak olup, bu sayede kapsam 2 emisyonlarının tamamı, toplam emisyonların da yaklaşık %14'lük bir kısmının nötrlenebileceği anlamına gelecektir.

4.8.3. Atıksuların proseste yeniden kullanımı

İlgili tesis verileri göz önünde bulundurulduğunda, 2022 yılında toplam 127.672 m³ su tüketimi olduğu gözlemlenmektedir.

Üretim tesisinde mevcut olan atıksu arıtma tesisinde arıtılan suların, belirli arıtma sistemleri sayesinde tekrar kullanımı sağlanarak, üretim tesisi içerisinde kullanılacak suların atıksulardan temin edilmesi sağlanabilir.

İlgili tesisin atıksu analizleri incelendiğinde, arıtılması gereken en önemli faktörler arasında üretim tesisi içerisindeki bazı proseslerde kullanılan kimyasallardan kaynaklanan Yağ-Gres, Akm, Ağır metaller ve KOİ için azaltıcı sistemler geliştirilmesi gerekmektedir.

İlgili su tüketimi ve atıksu arıtma tesisi kapasitesi de göz önünde bulundurularak, tesis tasarımında 15 m³/saat arıtım yapılacak şekilde ekipman ve yeniden kullanım tesisi tasarlanması gözlemlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında, tesis içerisinde giderilmesi istenen parametreler için, DAF ünitesi, kum filtre ünitesi, Fe-MN Filtre ünitesi, ultrafiltrasyon ünitesi, aktif karbon ünitesi ve dezenfeksiyon olarak da UV sistem ünitesi ilaveleri ile ilgili atıksuların proses içerisinde tekrar kullanımının sağlanabileceği araştırmaları elde edilmiştir.

Bu sayede 54.379 m³ lük atıksuyun oluşması önlenerek, toplam 14,79 t CO₂e karbon emisyonunun önüne geçileceği öngörülmektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İlgili tez içerisinde belirtilen, tesis içerisinde en çok sera gazı salınımına sebep olan faaliyetler için önerilen karbon ayak izi azaltımı yöntemlerinin haricinde, karbon emisyonlarının artışına sebep olan diğer faaliyetlerin de önüne geçilmesi, zamanla tüm dünyadan beklenen sıfır emisyon hedefine yaklaşılmasında ve başarılmasında önem arz etmektedir.

Bu nedenle, belirtilen yöntemlerin yanı sıra, kapsam 1, 2, 3 içerisinde yer alan diğer emisyon yaratan faktörlerden olan, Soğutucu gaz kullanımları ve Karbondioksit tüplerinin kullanımları daha çevreci alternatiflerle değiştirilmesi, tesiste oluşan atıkları azaltmak için satın alma süreçlerinde tedarikçi firmalardan gelen malzemelerin ambalajlarının azaltılmasını sağlamak, hammadde kullanımının sınırlandırılması ve azaltılması adına satın alınan malzemelerin geri dönüştürülmüş ürünlerden oluşmasını teşvik etmek ve üretim süreçlerinden meydana gelen atıkların azatılmasını hedeflemek karbon ayak izini azaltmada etkili bir stratejidir. Çalışanların ilgili tesise ulaşımalarının sağlandığı servislerin yakıtlarının da daha çevreci yakıtlarla değiştirilmesi ilgili hedefe ulaşılmasında önemli bir faktör olacağı öngörülmüştür. Ayrıca Tedarik zincirinde sürdürülebilirlik ilkelerini benimsemek, karbon ayak izini azaltmada önemlidir. Tedarikçilerin de karbon azaltma hedeflerine uygun ürünler ve süreçler kullanmalarını teşvik etmek önemlidir. Yenilikçi teknolojiler, üretim tesisinin karbon ayak izini azaltmak için kullanılabilir.

Karbon ayak izi hesaplamalarında, IPCC'nin belirlediği Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri daha spesifik ve net sonuçlar elde edilmesini sağlasa da, bu metodlara uygun veri sağlamak Tier 1 yöntemine göre daha güç olmaktadır. Tier 2 ve Tier 3 metotları daha zorlayıcı ve üst düzey metodolojiler olarak belirtilir. Ancak, bazı ülkelerin bu spesifik emisyon faktörlerine sahip olmaması nedeniyle IPCC ve Sera Gazları Protokolü Emisyon faktörlerinin zorunlu kullanımı kaçınılmazdır. Bu sebeple ilgili tez çalışması içerisinde yapılan hesaplamalarda, ulaşılabilen verilerin Tier 2 yöntemi ile hesaplanması, diğer verilerin Tier 1 yaklaşımı kullanılarak hesaplanması yapılmıştır. Daha önce yapılan otomotiv sektörü sera gazı emisyonları hesaplamaları çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, genellikle Tier 1 yöntemi ile hesaplamaların yapıldığı görülmüştür. Bu da tez içerisinde kullanılan metotların literatüre uygunluğunu göstermektedir.

“Ratha Sreng, Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayakizi, 2016 ” tez çalışması incelendiğinde 2341 kişinin çalıştığı ve yıllık 1.000.000 araç üretme kapasitesi olan ve çalışma yapılan yıl içerisinde 1.000.000 adet üretim yapan bir otomotiv tesisinin karbon ayak izi hesaplamalarının Tier 1 metodu ile yapılmış olduğu gözlemlenmektedir. İlgili tez bulguları incelendiğinde, toplam yıllık karbon eşdeğeri miktarı 3.194,998 ton olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre incelenen tez sonuçlarının bir miktar daha yüksek olmasının sebebinin yıllık araç üretim miktarı, çalışan sayısının fazla olması ve üretim metodolojilerinin farklılığından kaynaklandığı gözlemlenmiş olup, bu faktörler dikkate alınıp kıyaslandığında, sonuçların benzer olduğu gözlemlenmiştir.

“Gamze Dindar, Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması - Bursa İli Örneği, 2021” tez çalışması incelendiğinde, hesaplamaların 2019 ve 2020 yılı verileri doğrultusunda ve Tier 1 yaklaşımı ile yapıldığı gözlemlenmiştir. Tez bulguları incelendiğinde, 2019 yılında yaklaşık 16.501 ton ve 2020 yılında ise 12.921 ton CO_{2e} olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. İlgili hesaplama sonuçlarının bu tez çalışması sonuçları ile benzer olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışması içerisinde örnek olarak incelenen üretim tesisinin, 2022 yılı içerisinde otobüs üretim faaliyetlerinden kaynaklanan IPCC kılavuzu doğrultusunda tier 1 ve tier 2 metodolojileri ile yapılan karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, kapsam 1 emisyonlarının oluşumunda en büyük paya sahip olan 2.236,58 ton CO_{2e} ile doğalgaz ve 1.104,56 ton CO_{2e} ile jeneratör kullanımı olduğu gözlemlenerek, toplamda 4.209,46 ton CO_{2e} kapsam 1 emisyonlarından kaynaklı sera gazı salınımı olduğu hesaplanmıştır. Elektrik tüketiminden kaynaklanan kapsam 2 emisyonunun 2022 yılı için 1.714,94 ton CO_{2e} olduğu, kapsam 3 emisyonlarının 6.312,96 ton CO_{2e} olduğu gözlemlenerek, toplam karbon ayak izi miktarı 12.237,37 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma içerisinde karbon ayak izi miktarını düşürmek ve sera gazı emisyon oluşumlarının önüne geçmek için yapılması gerekenler değerlendirilmiştir. Oluşan karbonların azaltımı için bir çok yöntem değerlendirilmiş olup, sera gazı emisyonlarını azaltma önerileri içerisinde ilgili tesiste uygulanabilir öneriler şirket havuz ve off road araçlarında da elektrikli araçlara geçilmesi, elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonların azaltılabilmesi için uygun alanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş panellerinden enerji temin edilmesi, kalan elektrik enerjisi ihtiyacının %100 yeşil enerji sertifikası I-REC ile elde edilmesi, üretim ve satış kaynaklı kara yolu ulaşımından dolayı oluşan lojistikten kaynaklı emisyon azaltımında karayolu yerine denizyolu ile ulaşımın artırılması, atıksuların proses içerisinde yeniden kullanılması ve bu sayede su kullanımının da azaltılması uygulanabilir olduğu bulguları elde edilmiştir. Değerlendirme sonucunda ilgili öneriler gerçekleştirildiğinde toplam 5.422 ton CO_{2e} karbon oluşumunun önüne geçilebileceği, oluşan 12.237 ton CO_{2e} karbon emisyonunun 6.815 ton CO_{2e} değerine düşeceği ve bu sayede karbon emisyonlarının yaklaşık %45'inin önüne geçilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, G. 2006. Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46 (2): 29-43.
- Aksay, C. S. , Ketenoğlu, O. & Kurt, L., "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği." S Ü Fen Ed Fak Fen Derg , vol.25, pp.33-34, 2005
- Anonim, 2023a. Karbon Döngüsü. <https://www.semtrio.com/karbon-dongusu-> (Erişim tarihi: 24.10.2023).
- Anonim, 2023b. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı. <https://www.semtrio.com/cop24-birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-konferansi->(Erişim tarihi: 10.10.2023).
- Anonim, 2023c. Tonlarca Metan Gazı Açığa Çıkıyor. <https://www.cnnturk.com/teknoloji/tonlarca-metan-gazi-aciga-cikiyor> (Erişim tarihi: 07.09.2023).
- Anonim, 2023e. <https://www.carbonify.com/carbon-calculator.htm> (Erişim tarihi 26.10.2023)
- Anonim, 2023f. ISO 14064 belgesi. <https://www.isobelgesi.gen.tr/iso-14064-belgesinedir-nasil-alinir-dogrulaması-nasil-ve-kim-tarafından-yapılır-danismanlık-hizmetindeneler-yapılır-> (Erişim tarihi: 16.04.2023).
- Anonim, 2023g. Avusturalya Yangınının Nedeni. <https://www.sozcu.com.tr/avustralya-yangininin-nedeni-ne-nasanin-cektigi-iddia-edilen-avustralya-fotografi-gercek-mi-wp5552729> (Erişim tarihi: 12.08.2023).
- Anonim, 2023h. T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ADANA> [Erişim 29.10.2023].
- Anonim, 2023i. <https://solaravm.com/1-m2-gunes-paneli-ne-kadar-elektrik-uretir> [Erişim 29.10.2023].
- Anonim, 2023k. <https://ekolojist.net/bir-sehrin-karbon-emisyonunu-dengelemek-icin-kac-agac-gerekir/> [Erişim 29.10.2023].
- Baskak, M. & Mihçioğlu, E. (2004). Otomotiv Endüstrisinde Ana Firma-Tedârikçi İlişkileri ve Bir Anket Uygulaması. MMO, 1-33.
- Bekiroğlu, O. 2011. Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. II.Elektrik Tesisatı Ulusal Kongresi. 24 – 27 Kasım 2011, İzmir.
- Bıyık, Y. 2018. Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması.Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ÇevreMühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
- Buğra Şenaktaş, Hidrojen Enerjisi, Üretimi ve Uygulamaları, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- Cemars, C., Greenhouse Gas Emission Report, ISO 14064-1:2006, Toyota New Zealand Limited, New Zealand, 2-3, 2013.

- Cemars, C., Greenhouse Gas Emission Report, ISO 14064-1:2006, BMW New Zealand Limited and BMW Financial Services New Zealand Limited, 1-3, 2014. Changan Ford Mazda Engine Co., Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, China, 15-19, 2012.
- Çevirgen, M. S. 2009. İstanbul'da Denizyolu Ulaşımının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- DEFRA, (2021), Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, [https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021#:~:text=Department%20for %20Business%2C%20Energy%20%26%20Industrial%20Strategy](https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021#:~:text=Department%20for%20Business%2C%20Energy%20%26%20Industrial%20Strategy), [Erişim 23.02.2023].
- DEFRA, (2022), Greenhouse gas reporting: conversion factors 2022, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, [https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022#:~:text=Department%20for %20Business%2C%20Energy%20%26%20Industrial%20Strategy](https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022#:~:text=Department%20for%20Business%2C%20Energy%20%26%20Industrial%20Strategy), [Erişim 24.02.2023].
- Doğan, AN. (2019). Kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon faaliyetlerinin karbon ayak izi hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- DPT (2000), “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005”, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara
- Elektrik Mühendisleri Odası Dr. Sinan Pravadalıoğlu, Kojenerasyon Uygulamaları ve Yerli Kaynaklar, 2012.
- Ford Lio Ho Motor Co., Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, Taiwan, 15- 20, 2014
- Gamze Dindar, Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması – Bursa İli Örneği, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- Güller, S. 2018. Muğla Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, Muğla.
- Ünzile AYDIN, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Karbon Ayak İzi Envanterinin Hesaplanması, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2023.
- Ratha SRENG, Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayakizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- IPCC, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf, (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- Jiangling Motors Corporation Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, China, 9-19, 2014.
- Jim, L., Osamu, N., Kazuo, O., Kevin, M.B., Toyota North American Environmental Report, 49-50, 2014

- Jochem, H., Wolfram, T., Carbon Footprint, Environment, Sustainability Report, Volkswagen, 126-129,2014.
- Küresel Otomotiv Sektörünün Değişimi ve Yerli Otomobil Projesinin Geleceği. Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Yayınları, 127(1):s. 17-59İDEP, 2011.
- Mariana, V.R., Lilian, M.O., Lori, C., Contabilzacion e Informe de Gases de Efecto Invernadero, Argentina, 6-10, 2013.
- Necdet Ayberk Doğan, Kumaş Boyama, İplik Boyama, Baskı Ve Konfeksiyon Faaliyetlerinin Karbon Ayak İzi Hesabı, 2019.IPCC Fifth Assessment Report (AR5), 2014.
- Nissan Motor Corporation Sustainability Report, Corporate İndicators-CO2, Carbon Footprint, 115-116, 2015.
- Oğuz, S. 2007. İklim Değişikliği ve Kuraklık. İstanbul Teknik Üniversitesi MaslakKampüsü Su Vakfı, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 11-13 Nisan 2007, İstanbul.
- Özmen, M. 2009. Sera Gazı - Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü Sera Gazı – Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/16154_50_07.pdf-(Erişim tarihi:01.05.2020)
- Rob, E., Lori, C., Richard E., Carbon Footprint İventory, Verification Report, Ford Motor Company, 3-4, 2014.
- Rob, E., Jim, M., The Climate Registry, Advanced Waste Management Systems, Ford Motor Company, North American, 1-2, 2013.
- Shekardasht, S.J., 2016, An Investigation on Generation of Solar Powered (pv) and Applications in Hydrogen Fule Cells, MSc Thesis, Selcuk University Institute of Natural and Applied Sciences, , Konya TURKEY.
- Sreng, R. 2016. Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayakizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya Gür, N., Furuncu, Y. 2019.
- Takahiro, H., Toshihiro, M., Toshio, Y., Greenhouse Gas Emissions, Sustainability Report, Honda, Japan, 43-44, 2015.
- T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Doğal Gaz Piyasası Lisans Sahiplerinin Yapmakla Yükümlü Oldukları Bildirimlere İlişkin Açıklamalar, 2015.
- T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Ve Tarım Değerlendirme Raporu, 2021.
- Tübitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2021.
- Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İDEP Projesi Ekibi, Ankara.
- Türkiye Elektrik Üretimi Ve Elektrik Tüketim Noktasi Emisyon Faktörleri Bilgi Formu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

- TÜİK, (2022), Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri1990-2020-45862>, [Erişim 24 .04 2023].
- TÜİK, Seragazı Emisyon İstatistikleri, 2023, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672&dil=1>, (Erişim tarihi: 08.07.2023).
- Y.A.Çengel, A.M.Boles, Thermodynamics An Engineering Approach, McGrawHill, 1989, USA.
- Wolfgang, S., Carbon Neutral Manufacturing, Sustainability Report, Jaguar Land Rover Automotive PLC, 29, 2015
- Nico, D., Energy Efficiency and Low-Carbon Production, Sustainability Report, Daimler, 55, 2015.
- WRI, (2011), The Greenhouse Gas Protocol and Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard, World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-ReportingStandard_041613_2.pdf, [Erişim 04.05.2023].

ÖZGEÇMİŞ

Özlem AKPINAR, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği lisansını 2017 yılında tamamlamıştır. Lisans eğitiminin ardından İş Sağlığı ve Güvenliği alanında yüksek lisans eğitimini bitirmiştir. 6,5 senelik mesleki tecrübeye sahip olup, özel sektörde çevre ve iş sağlığı güvenliği mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

