OTOMOTİV YAN SANAYİNDE KARBON AYAK İZİNİN HESAPLANMASI - BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Gamze DİNDAR

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV YAN SANAYİNDE KARBON AYAK İZİNİN HESAPLANMASI – BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Gamze DİNDAR
0000-0001-5554-3190

Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

OTOMOTİV YAN SANAYİNDE KARBON AYAK İZİNİN HESAPLANMASI - BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Gamze DİNDAR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Yerkürede gerçekleşen doğal ve antropojen kaynaklı faaliyetler sebebi ile atmosferdeki sera gazı miktarı atış göstermekte ve iklim değişikliği oluşmaktadır. 1988'de iklimin küresel olarak korunması ve iklim değişikliğinin farkındalığı için Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli oluşturulmuştur. 1997'de ise Kyoto Protokolü ile ülkelere, sera gazı salınımlarını azaltma yönünde sorumluluklar verilmiştir. 2009'da sera gazı emisyonlarını azaltılması ile ilgili sorumluluklar oluşturan Kyoto Protokolüne Türkiye de taraf olmuştur.

Bu çalışmada, Bursa Organize Sanayi Bölgesinde otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet göstermekte olan bir firmada karbon ayak izi örneklemesi yapılmıştır. Tesisten temin edilen veriler 2019 ve 2020 yıllarına ait olup uluslararası emisyon faktörleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sera gazı envanterleri doğrultusunda, incelenen firmada Tier 1 yaklaşımıyla; ısınma kaynaklı kullanılan yakıtlar, elektrik enerjisi tüketimi, su kullanımı, atıksu oluşumu, atık oluşumu, taşeron hizmet yolu ile temin edilen personel veya servis araçlarından kaynaklanan karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda atmosfere verilen sera gazı emisyonu, 2019 yılında yaklaşık 16 501 ton ve 2020 yılında ise 12 921 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mevcut çalışmalarla kıyaslama yapılmıştır. Karbon ayak izi azaltımı için yenilenebilir enerji kaynağı kurulması durumunda 2019 verilerine kıyasla 489,538 ton $CO_{2\ eq}$ karbon emisyonunun oluşması engelleneceği sonucuna varılmıştır. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları atmosferde sıcaklık değişimlerine neden olmakta ve bunun bir sonucu olarak doğal afetler yaşanmaktadır. Bu sebeple sera gazlarının salınımının kontrol altında alınması için miktarının hesaplaması ve izlenmesi önem teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bursa, karbon ayak izi, küresel iklim değişikliği, otomotiv yan sanayi, sera gazı

2021, viii + 80 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

CARBON FOOTPRINT CALCULATION IN AUTOMOTIVE SIDE INDUSTRY - EXAMPLE OF BURSA CITY

Gamze DİNDAR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Melike YALILI KILIÇ

Due to the natural and anthropogenic activities taking place in the world, the amount of greenhouse gas in the atmosphere shows fire and climate change occurs. In 1988, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was created for the global protection of climate and awareness of climate change. In 1997, with the Kyoto Protocol, countries were given responsibilities to reduce their greenhouse gas emissions. In 2009, responsibility for reducing greenhouse gas emissions related to the Kyoto Protocol which Turkey has been a party oluşmuştur.

In this study, a carbon footprint sampling was carried out in a company operating in the automotive supplier industry in Bursa Organized Industrial Zone. The data obtained from the facility are for the years 2019 and 2020 and are calculated by considering international emission factors. In line with the greenhouse gas inventories, with the Tier 1 approach in the examined company; The amount of carbon footprint resulting from fuels used for heating, electrical energy consumption, water use, wastewater generation, waste generation, personnel or service vehicles provided by subcontractor service has been calculated. The greenhouse gas emission released into the atmosphere as a result of the study was calculated as 16 501 tons in 2019 and 12 921 tons of $CO_{2\ eq}$ in 2020.

A comparison was made with existing studies in line with the results obtained. It has been concluded that if a renewable energy source is established for carbon footprint reduction, 489,538 tons of CO_2 eq carbon emission will be prevented compared to 2019 data. Greenhouse gases formed as a result of human activities cause temperature changes in the atmosphere and natural disasters occur as a result. For this reason, it is important to calculate and monitor the amount of greenhouse gas emissions under control for information.

Key words: Bursa, carbon footprint, global climate change, automotive supply industry, greenhouse gas

2021, viii + 80 pages.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ…… 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1. Sera Etkisi 4
2.2. Küresel Isınma 5
2.3. Küresel Isınmada Sera Gazları 5
2.3.1. Karbondioksit (CO_2) 6
2.3.2. Metan (CH_4) 8
2.3.3. Diazot monoksit (N_2O) 9
2.3.4. Su Buharı (H_2O) 10
2.3.5. Ozon (O_3) 10
2.3.6. Kloroflorokarbon (CFC) 11
2.4. Küresel Isınmanın Dünyaya Etkileri ve Başa Çıkma Yolları 11
2.5. Küresel Isınmanın Canlılara Etkileri 14
2.6. İklim Değişikliği Konusunda Yapılmış Çalışmalar 15
2.7. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü 17
2.8. Türkiye'de Sera Gazları ile İlgili Durum 20
2.9. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (HAİDP) 22
2.10. ISO 14046 Sera Gazı Standardı 24
2.10.1. ISO 14064-1 25
2.10.2. ISO 14064-2 25
2.11. Karbon Ayak İzi 27
2.11.1. Kişisel Karbon Ayak İzi 27
2.11.2. Kurumsal Karbon Ayak İzi 27
2.12. Karbon Ayak İzi Oluşumunun Çevreye ve Canlılara Etkileri 28
2.13. Otomotiv Endüstrisi 29
2.14. Otomotiv Yan Sanayi Endüstrisi 31
2.15. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Konusunda Literatürde Yapılan Çalışmalar 33
3. MATERYAL ve YÖNTEM 38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 42
4.1. Su Tüketimi Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 42
4.2. Atıksu Oluşumu Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 42
4.3. Elektrik Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 44
4.4. Doğalgaz Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 45
4.5. Atık Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 47
4.6. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı 49
4.7. Karbon Ayak İzinin Azaltımı 57
4.8. Yenilenebilir Enerji ile CO_2 Emisyon Miktarı Azaltımının Hesaplanması 60
5. SONUÇ…. 70
KAYNAKLAR 74
ÖZGEÇMİŞ 80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Amper
ºC	Derece Santigrad
C	Karbon
CFC	Kloroflorokarbon
CH_4	Metan
CO_2	Karbondioksit
eşd.	Eşdeğeri
G	Gram
GJ	Gigajoules
Gt	Gigataon
$GtCO_{2\ eq/yr}$	Gigaton Karbondioksit eşdeğer/yıl
h	Saat
H_2O	Su Buharı
HBFC	Hidrobromoflorokarbonlar
HCFC	Hidroflorokarbonlar
HfC	Hidroflorokarbonlar
kg	Kilogram
km	Kilometre
k^2	Kilometrekare
kWh	KiloWatt Saat
kg $CO_{2\ eq}$	Kilogram Karbondioksit Eşdeğeri
mton $CO_{2\ eq}$	Milyon ton Karbondioksit Eşdeğeri
N_2O	Diazot Monoksit
NOx	Azot oksitleri
O_3	Ozon
PfC	Perflorokarbonlar
ppb	Part Per Billion
ppm	Parts Per Million
SF_6	Kükürt Heksaflorid
SOx	Kükürt Oksitleri
ton $CO_{2\ eq}$	Ton Karbondioksit Eşdeğeri
tCO_2/kişi	Kişi Başına Düşen Ton Karbondioksit Miktarı
UV	Ultrviyole
UVA	UltrviyoleA
UVB	UltrviyoleB
UVC	UltrviyoleC
V	Volt
VDC	Volt Direct Current
W	Watt
€	Euro

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKAKDO	Türkiye'nin Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişikliği ve Ormancılık
ark.	Arkadaşları
BM	Birleşmiş Milletler
BMC	British Motor Corporation
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COP	Taraflar Konferansı
EİKÖ	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
DMÖ	Dünya Meteoroloji Örgütü
DKE	Dünya Kaynakları Enstitüsü
GHG	Greenhouse Gases (Sera Gazı)
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GWP	Global Warming Potential
HAİDP	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
INC	Hükümetler Arası Müzakere Komitesi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
İDÇS	İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
KIP	Küresel Isınma Potansiyeli
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PEGSÜ	Piyasa Ekonomisine Geçiş Sürecinde olan Ülkeler
PLDV	Küresel Hafif Ticari Araç Filosu
TİER	Kapsam / Katman
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevresel Programı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Global ölçekte sera gazları hacmi 6
Şekil 2.2. Yıllara göre CO_2 miktarı artış diyagramı 7
Şekil 2.3. Kutuplarda buzul erimesi görünümü 9
Şekil 2.4. Global sera gazı konsantrasyonları 10
Şekil 2.5. 1979-2003 yılları arasında değişen buzul kütlesi 13
Şekil 2.6. İklim değişikliği konusundaki uluslararası kritik görüşmeler 15
Şekil 2.7. Kişi başı emisyon miktarı 20
Şekil 2.8. Ülkelere göre CO_2 emisyon miktarı 21
Şekil 2.9. 2011 yılı ülkelerin sera gazı emisyonlarının karşılaştırması 22
Şekil 2.10. 2011 yılı ülkelerin sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması 24
Şekil 2.11. Sanayi sektörünün 2009 yılı toplam sera gazı emisyonundaki payı 31
Şekil 4.1. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2019 yılı CO_2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi 58
Şekil 4.2. 2019 yılı CO_2 emisyon miktarlarının dağılımı 59
Şekil 4.3. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2020 yılı CO_2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi 59
Şekil 4.4. 2020 yılı CO_2 emisyon miktarlarının dağılımı 60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Sera gazları için küresel ısınma potansiyelleri 4
Çizelge 2.2. BMİDÇS ülkelerin sınıflandırılması 18
Çizelge 2.3. ISO 14064 standardı bölümleri 25
Çizelge 3.1. CO_2'ye göre GWP, HAİDP 5. değerlendirme raporu 2014 (AR5) değerleri 38
Çizelge 3.2. Tesisin 2019 ve 2020 yılı faaliyetine ilişkin veriler 39
Çizelge 3.3. Kaynaklara göre emisyon faktörleri 40
Çizelge 3.4. Birim dönüşüm değerleri 41
Çizelge 4.1. 2019 ve 2020 yılı CO_2 ve CH_4, N_2O emisyonlarının CO_2 eşdeğeri miktarları 56
Çizelge 4.2. Fotovoltaik güneş paneli özellikleri 61
Çizelge 4.3. Farklı sektörlere ait çalışma verileri 67

1. GİRİŞ

Dünyada yaşanan sanayi devriminden sonra insanların ürün üretim hızlarının artmasıyla endüstriyel gelişim hızlanmıştır. Yaşanan gelişmelerin ardından hammaddeye karşı artan talep, doğal kaynakların bilinçsizce tüketimine sebep olmuştur. Doğal kaynakların tüketim hızının artışı, sanayilerin seri üretimleri sırasında oluşan atıkların doğaya verilmesi, oluşan emisyonlarının kotrol dışı salınımları ve ürünün ömrünü tamamladıktan sonra uygun olmayan bertarafı doğanın dengesi üzerinde olumsuz etkiye sebep olmaktadır.

Anropojenik faaliyetler sonucunda oluşan sera gazlarının atmosferdeki yoğunluğunun artması ile yeryüzü sıcaklığı da artmaktadır. Güneşten gelen görünür ışınlar ile birlikte kızılötesi ve morötesi ışınlar da dünya yüzeyine çarpar ve bir kısmı dünya yüzeyinden yansırken bir kısmı da dünya yüzeyine yakın atmosfer tabakasında bulunan sera gazları tarafından tutularak atmosferden dışarı çıkışı engellenir. Bu durum, yer yüzeyinin ısınmasına sebep olur. Atmosfer sıcaklığının artışı olarak da tanımlanan küresel ısınma iklimin de değişmesine sebep olmaktadır. Sera etkisi adı verilen bu doğal durum sebebiyle günümüzde atmosferin ortalama sıcaklığı 15ºC olabilmektedir (Erbil 2015).

İklim değişikliğinin sonucunda aşırı hava olayları yaşanmaya başlamış, doğal dengede bozulmalar yaşanmış, doğal olayların sayısı gün geçtikçe artmıştır. Bunlar; kutuplardaki buz kütlelerindeki erimeler ve bu sebeple deniz seviyesindeki artışlar, göllerin kuruması ve göçmen kuşların veya deniz canlılarının türlerinin yok olması, aşırı yağış ile oluşan sel ve toprak kaymaları sayılabilmektedir. İnsanoğlu, iklim değişikliğinin bir sonucu olan atmosfer sıcaklığının hızlı artışını engellemek için önlem alınması gerekliliğinin farkına varmıştır. Bu sebeple tüm dünya ülkelerine belirli sorumluluklar yükleyerek küresel ısınmanın artışı için önlem alma çabası içerisine girilmiştir.

İklim değişikliği, sağlık üzerinde de olumsuz etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Doğrudan veya dolaylı olan bu etkiler soğuk ve sıcak hava değişimi ile diğer hava olaylarından kaynaklanabilmektedir. Doğrudan etkileri olarak; kasırga, sel, hortum ve şiddetli yağışlar ile canlılara zararları, direkt olarak sakat kalma ve ölüm olmaktadır. İklim

değişikliği sonucu yaşanan aşırı hava olayları sonrasında salgın hastalıklar, yaralanmalar, sağlıksız ve yetersiz beslenmeler hem fiziksel hem de ruhsal hasara yol açmaktadır. Özellikle yaşlı kişilerde iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışlarında; kalp, solunum sistemi, böbreklerde hastalıklar görülmesinin yanı sıra metabolik bozukluklar, hipertansiyon ve inme gibi durumlarla karşı karşıya kalınabileceği beklenmektedir. İklim değişikliğinin dolaylı etkileri ise etkilenen çevreden kaynaklanmaktadır. Su, hava ve toprağın etkilenmesiyle gıdaların kalite ve güvenilirliği tehlike arz etmektedir. Dünya Sağlık Örgütüne göre tedbir alınmaması durumunda Orta Asya'da 21. yüzyılın ortalarında, ürün verimliliğinde %30 civarında azalma öngörülmektedir. İklim koşullarındaki bu olumsuz değişikliklerin çevre kirliliğine neden olması ile oradaki halkın göç etmesi sonucunun ortaya çıkacağı, bu göçler ile endemik hastalıkların başka ülkelere de taşınması tehtidi ile karşı karşıya kalınacaktır. İklim değişikliğinin sağlık üzerinde yapacağı bu etkiler teorik temellere dayanmaktadır (Evci 2019).

Küresel olarak iklim değişikliğinin engellenmesi için uluslararası yeni bir politika benimsenerek Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında oluşturulmuş Paris Anlaşması 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. 2018 yılında uygulanacak kurallar tamamlanarak uygulama hazır hale gelmiştir. 2019 yılı Nisan ayı itibariyle 185 üye çoğunluğuna ulaşması ile evrensel katılım amacına da ulaşılmıştır. İklim değişikliği tehdidi karşısında uluslararası işbirliği ile güçlenmek hedeflenmiştir. Anlaşma kapsamında küresel sıcaklık artışının 1,5ºC'de sınırlandırılması hedefi koyulmuş ve iklim değişikliği riskini önemli ölçüde azaltabileceği amaçlanmıştır. Anlaşmanın uzun dönem hedefi ise sıfır emisyondur. Bu kapsamda, gelişmekte olan ülkelere sera gazı azaltımı için, gelişmiş ülkeler tarafından mali, teknolojik ve kapasite geliştirme konularında destek verilmesi beklenmektedir (Cerit Mazlum 2019).

Ülkemizde BMİDÇS'ye taraf olarak Paris Anlaşmasını imzalamış fakat henüz onaylamamıştır. Anlaşmaya taraf olan ülkemiz için farklılaştırılmış sorumluluklar getirilerek tüm ülkelerin sürdürülebilir kalkınma durumlarını ve ekonomik gelişimini engellemeyecek düzeyde küresel iklim değişikliğiyle mücadele için katkıda bulunması yaklaşımı oluşturulmuştur (Talu ve Kocaman 2019).

Ülkemizde yer alan pek çok il, yaşamsal standartlar gereği endüstrinin bulunması ile enerji ve doğal kaynakların aşırı tüketilmesi ve dolayısı ile atmosferdeki sera gazlarının artmasından sorumlu olmaktadır. Ortaya çıkan iklim değişikliğinin sonucu olarak yaşanan aşırı hava olayları ile afetler yaşanmakta ve insanların hayatlarını olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda sera gazları emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak için şehirleri oluşturan sistemlere dair ekonomik ve ekolojik açıdan planlamaya her zamankinden daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda oluşturulacak iklim eylem planları ve yasal mevzuat gerekliliklerinin yanı sıra gönüllülük esasına dayanan politikalar ile sera gazı emisyonlarının farkındalığı, tespiti, azaltım hedefleri oluşturulmalıdır (Talu 2019).

Bu çalışmada, gönüllülük esası ile Bursa'da bir otomotiv yan sanayi fabrikasında üretim faaliyeti sırasında oluşan küresel ısınmanın bir sebebi olan sera gazlarının tespitinin yapılması ve azaltılması ile ilgili önlemler değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sera Etkisi

Güneşten, görünür ışınlar ile birlikte kızılötesi ve morötesi ışınlar da dünya yüzeyine çarpar ve bir kısmı dünya yüzeyinden yansırken bir kısmı da dünya yüzeyine yakın atmosfer tabakasında bulunan gazlar tarafından tutularak atmosferden dışarı çıkışı engellenir ve yer yüzeyinin ısınmasına sebep olur. Bu duruma sera etkisi denmektedir. Sera etkisine; CO_2 (Karbondioksit), CH_4 (Metan), N_2O (Diazot monoksit), H_2O (Su buharı), O_3 (Ozon), ve CFC (Kloroflorokarbon) gazları sebebiyet vermektedir. Sera gazlarının dünya atmosferindeki ısıyı tutmalarının sebebi yüksek ısı tutma kapasitelerine sahip olmalarıdır. Bu sera etkisi ile dünya yüzeyinin sıcaklık ortalaması 13-15 ºC arasında olmaktadır (Anonim 2020a). Çizelge 2.1.'de bazı sera gazlarının atmosferdeki ömrü, CO_2 eşdeğeri olarak küresel ısınma potansiyel değerleri bulunmaktadır. Tablodaki küresel ısınma potansiyeli (GWP veya KIP), CO_2 hariç diğer gazların CO_2'ye kıyasla kaç kat fazla ısı tutma kapasitesinin bulunduğunu göstermektedir. Yapılacak emisyon hesaplarının kolaylaştırılması sebebi ile bu kıyaslama yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Sera gazları için küresel ısınma potansiyelleri (ÇŞB, GHG 2014)

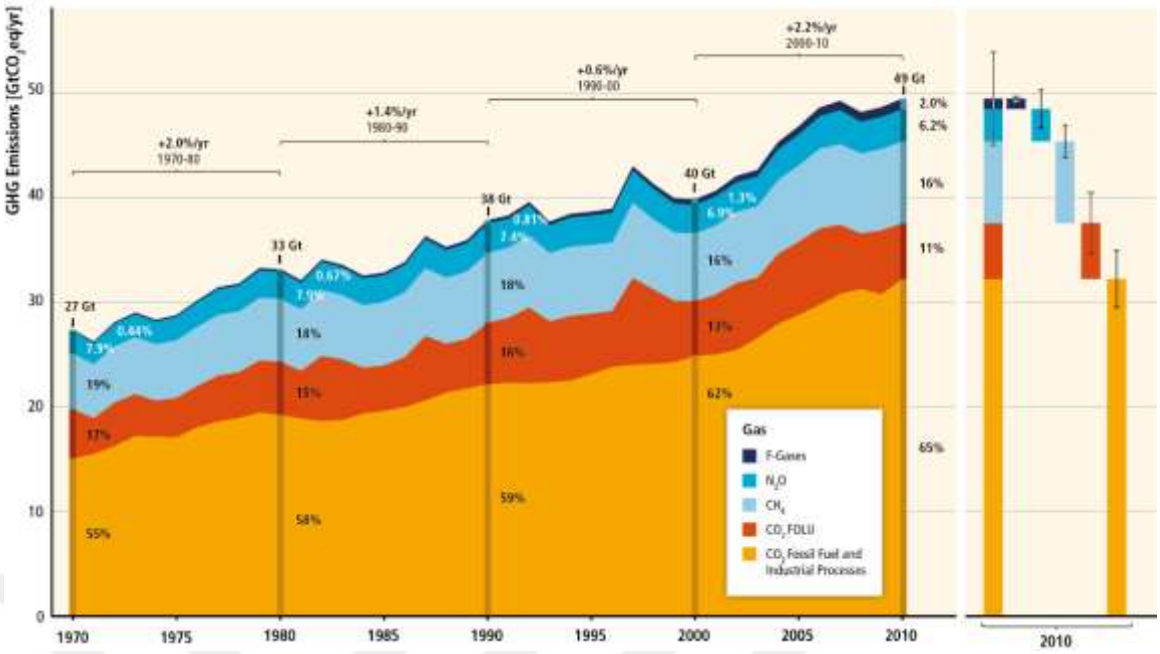
Sera Gazı	Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)
CO_2	1
CH_4	28 t $CO_{2\ eq}$ / t CH_4
N_2O	265 t $CO_{2\ eq}$ / t N_2O
SF_6	23 900 t $CO_{2\ eq}$ / t SF_6
CF_4	7 390 t $CO_{2\ eq}$ / t CF_4
HFCs veya PFCs	140-11 700 t $CO_{2\ eq}$ / t HFCs veya PFC
C_2F_6	12 200 t $CO_{2\ eq}$ / t C_2F_6

2.2. Küresel Isınma

Küresel ısınma, Dünya atmosferinin katmanlarından olan özellikle troposter tabakasındaki normal sıcaklığın doğal olaylar veya canlıların etkisiyle artması olarak açıklanmaktadır. Bu atmosfer sıcaklığı; dünyaya gelen güneş ışınları, dünya yüzeyinden yansıyan güneş ışınları, bu ışınların sebep olduğu sıcaklığın atmosfer tabakaları tarafından tutulması gibi durumlara göre belirlenir. Isıyı tutabilme kapasitesinin düşük olmasına rağmen emisyon hacmi diğer gazlara oranla daha yüksek olması ile CO_2 atmosfer ısısındaki değişimin asıl sebebidir.

2.3. Küresel Isınmada Sera Gazları

Güneşin yansıttığı kısa dalga boyuna sahip güneş ışınları yeryüzüne ulaşıp atmosfer içerisinde bulunan gazlar tarafından tutularak tekrar yeryüzüne yansıtılması ile oluşan sera etkisinin olağan durumundaki atmosfer sıcaklığının değişimine yeryüzündeki sera gazlarından olan CO_2'nin emisyon hacminin yüksek olması sebep olmuştur. Özellikle son yıllarda yaşanan iklimsel olaylardan bölgesel kuraklık, çığ düşmesi, aşırı yağış sonucu toprak kayması gibi afet niteliğindeki durumlar atmosfer ısısının değişimi ve küresel olarak ısınmadan kaynaklanmaktadır. Sera gazlarından biri olan CO_2 miktarının diğer gazlara oranla Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, 1970–2010 yılları arasında %55-65 arasında seyretmektedir. Diğer sera gazları yüzdelerine oranla yüksek olup 2010 yılı değeri olarak 30 $GtCO_2$ eq/yıl'dır (IPCC 2014).



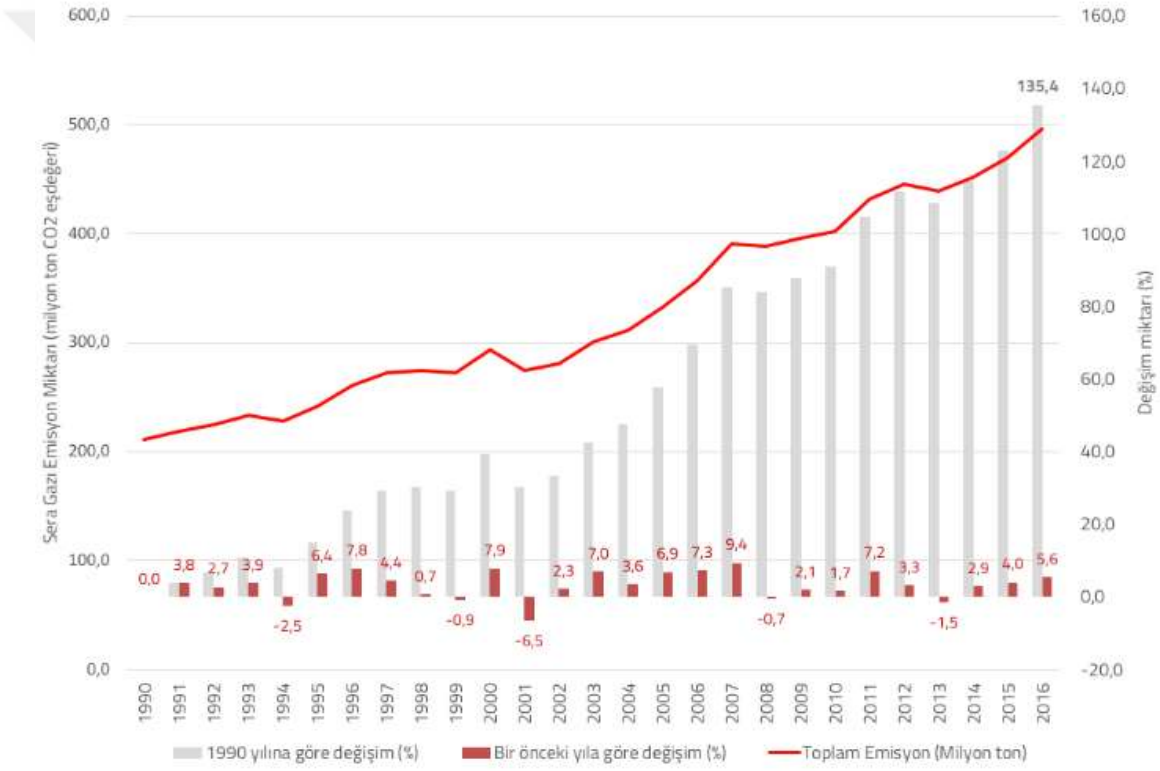
Şekil 2.1. Global ölçekte sera gazları hacmi (IPCC 2014)

2.3.1. Karbondioksit (CO_2)

Karbonun büyük bir kısmı atmosferde karbondioksit olarak bulunmaktadır. Karbondioksit oluşumunu etkileyen faktörler; fosil yakıtların yanması, orman veya diğer yangın olayları, yanardağlardaki volkanik patlamalar, çözünen kireçli kayaçlar ve karbonatlı kayaçların karbondioksiti serbest bırakması, ölen canlıların çürümesi ile içlerindeki karbondioksitin açığa çıkması, su yüzeylerindeki çift yönlü karbondioksit alışverişleri olarak açıklanabilmektedir (Anonim 2020b). Atmosferdeki ortalama CO_2 miktarına olağandışı etki yukarıdaki maddelerin yanı sıra sanayi devrimi ile birlikte gelişen endüstri sektöründen kaynaklanmaktadır. Üretimin kalbi olan endüstri sektöründe fosil maddelerden elde edilen yakıtların kullanılması ile atmosferi olumsuz etkileyen sera gazları salınımını arttırmıştır. Sanayisi gelişmiş ülkeler, CO_2 salımı daha az olan doğalgaz yakıtını kullanırken sanayi olarak gelişmekte olan ülkeler ise hala fosil yakıt kullanmaktadır. Bu ülkeler fosil yakıtlardan kömürü kullanarak atmosferdeki CO_2 miktarını arttırmaktadır (Güller 2018).

2000'li yıllarda atmosferdeki CO_2 konsantrasyonu 350 ppm civarında olduğu ve son birkaç yılda atmosfer tabakasındaki CO_2 miktarı her yıl % 0,5 artmakta olduğu

araştırmacılar tarafından açıklanmaktadır. Bu oranın 2050 yılına gelindiğinde 450 ppm değerine ulaşabileceği düşünülmektedir. Bu artış hızı ile devam etmesi halinde 140 yıl sonra CO_2 konsantrasyonunun şu anki durumuna göre 2 katına çıkması söz konusu olacaktır. CO_2 miktarındaki artış insan kaynaklı faaliyetler sonucu fosil yakıtların yanması sonucu doğada komplike bir karbon döngüsü oluşturmaktadır. Atmosferik karbon döngüsü olmasaydı oluşan CO_2 şuan ki durumuna göre çok daha fazla olacak ve küresel ısınmaya sebebiyet verecekti. Antropojenik sera etkisinin yaklaşık olarak yarısı CO_2 'den kaynaklandığı düşünülmektedir (Aksoy ve ark. 2005). Yıllara göre değişim gösteren CO_2 miktarlarına ilişkin grafik Şekil 2.2. de verilmiştir.



Şekil 2.2. Yıllara göre CO_2 miktarı artış diyagramı (Anonim 2020c)

Atmosferde CO_2 'in birikmesi sonucu oluşabilecek olumsuzluklar uluslararası olarak ilk kez Dünya Meteoroloji Örgütü (DMÖ) tarafından Birinci Dünya İklim Konferansında dile getirilmiştir. DMÖ, Birleşmiş Milletler Çevresel Programı (BMÇP) ile Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelini (HAİDP) kurarak karbon ayak izi çalışmalarının ilk

adımı olan sera gazı emisyon faktör verilerinin bulunduğu çalışmayı yayımlamışlardır (Anonim 2020ç).

2.3.2. Metan (CH_4)

Metan bileşimi, 4 hidrojen atomu, 1 tane karbon atomundan oluşmaktadır. Organik atıkların anaerobik ortamda parçalanması ile meydana gelmektedir. Kokusuz ve doğalgazın bir bileşeni olan metan gazı normal sıcaklık ve basınçta gaz halinde bulunmaktadır. Dünya üzerinde CO_2 'e göre yaklaşık 200 kat daha az bulunan bir sera gazıdır. Atmosfer ortamında bulunma süresi 12 yıl olan metan gazı konsantrasyonu, insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu insan faaliyetlerinin başında evsel atık deponi alanları, petrol ve doğalgaz üretimi yapan tesisler, gübre üretimi, madencilik faaliyetleri, sanayi tesisleri veya evsel kaynaklı ısınma faaliyeti ve motorlu taşıtlar sebep olabilmektedir (Oğuz 2007).

Sanayi devrimi ile dünya atmosferindeki sera gazı etkisine sahip gazlarda artışlar meydana gelmiştir. Bu artış miktarının fazla olduğu gazlardan biri de metan gazıdır. Atmosferdeki metan gazı yoğunluğu bugünden sanayi devrimi öncesine göre %150 artış göstermiştir (IPCC 2006).

Metan gazı; tarımsal faaliyetlerden olan gübre üretimi, pirinç çiftçiliği veya tarımsal kaynaklı atıkların yakılması gibi faaliyetler sonucu da ortaya çıkmaktadır. Bu sektörlerden kaynaklı oluşabilecek metan miktarı 3 135,76 Mt CO_2 eşd. olduğu açıklanmaktadır (Aydın ve ark. 2011).

Şekil 2.3.'te görüldüğü üzere karbondioksit oranında artışın olması ile buzulların erimesi söz konusu olmaktadır. Grönland kıyılarında özel sensörlerle yapılan araştırmalar sonucunda özellikle yaz aylarında 600 km^2 lik deniz bölgesinde buzul kütlesinin erimesiyle denize akan sular ile birlikte 6 ton metan gazının da denize karıştığı tespit edilmiştir. Bugüne kadar olan araştırmalarla kutuplardaki buzulların altındaki donmuş toprakta sıkışan metan içeriğine odaklanan araştırmacılar, buz

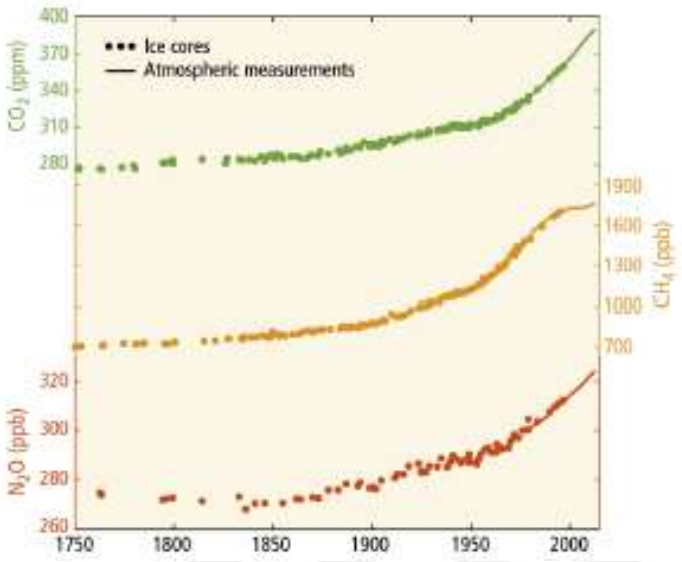
tabakaları arasında bulunan oksijensiz ortamda da yoğun olarak metan gazının oluştuğu kanıtlanmıştır (Anonim 2020d).



Şekil 2.3. Kutuplarda buzul erimesi görünümü (Anonim 2020e)

2.3.3. Diazot monoksit (N_2O)

En önemli azot bileşimlerinden olan N_2O diğer sera gazlarına oranla doğal ortama etkisi %15 kadardır. Atmosfer tabasındaki yok olma ömrü 114 yıl olan diazot monoksit renksiz ve güzel kokan bir gazdır. Atmosferdeki yoğunluğu sanayi devriminden itibaren %15 artış göstermiştir. Diğer sera gazları gibi N_2O da tarımsal faaliyetlerden, gübre üretimi faaliyetlerinden, evlerde ısınma amaçlı yakıt kullanımından, taşıtların yakıt olarak kullanımından, atık suların arıtımı faaliyetini gerçekleştiren tesislerden ve nitrik asit üretimi tesislerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2.4.'te görüldüğü üzere küresel ölçekteki sera gazı ppm konsantrasyonu 1850'lerden 2000'li yıla kadar devamlı olarak artış göstermiştir (Anonim 2020d, Güller 2018).



Şekil 2.4. Global sera gazı konsantrasyonları (IPCC 2014)

2.3.4. Su Buharı (H_2O)

Su buharı diğer gazlara oranla en baskın şekilde atmosferde bulunan sera gazıdır. Araştırmalara göre uzun dalga boyuna sahip ışınları tutma özelliği yüksek olan bir gazdır. Diğer sera gazlarından farklı olarak antropojenik kaynaklı olmayıp iklim sistemi kaynaklı oluşmaktadır. Sıcaklık etkisiyle buharlaşan su, atmosfere ulaşmakta ve sıcaklıkların artması söz konusu olduğunda su kaynaklarından buharlaşma oranı da artmaktadır. Daha fazla su buharı oluşan atmosferde daha fazla ısınma sonucu ile karşılaşılacağı düşünülmektedir (Bıyık 2018).

2.3.5. Ozon (O_3)

Atmosferde bulunma oranı yüksek olan ozon gazı, hava kirliliğine sebep olan azotoksitler ve hidrokarbonların güneş ışığı ile birlikte reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Atmosferin troposfer tabakasında bulunan ozon oluşumu, oksijen molekülünün güneşten gelen ve tehlikeli olan ultraviyole (UV) A ışınlarının atmosferde yaklaşık olarak %21 oranında bulunan, moleküllerine ayrılan oksijen elementinin diğer oksijen molekülleriyle birleşmesi sonucu oluşmaktadır. Yüksek ısının bulunduğu

koşullarda oksijenin yapamadığı yüksek enerjili ışınları bünyesinde tutar. Bu sebeple, sıcaklığın yüksek olduğu dönemde ozon seviyesinde de artış görülebilmektedir. Yeryüzünden atmosfere salınan gazlardan kloroflorokarbonlar, stratosferde yoğun olarak bulunan; UVB ve UVC ışınlarının, traposfere girişini engelleyen ozon tabakasındaki ozon gazı ile bileşik oluşturarak ozon gazı miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda dünya yüzeyine güneşten gelen UV ışınlarının ozon tabakası tarafından engellenmesi güçleşmektedir. Bu durum ozon tabakası incelmesi olarak da adlandırılmaktadır (Bıyık 2018).

2.3.6. Kloroflorokarbon (CFC)

Küresel ısınmada etkisi çok büyük olan CFC'lerin, parçalanma süresi yaklaşık olarak 100 yılı bulmaktadır. Atmosfer ortamında parçalanmayan CFC bileşikleri, ısı tutma kapasiteleri karbondioksite göre yaklaşık olarak 20 000 kat daha etkindir (Uzunçakmak 2014). İnsanlar tarafından oluşturulan bu gazlar, güneş ışınlarına doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir. Klor kaynaklı olan gazlar; kloroflorokarbonlar, hidroflorokarbonlar (HCFC), metil kloroform, karbon tetraklorid gibi bileşikler ve brom içerikli olanlar; halonlar, metil bromid, hidrobromoflorokarbonlar (HBFC) için yasal mevzuatlar ile düzenlemeler getirilmiştir. Kloroflorokarbon içerikli bileşikler kullanımdan kaldırılmıştır (Anonim, 2020e). CFC'ler alüminyum ergitme, magnezyum dökümü gibi faaliyetler sonucu açığa çıkmaktadır ve ışımayı zorlama bakımından etkileri düşüktür. Fakat büyüme hızlarının yüksek olması, atmosferde kalma ömrünün uzun olması ve kızılötesi ışınları tutabilme özelliklerinin yüksek olması sebebi ile iklime olumsuz etkileri bulunmaktadır (Çevirgen 2009).

2.4. Küresel Isınmanın Dünyaya Etkileri ve Başa Çıkma Yolları

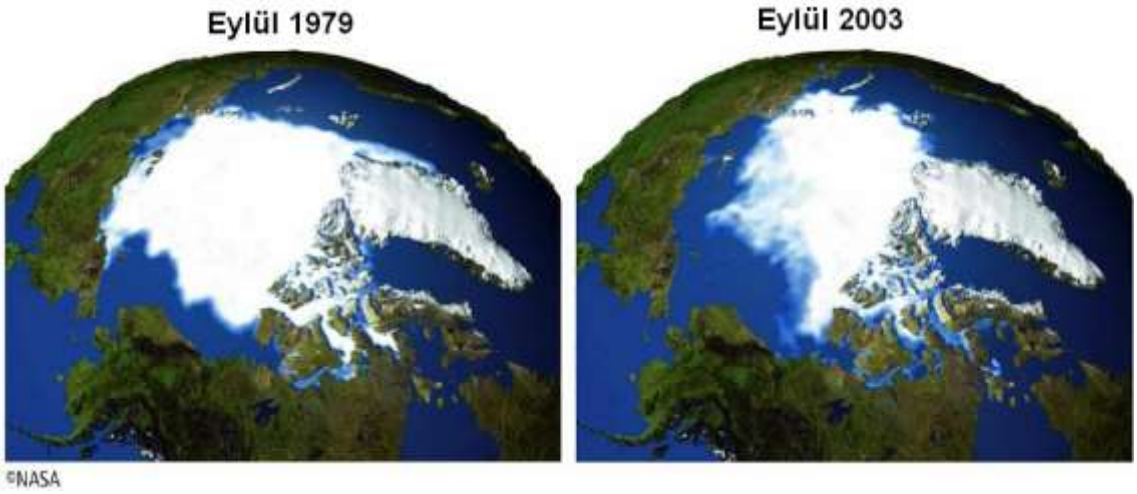
Teknolojinin günden güne gelişmesi olumlu ve olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu sonuçların olumsuz etkilerinin en önemlisi dünyaya verilendir. Sanayi sektöründeki değişim ve gelişimler, sanayideki üretim sırasında ve sonucunda oluşan, dünyaya bırakılan atıklar, dünya atmosferine ve bitki örtüsüne oldukça zararlı etkiler yaratmaktadır. Dünya yüzeyinde bin yıl boyunca kaybolmayan plastik atıklar, tehlikesiz

olarak nitelendirilse de toprak yapısına zarar veren atıklar, kimyasal içerikleri sebebiyle kanserojen veya toksik içeriğe sahip tehlikeli atıklar ve sanayi faaliyetleri sırasında ısınma veya proses kaynaklı emisyonlar sebebi ile dünya atmosferinin doğal içeriğini bozmaktadır. Atmosferin doğal yapısının bozulması, bizi küresel ısınma tabiri ile yüzleştirmektedir.

Dünya yüzeyindeki doğal olarak oluşan sera etkisi ile birlikte, antropojenik olarak orman alanlarının azalması, kentleşmenin artması, sanayileşme ve sanayilerde fosil yakıt kullanımıyla oluşan sera gazlarının artışı, dünya atmosferinin doğal sıcaklığında artışa sebep olmasına küresel ısınma denir. Her gün yapılan faaliyetler ile yavaşça süregelen bu durum atmosfer tabakasında da aynı hızda tahribata sebep olmaktadır. Bu durum atmosfer tabakasının zararlı olan güneş ışınlarının yeryüzüne gelişini engelleyerek diğer ışınların geçişine izin vermektedir. Dünyanın ortalama ısısını koruma görevini yerine getirememesi sonucunda da dünya ısısında değişimlere yol açmaktadır. Karbondioksitin de içinde bulunduğu sera tüm gazlarının belirli bir ısı tutma kapasitesi mevcut iken, karbondioksitin diğer sera gazlarına göre ısı tutma kapasitesinin fazla olması diğer sera gazlarına göre küresel ısınmada daha etkin rol almasına neden olmaktadır.

1880 yılı itibari ile yüzyıldan daha uzun dönemde okyanus ve yüzey alanı sıcaklığının 0,85 ºC ile 1,06 ºC arttığı ortaya çıkmıştır (Pachauri, K. R., Meyer, L., 2014). 1995 yılı itibari ile dünya yüzeyi sıcaklığı 0,2 ºC artmıştır. Bu artış yüzyıl içerisinde gerçekleşmesi beklenirken dönem koşullarında yirmi yıldan daha az süre içinde gerçekleşmiştir (Dura 1991).

Bu süreçte gerçekleşen dünya ısısındaki artışlar ile birlikte Antartika buzulları başta olmak üzere Dünya yüzeyindeki buzulların tamamında erimeler ve büyük tabakalar halinde kırılma ile kayıplar söz konusu olmaktadır. Buzul kütlelerindeki erimeler ile deniz seviyelerinde artışlar meydana gelmiştir (Pachauri ve Meyer 2014). Şekil 2.5.'teki görselde 24 yıl içerisinde artan CO_2 emisyonu sebebiyle dünya ısısındaki değişimler, buz kütlesinde ciddi bir azalmayla dünya çapında deniz seviyesinde 1 milimetreden fazla yükselmeye sebep olduğu görülmektedir (BBC 2019).



Şekil 2.5. 1979-2003 yılları arasında değişen buzul kütlesi (Anonim 2020f)

Küresel ısınmada en etkin rolü olan sera gazlarında azot oksit ve kükürt dioksit gazlarının asit yağmurlarına sebebiyet vermekte ve bilimsel veriler ışığında bu gazların sınırlandırılması ile ilgili ulusal ve uluslararası ölçekte çalışmalar yapılmaktadır (Anonim 2020g).

Yerel mevzuatlar gereği hava kalitesi parametreleri sınır değerler getirilmiş, belirlenmiş yerlere hava kalitesi sürekli ölçüm istasyonları kurularak Türkiye'de bulunan birçok istasyondan anlık hava kalitesi izlenmesi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Anlık verilere internet sitesinden ulaşılmaktadır (Anonim 2020ğ).

Sanayi tesislerinde proses veya ısınmadan kaynaklanan emisyonların ölçülmesi ve sınır değerlere uygunluğunun kontrolünün sağlanması için yasal mevzuat gereği Hava Emisyon konulu "Çevre İzin Belgesi"ne tabi tesislerin emisyon kaynaklarındaki ölçümleri iki yılda bir yaptırma gerekliliği bulunmaktadır.

Bilimsel araştırmalara göre sera gazlarının oluşumu ve artışı azaltılmaz ise küresel ısınmanın artacağı, 2050 yılına kadar dünyanın yaşaması zor bir yer olacağı anlaşılmaktadır (Bozoğlu 2016).

2.5. Küresel Isınmanın Canlılara Etkileri

Sera gazlarının yer küredeki oluşturduğu sera etkisi sonucu olarak yerkürenin bugünkü sıcaklığı korunmaktadır. Doğal ve antropojenik nedenlerle oluşan sera gazlarının atmosfer tabakası içerisindeki artışı sonucundaki küresel ısınma canlılar üzerinde de olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Nüfus artışı, sanayinin gelişmesi ile sera gazlarının artışı ve akabinde küresel ısınma canlılar üzerinde de olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Küresel ısınmanın sonuçlarından olan sel ve heyelanlar ile insanların hayatlarını kaybetmesi en önemli etkilerden biridir ve aynı sebep ile insanlar yaşam alanlarını olan toprakları telafisi olamayacak şekilde kaybetmektedir. Sel felaketinin sebebi olan yağışların yavaş olarak seyretmesi havada bulunan kirleticileri absorbe ederek yeryüzüne ulaşmasını sağlar ve sera etkisini bir nebze olsun azaltmasına karşın, bu yağışların hızının artması sera gazlarının azalmasında çok etkisi olmamaktadır. Atmosferdeki sera gazlarının yeryüzüne ulaşması küresel ısınmanın etkisini azaltsa bile yağmur damlalarının, NO_x ve SO_x'leri taşıyarak asit yağmuru oluşturmaktadır. Asit yağmurları ile insanlarda cilt problemleri ile deri kanseri riski artmakta, bitkilerde ise geç tomurcuklanma ve yapraklarda sararma görülmektedir (Anonim 2020h).

Küresel ısınma doğal afetler ile birlikte iklim değişikliklerine de yol açmaktadır. Dünya ısısındaki artış ile okyanuslarda buzulların erimesi, deniz seviyesinin artması ve bu ekosistemlerde yaşam sürdüren canlıların olumsuz etkilenmesi, türlerinin azalması ve tür kayıplarına sebep olmaktadır. Dünyadaki sıcaklık artışı ile küçük su yapılarındaki kuruma da çölleşmeyi beraberinde getireceği düşünülmektedir.

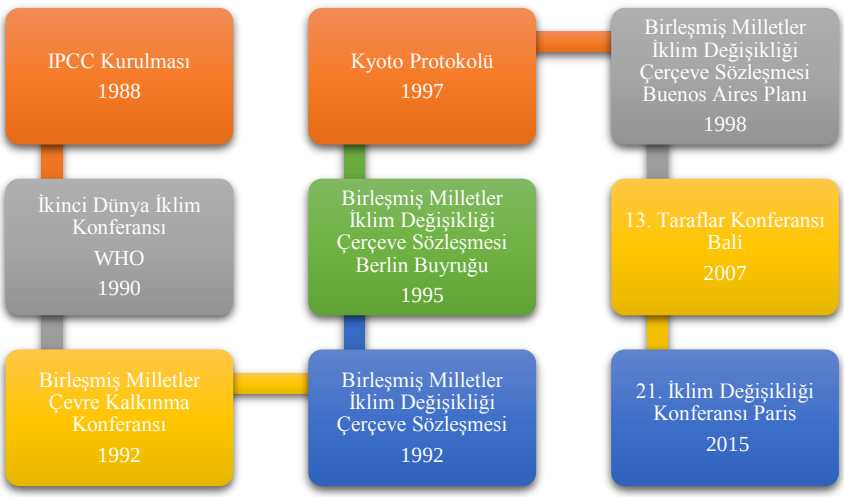
Atmosfer tabakasındaki sıcaklığın artışı kuruyan hava ile büyük orman kütlelerindeki otların tutuşması sonucu yangınlar çıkmasına, hava olayları sebebi ile geniş alanlara yayılmasına ve dünyamızın oksijen kaynağı olan büyük ağaç kütlelerinin yok olmasının yanı sıra bitki örtüsünün zarar görmesine ve orman canlılarının hayatlarını kaybetmesine sebep olmaktadır. 2020 yılının başında görülen Avusturalya'da ki yangın buna bir örnek niteliği taşımaktadır. Isının yüksek olması ile otların tutuşması sonucu çıkan yangında onlarca kişi ve yüzbinlerce hayvanın hayatını kaybetmesi 19,8 milyon orman arazisinin küle dönmesi söz konusu olmuştur (Anonim 2020ı). Avusturalya'daki

yangın felaketi sırasında görüldüğü ve yangının büyümesine sebep olduğu düşünülen şimşeklerin oluşması da küresel ısınmanın ve atmosfer aktivitelerinin bir sonucudur. Kasırga hortum ve yıldırım gibi diğer doğal afetlerin de canlılara zarar verdiği bilinmektedir.

Küresel ısınmanın sonucu olan vücut homeostasisinin sağlanması güçlenerek salgın hastalıkların baş göstermesine ve milyonlarca insanın ölümüne sebep olacağı düşünülmektedir (Akın 2006).

2.6. İklim Değişikliği Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin insanların faaliyetleri sonucu ortaya çıktığı kanaatine varan insanoğlu, 1950 yılından itibaren gerek bireysel, gerek bölgesel nitelikli çalışmalar yapmaya başlamıştır. 1979 yılında WMO öncülüğü ile "Birinci Dünya İklim Konferansı" düzenlenerek, küresel ısınmanın neden ve sonuçları irdelenmiştir. Küresel ısınma, iklim değişikliği, sera gazlarının olumsuz etkileri kavranmaya başlanarak, 1980 yılından itibaren uluslararası akademik araştırmalar ve konferanslar düzenlenmeye başlanmıştır. Uluslar bu konuyu ciddiye alarak yaptığı çalışmalarda önlemler almaya çalışmıştır. Bu konferanslar kronolojik olarak Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. İklim değişikliği konusundaki uluslararası kritik görüşmeler (Türkeş ve ark. 2000)

1988 yılında, DMÖ ve BM Genel Kurulunca, gelecek nesil için korunması esası ile iklim değişikliğinin farkındalığı sağlanarak IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) adı verilen Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (HAİDP) oluşturulmuştur. Kurulduğu yıldan bu yana iklim değişikliği konusu üzerinde yoğunlaşarak belirli tarih aralıklarında değerlendirme raporları yayımlanmıştır (Demirbaş 2018). 1990 yılında, Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) için Hükümetler Arası Müzakere Komitesi (HAMK) oluşturulması kararlaştırılmıştır (Güller 2018). Aynı yıl Birinci (HAİDP) Değerlendirme Raporu hazırlanmış ve uluslararası bir anlaşma yapılması için çağrıda bulunulmuştur. 1992 yılında, sözleşme taslağını hazırlayan HAMK, BM merkezinde kabul edildikten sonra aynı yıl içinde Rio de Janeiro'da Dünya Zirvesinde, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin de içerisinde bulunduğu 154 ülke tarafından imzalanarak 21 Mart 1994'te yürürlüğe konmuştur. Türkiye ise bu sözleşmeye 2004 yılında taraf olan ülkeler arasına girmiştir. 1995 yılında, HAİDP İkinci Değerlendirme Raporu hazırlanarak iklim değişikliği kaynağının insan olduğu belirtilmiştir. 1997 yılında, BMİDÇS tarafları konferansı sırasında Japonya'nın Kyoto kentinde "Kyoto Protokolü" adı ile kabul edilmiş sözleşmede, ülkelerin küresel ısınmaya sebep olan sera gazı salınımlarını azaltmaları yönünde bağlayıcılığı bulunmayan sorumluluklar getirmiştir. 2005 yılında yürürlüğe girmesinden sonra, 2010 yılında toplam üye ülke sayısı 191 olmuştur (Anonim 2020i). 2012 yılı itibari ile sera gazı emisyonlarını %5 düşürme kararı gelişmiş ülkeler için alınmıştır. 2001 yılında, HAİDP tarafından yapılan Üçüncü Değerlendirme Raporunda Kyoto Protokolüne uyum için yeni teknolojileri içeren Marakeş Uzlaşı Metni kabul görmüştür. 2005 yılında, Kyoto Protokolünün yürürlüğe girmesi ile taraf olan ülkeler küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili sorumluluk almayı kabul etmiştir. 2007 yılında, HAİDP Dördüncü Değerlendirme Raporu ile Bali Yol Haritası kabul edilmiştir. 2009 yılında, Kopenhag Mutabakatındaki yeterli bulunmayan hükümler kabul edilmiş, 2ºC'den fazla sıcaklık artışının olmaması için amaç belirlenmiş, fakat nasıl yapılacağından bahsedilmemiştir. 2010 yılında, Taraflar Konferansı 16'da Yeşil İklim Fonu, Teknoloji Yürütme Komitesi, İklim Teknoloji Merkezi ve Ağı kurulması kararı alınmış ve Yeşil Fon ile gelişmekte olan ülkelere gelişmiş ülkeler tarafından her yıl yüz milyar dolar ayrılması sonucuna varılmıştır. 2011 yılında, 2013 yılı itibari ile Kyoto Protokolünün ikinci yükümlülük dönemi

başlanmasına karar verilmiş, fakat süreç belirtilmemiştir. 2015 yılında imzalanarak 2020 yılında yürürlüğe girmesi planlanan uluslararası bir anlaşma taslağı oluşturulmasına karar verilmiştir. 2013 yılında, HAİDP Beşinci Değerlendirme Raporu yayımlanmış ve iklim değişikliğinin %95 oranında insanlardan kaynaklandığı kabul edilmiştir.

2.7. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü

BMİDÇS'yi imzalayan ülkelere; insanlar sonucu oluşturulan sera gazı emisyonlarını, ulusal olarak iklim değişikliğini azaltmaya yönelik önlemleri, düzenleme, yatırım, teşvik, tedbirleri alarak, yutak alanları ve hazinelerin korunması adına teşviklerin verilmesi gibi konularda sorumluluklar getirilmiştir (Anonim 2020j). İmzası bulunan ülkeler, kendi ulusal çalışmaları ile sera gazı emisyonlarını 1990 yılındaki seviyelere indirmesi, bunu sağlamasının yanında gelişme sağlama yolunda olan ülkelere de bu çalışmaları yapabilmeleri için teknolojik ve mali kaynaklarından faydalanması için destek olmayı kabul etmiş sayılmışlardır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması için bu bağlayıcı hükümler büyük önem arz etmektedir. Rio De Janeiro'da, 1992 yılında Dünya Zirvesi sırasında kabul edilen ve 1994 yılında yürürlüğe girmiş olan sözleşmeye 2004 yılında Türkiye de taraf olmuştur.

Kyoto Protokolü'nde ise Japonya'nın Kyoto şehrinde görüşülen ve İDÇS'nde imzalanan 1990 yılına göre belirtilen emisyonlara oranla %5 azaltılmasını öngörmektedir. Yapılan araştırmalara göre bu sözleşmelere taraf olmayan ülkeler arasında küresel ölçekte atmosferdeki sera gazlarının %36,1 inden ABD sorumludur. Sera gazlarının azaltılması için yapacağı çalışmalar ve yatırımlar ile üretilen ürünlerin, hizmetlerin maliyetlerinin artacağı; iş ve pazar kaybına sebep olacağını düşünenler Kyoto Protokolüne imza atmamıştır.

Büyük sorumluluğa sahip gelişmiş sanayi ülkelerinin Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (EİKÖ) tarafından yayımlanan Türkiye Çevresel Başarı Raporuna göre kişi başına oluşan CO_2 emisyonu değeri ABD'de 20,4 kg iken, Türkiye'de 2,9 kg olduğu belirtilmiştir (Özmen 2009).

İDÇS'nin en önemli özelliği doğal kaynakların dengeli kullanılması ile çevrenin korunmasının sağlanarak gelecek nesillerin sağlıklı çevrede yaşayarak ihtiyaçlarının karşılanması için kalkınma oluşturan bir politika oluşudur.

2005 yılında Montreal'deki birçok ulusun katıldığı görüşmelerde, Kyoto Protokolü kararlarının geçerliliğinin 2012 yılından sonrası için de devam etmesi ve konu ile ilgili ABD ile görüşülmeye devam edilmesi kararı çıkmıştır. 2009 yılında da Montreal Protokolünün onaylanması ile tüm ulusların ortak bir kaygısı olduğu kabul edilmiştir. Kyoto protokolü tarafı ülkelere çeşitli düzenlemeler için üç grup oluşturulmuştur. Çizelge 2.2.'de BMİDÇS'nde yer alan ülkelerin sorumluluklarına göre sınıflandırılması bulunmaktadır.

Çizelge 2.2. BMİDÇS ülkelerin sınıflandırılması (UNFCC 2020)

Listeler	Ülkeler	Sorumluluklar
Ek 1	EİKÖ + AB + PEGSÜ (40 Ülke) Türkiye (Özel şartlar tanınacak)	Emisyon Azaltımı
Ek 2	EİKÖ + AB – 15 (25 Ülke) Türkiye (Hariç)	Teknoloji ve Mali Destek Sağlanması
Ek 1 Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya)	Yükümlülükleri Yok

EİKÖ üyesi olan Türkiye'ye, hem Ek 1 hem de Ek 2 ülkeleri gruplarına dahil edilmesi ile önemli ölçüde sorumluluklar yüklenmiştir. Fakat Türkiye'nin içinde bulunduğu koşullar sebebi ile 1992'deki Rio Konferansına taraf olmamıştır. Türkiye'nin isteği her iki ek gruptan da çıkarılması ve gerekli kolaylıklar sağlanır ise İDÇS'ne taraf olmaktır. 7. Taraflar Konferansı olan Marakeş Konferansında Türkiye Ek 2'den çıkarılmış ve 2009'da Kyoto Protokolüne resmen taraf olmuştur. Kyoto Protokolüne dahil olması ile yerine getirmesi gereken sorumluluklar yüklenmiştir. Fosil yakıt yakarak atmosfer

ortamına sera gazı emisyonlarının salınmasına sebep olan fabrikalara teşvik veya vergi muafiyeti uygulamayacak aksine politikasını yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yoğunlaştıracaktır. Bu yönelimin sonucu olarak mevcut CO_2 emisyonunun azalmasına katkı sağlanacak, yenilenebilir enerjiler tarafından üretilen her 1 kWh'lik enerji için 700-800 g CO_2 emisyonunun engellenmesi gerçekleşmiş olacaktır. 1990 ve 2010 yılları arasında Montreal Protokolü altında yürütülen çalışmalar ile 135 milyar ton CO_2 eşdeğeri emisyonun atmosfere salınımı engellenmiştir (Anonim 2020k). Bu yenilenebilir enerji ile üretilen miktara karşın bir karbon sertifikası bulunacak ve belirlenmiş CO_2 değerinin üzerine çıkan ülkelerin yeterli derecede karbon sertifikasına sahip olmaması durumunda da cezai ödeneğe maruz kalacaklardır (Bayraç 2010).

Sözleşmeye taraf olan ülkeler, Taraflar Konferansı adındaki toplantılar ile bir araya gelerek, sözleşmenin uygulanmasının yolları üzerine görüşlerde bulunmaktadır. 1995 yılında Berlin'de taraflar toplantısının ilkinde görüşmelerin yeni bir tur şeklinde devamı kararlaştırılarak sanayi sektörü gelişmiş ülkelerin sorumluluklarını daha detaylı bir şekilde ele alınması öngörülmüştür. Bu öngörü Berlin Buyruğu olarak bilinmektedir.

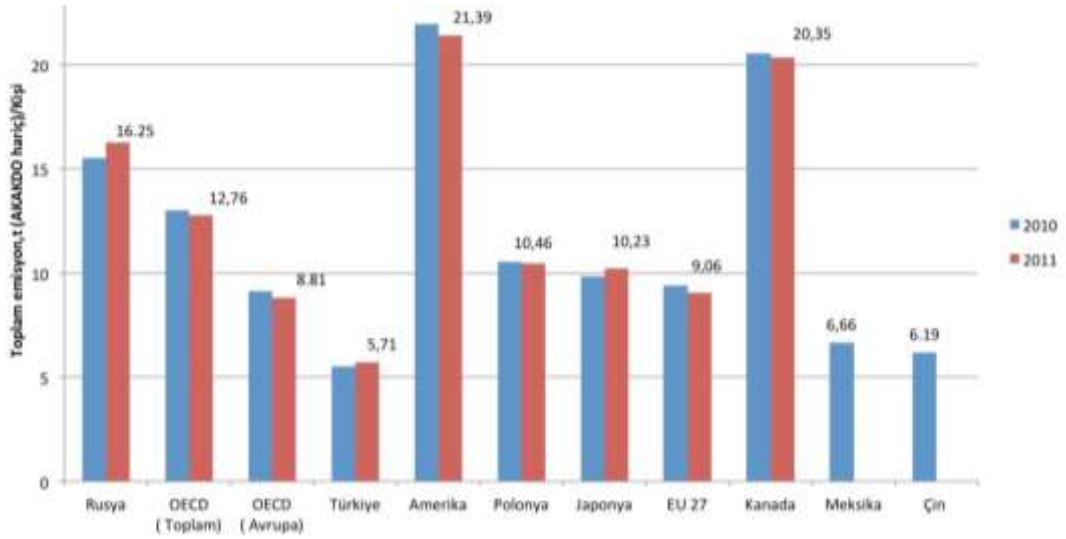
Ülkelerin sözleşme gereği hazırlayacağı envanterlerde aşağıdaki maddelerin yer alması istenmektedir. Bunlar; iklim değişikliğine yol açan etmenlerden olan sera gazı emisyonlarını azaltacak uygulamalar, çevre dostu uygulamaların geliştirilmesi aşamasındaki yapılan düzenlemeler, sera gazlarının temizlenmesi sağlayan orman alanı gibi yerleri içeren karbon yutaklarının sürdürülebilir olması için yapılan düzenlemeler, iklim değişikliğine uyum için yapılan çalışmalar, iklim araştırmalarını, bilgi akışı sağlanacak planlar, iklim değişikliği hakkında halkı bilinçlendirici eğitim faaliyetleridir.

Taraf olan ülkelerin sorumluluğundaki temel ilkeler ise; iklim sisteminin, temelinde eşitlik olan farklı sorumlulukların yerine getirilerek korunması, iklim değişiminden etkilenecek gelişme gösteren ülkelerin ihtiyaçlarının dikkate alınması, iklim değişikliğinin önlenmesi için, tedbirlerin etkin ve maliyetin en az seviyede olması, küresel olarak sürdürülebilir kalkınmanın desteklenerek, alınacak tedbirlerin ulusal programa da dahil edilmesi, alınan önlemlerin ayrıcalık tanıyıcı olmaması, uluslararası ticaret için gizlenmiş herhangi bir kısıtlayıcı nitelik olmamasıdır (Akyel 2009).

2.8. Türkiye'de Sera Gazları ile İlgili Durum

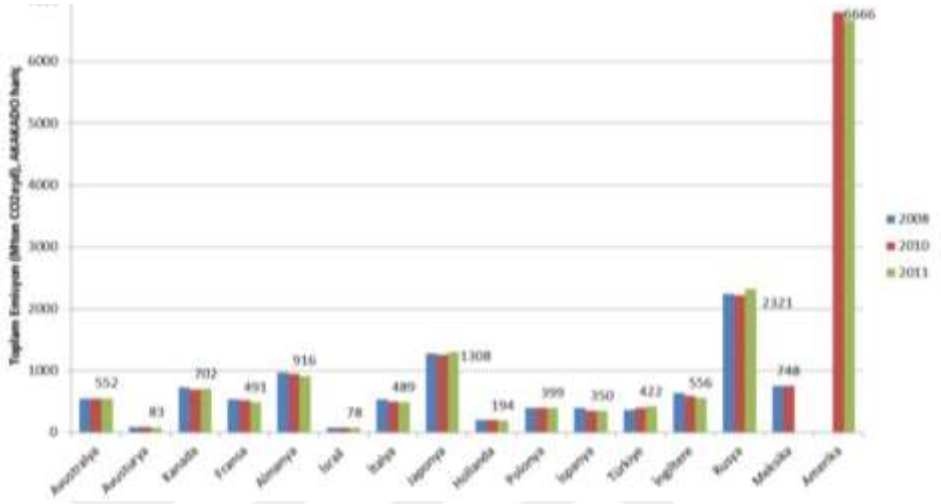
2010 yılında düzenlenen 16. Taraflar Konferansında alınan karar gereği Türkiye'nin EK-1 ülkelerinden farklı olarak, diğer ülkelerle aynı koşullarda olmadığı, ülkemiz tarafından gelişmiş teknoloji ve finansman sağlama yükümlülüğü olmadığı konusunda teyitleşilmiştir. 2011 yılında düzenlenen 17. Taraflar Konferansında ise sera gazı emisyonları azaltım, verilen değerlere uyum, bulunan teknolojilerin geliştirilmesi ve diğer ülkelere aktarımı, kapasitenin geliştirilerek finansman sağlanması konularında karar vermeye yönelik tartışmaların devam etmesi kararı alınmıştır. 2012 yılında düzenlenen 18. Taraflar Konferansında yine aynı konular üzerinde BMİDÇS sekretaryası tarafından çalışma yapılmasına açık kapı bırakılmıştır. 2013 yılında BMİDÇS sekretaryası tarafından teknik dokümanlar hazırlanarak müzakerelerin 2014 yılında da devam etmesi kararlaştırılmıştır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan bilgilere istinaden, Şekil 2.7.'de ülkelerdeki kişi başına oluşturulan CO_2 miktarına göre 2010 ve 2011 yıllarında Amerika ve Kanada'nın 20 t CO_2/kişi değerini geçtiği görülmektedir. Bunun aksine Türkiye'de 2010 ve 2011 yıllarındaki bu değer 6 t CO_2/kişi değerinin altında olduğu görülmektedir.



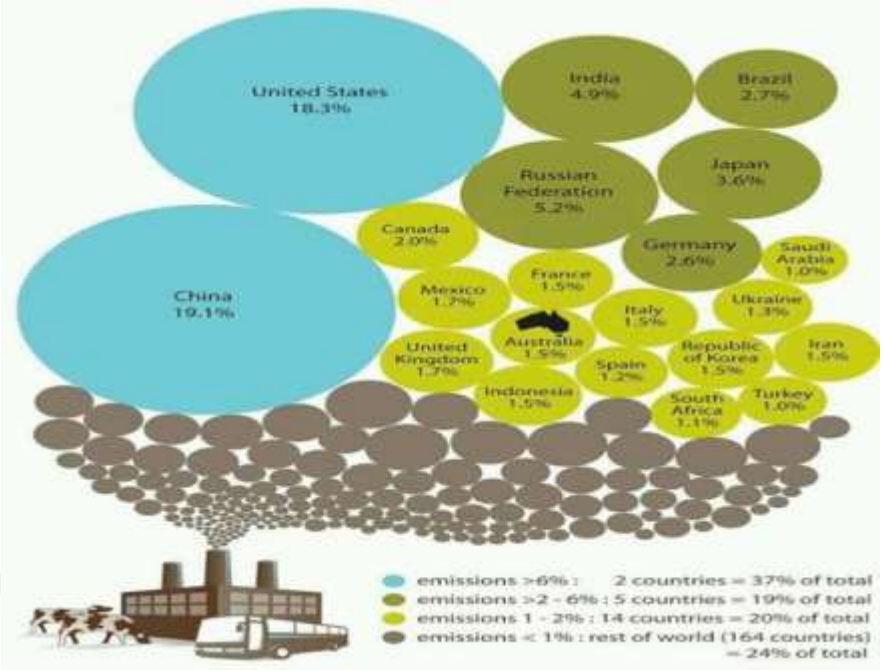
Şekil 2.7. Kişi başı emisyon miktarı (AKAKDO Hariç, tCO_2/kişi) (Anonim 2020l)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının açıkladığı Şekil 2.8'de görüleceği üzere ülke bazında oluşan Mton CO_2 eq cinsinden sera gazı değeri 2010 ve 2011 yılları arasında en yüksek değerlerde olan ülke yine Amerika olduğu görülmektedir. Türkiye ise Amerika, Rusya, Japonya, Almanya, Kanada, Avusturalya, Meksika ve İngiltere'nin oluşturduğu emisyon değerlerine göre daha alt seviyede kalmaktadır.



Şekil 2.8. Ülkelere göre CO_2 emisyon miktarı (Mton CO_2 eq, AKAKDO hariç) (Anonim 2020l)

Ülkelerin dünya atmosferinde oluşturduğu sera gazı etkisine bakılacak olursa, % değerinde Şekil 2.9.'da görüldüğü üzere 2011 yılı için en yüksek paya sahip iki ülkenin Çin ve Amerika olduğu görülmektedir. 2011 yılındaki sera gazı emisyonları bakımından Dünya çapında Türkiye %1'lik değere sahiptir.



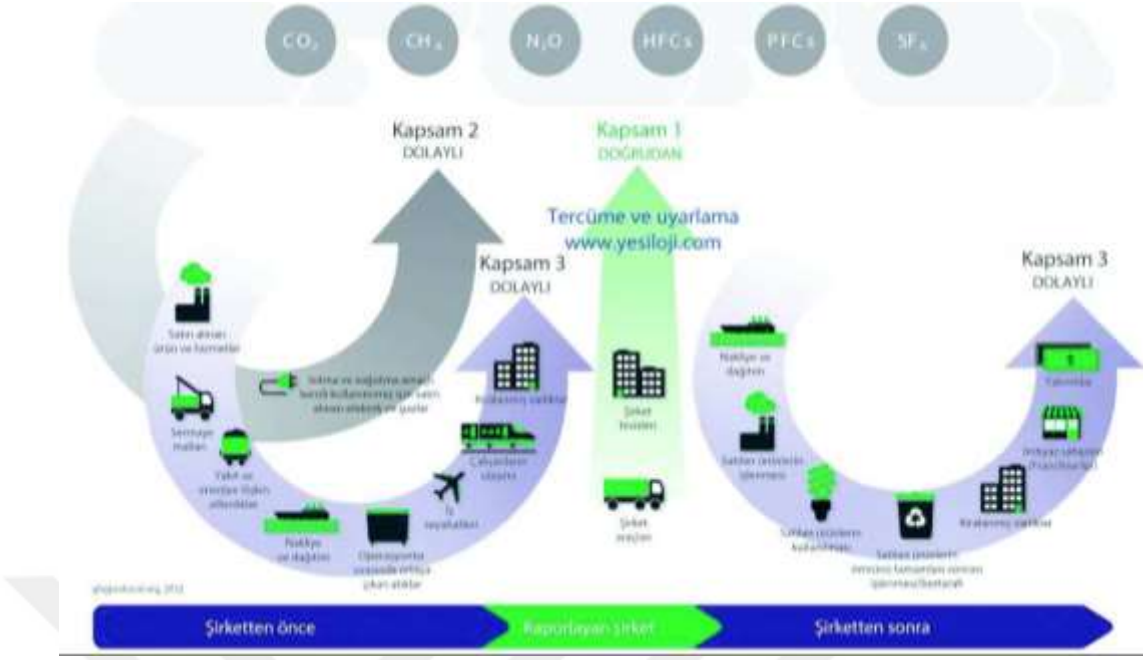
Şekil 2.9. 2011 yılı ülkelerin sera gazı emisyonlarının karşılaştırması (Anonim 2020l)

2.9. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (HAİDP)

DMÖ ve BM Çevre Programı'nın ortaklığında, 1988 yılında Toronto kentindeki Değişen Atmosfer Konferansı sonucu olarak HAİDP kurulmuştur. HAİDP, diğer konferanslarda konuşulan aynı konu üzerine yoğunlaşarak insan faaliyetleri sonucu oluşan iklim değişikliğinin riskli yönlerini değerlendirmek amacı ile oluşturulan ve özerkliği bulunan bir uluslararası kuruluştur. 1990 yılında ilk raporunu yayımlayan kuruluş, gelişmiş ülkelerin enstitülerinde, uzman kuruluşlarında bilimsel araştırmalar yapan bilim insanları, iklim değişikliğinin nedenlerinin anlaşılması için gerekli tüm bilgileri değerlendirerek ve en yeni bilgileri ilave ederek İklim Değişikliği Değerlendirme Raporu adı verilen, ortalama beş yılda bir hazırlanan raporu uluslararası bir şekilde yayımlamaktadır. BMİDÇŞ'de kabul edilen iklim değişikliğinin sebebinin insan etkisi olmasının anlaşılması ile antropojenik olarak oluşan sera gazı emisyonunun dünya üzerinde oluşturacağı olumsuzlukları düzeltmeyi amaçlamaktadır. BMİDÇŞ ile tüm tarafların, belirli periyotlarla ülkesel envanter çalışması yaparak bu çalışmaları geliştirmesi ve yayımlaması talep edilmektedir. Oluşan sera gazı emisyonlarının uluslararası envanterlerde kıyaslamalar yapılabilmesi HAİDP'nin amaçlarından biridir.

HAİDP kılavuzuyla bahsettiği hedeflerin sonuca ulaşmasını taraf olan ülkelerin envanter çalışmasına katkıda bulunması ile başaracaktır (Akyel 2009).

IPCC raporlarında 4 ana başlık bulunmaktadır. Bunlar; Değerlendirme Raporları, Özel Raporlar, Yöntem Metotları ve BM dışı Dillere Çeviriler şeklindedir. HAİDP kılavuzu kitapçıklardan oluşmaktadır. Bu kitapçıklar sayesinde; ulusal olarak envanter oluşturma biçimi, verilerin nasıl toplanacağı, ulaşılan verilerin nasıl değerlendirileceği ve sonuçların nasıl bildirileceği ile ilgili bilgileri içermektedir (Bıyık 2018). Sera gazı envanteri Tier ya da Kapsam şeklinde adlandırılan 3 farklı değerlendirme karşımıza çıkmaktadır. Kapsam 1 (doğrudan karbon ayak izi), ısınma, üretim faaliyetleri sonucunda oluşan emisyonlarını; Kapsam 2 (dolaylı karbon ayak izi), tesisin elektrik enerjisini tüketmesi aşamasında neden olduğu emisyonlar ile kurumun başka bir kurumdan satın aldığı buhar, soğutma veya sıcak suya bağlı emisyonlarını; Kapsam 3 (diğer dolaylı karbon ayak izi), kurumların kullandıkları ürünlere (örneğin hammaddeden reklam amaçlı broşürlere kadar), aldıkları taşeron faaliyetlerine, kurumun kiralık araçlarının kullandığı yakıtlara, kurum çalışanlarının iş amaçlı kara, deniz ve hava ulaşımlarına bağlı tüm emisyonları kapsamaktadır (Turan ve Karaer 2019). Kapsamlar içerisinde değerlendirilen parametreler Şekil 2.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. 2011 yılı ülkelerin sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması (Sreng 2016)

2.10. ISO 14046 Sera Gazı Standardı

İklim değişikliğinin sebeplerinden biri olan sera gazları tüm insanlığın ortak sorumluluğudur. CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF6 gibi gazlarından oluşan sera gazları insanların, endüstrilerin, devletlerin şuanda karşılaştıkları iklim değişikliği olgusunun baş mimarlarıdır. Atmosferdeki sera gazı emisyon miktarlarının kontrolünü sağlamak amacıyla ulusal veya uluslararası çalışmalardan biri de ISO 14064 Sera Gazı Standardı'dır. ISO 14064 standardı sera gazı emisyonlarının hesaplanması, izlenmesi, raporlanması ve doğrulanmasına dayanan bir standarttır. Bu standart Çizelge 2.3.'te görüldüğü üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

Çizelge 2.3. ISO 14064 standardı bölümleri (Anonim 2020m)

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

2.10.1. ISO 14064-1

Kuruluşun veya şirketlerin sera gazı envanterlerinin tasarlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması ile ilgili ilke ve şartların detaylı bilgileri içermektedir. Hesaplama yapılan kuruluşun sera gazı emisyonlarının belirlenmesi, emisyon uzaklaştırma tedbirlerinin oluşturulması ve faaliyete geçirilmesi için gerekenleri içerir. Ayrıca doğrulama faaliyeti için kalite yönetimi, rapor etme, iç tetkik ve kuruluşun sorumluluklarına ilişkin şartları içeren kılavuzdur.

2.10.2. ISO 14064-2

Kuruluşun sera gazı emisyonları oluşumunu azaltmak için özel olarak tasarlanmış projelerden, bu projelere dayalı faaliyetlere odaklanır. Projenin temelini belirlemek, bu temel doğrultusuna göre projenin performansını izlemek, değerlendirmek ve raporlamak için ilke ve şartlar bulunmaktadır.

2.10.3. ISO 14064-3

Sera gazı envanterlerinin projelerini doğrulama ve geçerli kılmaya yönelik ilkeler ve detaylı bilgileri içermektedir. Sera gazı değerlendirme işlemlerini kuruluşların veya

projelerin sera gazı beyanlarının değerlendirilmesi gibi bileşenleri belirler. Sera gazı beyanlarını geçerli kılmak, doğrulamak için kuruluşlar ve bağımsız kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir.

2.10.4. ISO 14064 Faydaları

Sera gazı hesaplaması ile çevresel boyutun farkındalığı, emisyon azaltımları için yapılacak projelerin izlenmesi, raporlanması, tutarlı olması, şeffaflığı ve güvenilirliğinin bulunması, kuruluşun sera gazı emisyonlarının yönetim stratejilerinin, geliştirilmesi ve uygulanmasının kolaylaştırılması, kuruluşun sera gazı emisyonlarının azaltılması, emisyonların uzaklaştırılmasındaki artışın görülmesi, artış performansının iyileştirilmesi ve izlenmesinin kolaylaşması, sera gazı emisyon azaltımlarının kredilenmesinin ve ticaretinin kolaylaştırılmasıdır.

Ülkemizde 17 Mayıs 2017 tarih ve 29003 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik ve bu yönetmeliğe bağlı olarak Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ yayımlanmıştır. Yönetmeliğe bağlı olarak belli limit değerleri üzerinde sera gazı salınımı yapan firmaların sera gazı salınımlarını izlemesi ve doğrulatması zorunluluğu getirilmiştir. ISO 14064 standardına göre işlem yapan firmaların, ülke yasal zorunluluğunu yerine getirmiş olmakla kalmayıp, uluslararası düzeyde kabul edilmiş olan standart çerçevesinde işlem yapmış olacaklardır (Anonim 2020m). Sera gazı envanterlerini veya sera gazı salınımlarını azaltan projelerin doğrulama onaylama işlemleri ISO 14065 standardı ile yapılmaktadır. Ülkemiz yönetmelik kapsamında doğrulayıcı kuruluş, sera gazı envanterinin uygunluğu ile ilgili doğrulama süreci üzerine bir rapor hazırlar. Bu raporda, yürütülen işin bütün hususları belirtilir. Şayet, doğrulayıcı kuruluşun görüşüne göre toplam emisyonlarda maddi hata yok ise, sera gazı emisyon raporunun uygun olduğu belirtilir.

2.11. Karbon Ayak İzi

İnsan faaliyetleri sonucu çevreye verilen zararın CO_2 cinsinden üretilen sera gazının bir ölçüsü olan Karbon Ayak İzi terimi "kg $CO_{2\text{-eşdeğer}}$" veya "ton $CO_{2\text{-eşdeğer}}$" şeklinde birimler ile ifade edilir. Diğer bir tanımıyla, Kyoto Protokolü tarafından belirlenen üretim, hizmet gibi faaliyetler sonucu oluşan sera gazı etkilerinin CO_2 cinsinden eşdeğeri şeklinde hesaplanmasına Karbon Ayak İzi denir. Karbon ayak izi, kurumlar veya firmalar tarafından; ülkesel bazdaki yasal zorunluluklar, kurumsal veya sosyal sorumluluk projeleri, müşteri talebi, kurum imajı, zorunlu veya gönüllü olarak sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ilave olarak karbon ticareti kapsamında değerlendirmek amaçlarıyla hesaplanmaktadır. Karbon ayak izinin, kişisel ve kurumsal olarak iki farklı türü mevcuttur (Bekiroğlu 2011).

2.11.1. Kişisel Karbon Ayak İzi

Yıllık olarak insanların yaşam faaliyetleri sırasında atmosfere salınan, bireysel olarak sorumluluk belirten kavramdır. Amaç, karbon ayak izini oluşturan en küçük yapı taşı olan insanlarda bilinç oluşturmaktır. İki ana parçadan oluşan kişisel karbon ayak izinin birincisi, insanların evlerinde elektrik, yakıt ve yapılan seyahatler sırasında tüketilen fosil yakıtların oluşturduğu CO_2 konsantrasyonudur. İkinci parça ise kişilerin yaşamları sırasında kullandıkları ürünlerin üretimden bertarafı aşamasına kadar dolaylı olarak oluşturduğu CO_2 konsantrasyonudur (Bekiroğlu 2011).

2.11.2. Kurumsal Karbon Ayak İzi

Kurumların, firmaların yıllık faaliyetlerine ilişkin CO_2 konsantrasyon göstergesidir. Kurumsal karbon ayak izi üç temel parçadan oluşmaktadır.

Doğrudan karbon ayak izi, kurumlardaki faaliyetler için ısınma ve üretim sırasında kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu oluşturduğu emisyonlar olarak değerlendirilir. Dolaylı karbon ayak izi, kurumların tükettiği elektrik enerjisinin neden olduğu emisyonlar, kurumun başka bir yerden satın alacağı buhar, soğutma ve sıcaksu faaliyetlerine bağlı oluşan emisyonlar olarak değerlendirilir. Diğer dolaylı karbon ayak

izi, kurumların aldıkları hammaddeden kullanılan broşürlere, kullanılan taşeron faaliyetleri, kiralanan araçların kullandığı yakıtlar, kurumdaki çalışan kişilerin kara, hava, deniz ulaşımlarına bağlı yaptıkları tüm emisyonlar olarak değerlendirilir (Bekiroğlu 2011).

2.12. Karbon Ayak İzi Oluşumunun Çevreye ve Canlılara Etkileri

İnsanların yaşamı boyunca faaliyetleri sonucunda oluşan CO_2 emisyonlarının birim ton başına ağırlığı olan ve iklim değişikliğinin nedeni olan karbon ayak izi, çevre için birçok olumsuz etki oluşturmaktadır. HAİDP tarafından yayımlanan 5. Değerlendirme Raporuna göre, geçen yüzyılın son yarısında CO_2 miktarının, sera gazlarının artışından kaynaklandığı görülmektedir. Kutuplardaki buzul kütlelerinde geriye çekilmelerin de bir sebebi olarak görülmektedir. Buzul sularının erimesiyle denizin normal seviyesinde artışlar, deniz ekosisteminde bulunan canlıları da etkilemektedir. Tüm kıtaları etkileyen fiziksel ve biyolojik ekosistemlerden etkilenen kuşların erken yumurtlaması da olumsuz diğer bir sonuçtur. Sıcaklıkta bu değişiklikler diğer canlı türleri üzerinde de stres oluşturmuştur (Sreng 2016). Sıcaklık değişimleri ile deniz ve okyanus sıcaklıklarındaki değişim, göç eden deniz canlılarını de etkilemekle birlikte kuş ekosistemini de etkilemiş ve göç eden hayvanların göç zaman aralıklarının değişmesine sebep olmuştur.

Bunun yanı sıra küresel iklim değişiklikleri insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Sera gazları sonucu oluşan hava kirliliği seviyesindeki artış ile canlılarda solunum yolu hastalıkları baş gösterebilmektedir. Aşırı ısınma ve soğumalar ile hava şartlarındaki değişimler havadaki kirleticilerin sebep olduğu sağlık üzerinde olumsuz etkileri arttırmaktadır (Sreng 2016). Küresel olarak dünyanın sıcaklığındaki artış sivrisinek veya patojen mikroorganizmaların varlığının artmasıyla sıtma veya diğer bulaşıcı hastalıkların türeyerek çoğalmasına sebep olabilir. Yüksek sıcaklarda varlıklarını sürdürebilen bakterilerin artışı da sıcakların yüksek seyrettiği bölgelerde ciddi boyuttaki hastalıklara yol açması muhtemeldir.

2.13. Otomotiv Endüstrisi

İklim değişikliği, tüm ülkelerin sorumluluğunda olan bir durumdur. Küresel olarak otomotiv sektörünün üretim aşamasında ve sonucunda oluşturulan araçlardan kaynaklı CO_2 emisyonlarını azaltma sorumluluğu yüksektir (Sreng 2016). Küresel olarak yolcu ve hafif ticari araçların üretiminde sürekli artış gözlenmektedir. 2030 yılına gelindiğinde araç sayısındaki artış 1,4 milyara yükseleceği tahmin edilmektedir. Taşımacılık sektörü en hızlı büyüyen sektörlerden biri olarak, fosil yakıtlardan kaynaklı CO_2 emisyonları sonucu oluşan sera gazının toplamda %22-24'ünden sorumludur. Sadece karayolu taşımacılığından kaynaklanan CO_2 emisyonları 2007 yılında 4,8 Gt iken, 2030 yılında 6,9 Gt'a yükseleceği öngörülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde emisyon miktarındaki artışın sebebi olarak insanların toplu taşıma yerine kendi araçlarıyla bir yere ulaşma içgüdüsünden kaynaklanmaktadır. Nitekim CO_2 emisyonlarının oluşturduğu iklim değişikliği algısı fark edilmiş ve üreticiler tarafından çözüm odaklı yaklaşımlar için önemli yatırımlar yapılmıştır. Bu yenilikçi yatırımlardan olan hibrit araçlar veya elektrikli araçlar sektörde rol almaya başlamıştır. Hibrit araçların uluslararası araç filosundaki payı 2007 de %0,15 iken 2030 yılına kadar %8'e kadar artacağı öngörülmektedir (Mondal ve ark. 2011).

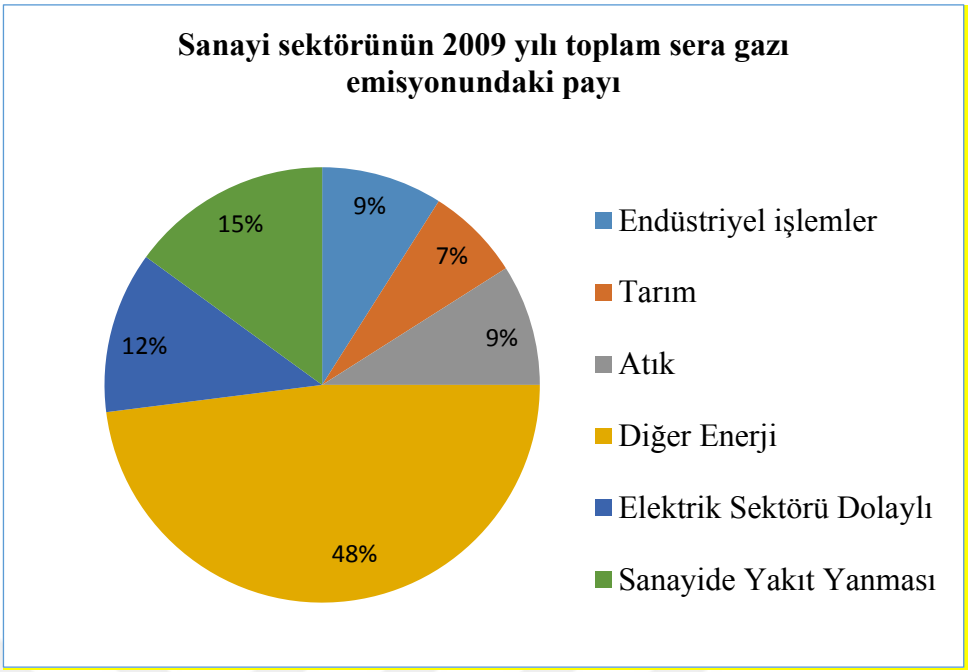
Çevreye duyulan hassasiyetin artması otomotiv sektöründe de ülkelerin farklı düzenlemeler getirdiği görülmektedir. Küresel ısınma farkındalığı oluşan gelişmiş ülkelerde CO_2 emisyonlarını azaltacak mevzuatlar geliştirilmiştir. Örnek olarak Avrupa'da 2015 yılında 130 g/km olan CO_2 emisyon değerini alınan önlemler ve yapılan çalışmalar sonucu üretilen araçlar ile 2022 yılında 95 g/km ye düşürüleceği öngörülmüştür (Gür ve Furuncu 2019).

Benzinli ve dizel olmak üzere fosil yakıtların kullanıldığı araçların üretimin gelecekte yasaklanacağını duyuran İngiltere, Norveç, Almanya ve Fransa gibi ülkelerin yanı sıra otomobil pazarının devlerinden olan Çin'in de bu düşünceyi benimsemesi ile elektrikli araçların yaygınlaşması artacaktır. Fosil yakıtlı araçlara göre emisyonların %80 daha az olan elektrikli araçların çevre dostu olduğu görülmektedir (Gür ve Furuncu 2019).

Otomotiv sektöründe satışlar konusunda Avrupa ülkeleri içinde 8. sırada bulunan ülkemizde 2009 yılında Kyoto Protokolünün imzalanmasıyla CO_2 emisyonunun düşük çevre dostu araçların kullanımını teşvik edecek altyapı çalışmaları bulunmaktadır. Ülkemizde 2015 yılı itibariyle elektrikli araç satışları başlamıştır. Türkiye 350-400 elektrikli araç ve 800-900 şarj istasyonu sayısı ile henüz sektör başlangıç aşamasındadır (Polat ve ark. 2015).

Gelişmekte olan dünyada sektörün yeni teknolojik ve ekonomik faaliyetleri için çevre dostu anlayış benimsenmektedir. Ülkemizde de doğal kaynakların kullanımını en aza indirmek, üretim ve tüketim süreçlerinde özellikle enerji ile su kullanımını minimum seviyeye indirecek ekonomik kalkınma modelleri oluşturulmaktadır. Bu kalkınma modelleri içerisinde rekabete, hibrit otomobiller ile az yakıt tüketerek düşük emisyona sahip olan teknolojiler de girmektedir. Bu durumun doğal sonucu olarak da ulusal veya sektörel boyutta kalkınma stratejileri ile iklim politikalarının kurumlarda uygulanabilmesi için yerel mevzuatta da yer bulması gerekmektedir. Bu doğrultuda ülkemiz de kendi sorumluluklarının farkına vararak, milletler arası iklim değişikliği müzakerelerindeki özel şartları çerçevesinde; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttıran, ülkede yaşayan insanlara düşük karbon yoğunluğu ile birlikte yüksek yaşam kalitesi ve refahı sunmaktadır (İDEP 2011).

Türkiye GSYH içinde, sanayi sektörünün payı % 20-25 arasındadır. Bununla birlikte otomotiv sanayisinin payı ise % 5,8'dir. 1999-2008 yılları arasında sanayi sektöründeki büyümenin enerji tüketimine etkisi incelendiğinde sabit fiyatlarla %51,1'lik GSYH artışına karşılık sanayi sektöründe %66 oranındadır. 2004-2008 yılları arasında ise sanayi üretim endeksi %14,5 artarken, sanayide kullanılan elektrikteki tüketim artışı %30 olarak belirtilmiştir. TÜİK verilerine göre sanayi sektöründe oluşan 2009 yılı toplam sera gazı emisyonundaki payı Şekil 2.11'de verilmiştir (İDEP 2011).



Şekil 2.11. Sanayi sektörünün 2009 yılı toplam sera gazı emisyonundaki payı (İDEP 2011)

Ülkemizde, dönemin Cumhurbaşkanı teşviki ile Anadolu Grubu, BMC, Kıraça Holding, Turkcell ve Zorlu Holding güçlerini birleştirmesi sonucu 2019 yılında ilk prototipinin, ardından 2021 yılında da ilk üretimin yapılması planlanan temeli elektrikli araçlardan oluşacak konsorsiyum kurulmuştur (Gür ve Furuncu 2019). Ülkenizde Ar-Ge çalışmaları sonucu oluşturulan, yerli ve elektrikli otomobillerin üretilmesi ve pazarda yer alması ulaşım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının oluşumunun da azalmasını sağlayacaktır.

2.14. Otomotiv Yan Sanayi Endüstrisi

Otomotiv sektöründe araç üretimi yapan firmalar, metal, cam, plastik, tekstil gibi sektörlerden parça tedarik etmektedir (Anonim 2016). Yan sanayilerden tedarik edilen bu ürünler ile kendi bünyesinde montajlama ile araçları oluşturmaktadır (Gür ve Furuncu 2019). Otomotiv sektöründeki ana ve yan sanayi kuruluşları GSYH'daki payının %4'e yaklaştığı tahmin edilmektedir. Sektör, üretim değeri, yarattığı katma değer ve teknolojisi ile ihracatta %16'lık paya sahiptir. Bu payın ana sanayide %75'i, yan sanayide de %65'i ile ihracat yapılmaktadır (Anonim 2016).

Otomotiv yan sanayinde ülkemizde yaklaşık olarak 1000 firma faaliyet göstermesine rağmen, uluslararası pazarda rekabete katılabilecek özellikte ve kalitede ürünler üreten sayısı 300-350 firmadır. Yan sanayi sektöründeki firmaların konumları itibariyle %75'i Marmara Bölgesinde İstanbul ve Bursa şehirlerinde, %13'ü ise Ege Bölgesinde özellikle İzmir şehrinde yoğunluktadır. Türkiye'de bulunan otomotiv sektörü yan sanayisi üretilen araçlar için gerekli tüm parçaların üretimini karşılayabilecek düzeydedir. Sektörün bileşenlerinden olan, motor veya motor parçaları, aktarma organları, fren sistem parçaları, hidrolik ve pnömatik aksamlar, süspansiyon sistemleri, emniyet ekipmanları, kauçuk ve lastik parçalar, şasi aksamları, elektrik ekipmanları ve aydınlatma sistemleri, akü, cam, koltuklar gibi ekipmanların üretimi yapılmaktadır.

Sektör ekonomisinin temel unsuru olan rekabet gücünü arttıran en önemli parametreler verimlilik ve yeniliklerin artmasıyla ilişkilidir. Teknolojik gelişmelerin artması da yeniliği ve verimliliği arttırmaktadır. Otomotiv yan sanayi sektörü de sürekli yatırım yapma eğilimi, teknik kabiliyette istihdam yaratma faaliyetleri ile ülke ekonomisinde rekabeti arttırıcı özelliği bulunmaktadır.

1990 yılından itibaren araçlardaki talebin her yıl %25 oranındaki artışı ile otomotiv yan sanayinde de çok yoğun yatırımlar yapılmasına vesile olmuştur. Otomotiv yan sanayi üretimindeki kapasite, çeşitlilik ve ulaşılan standartlar ile ülkemiz sınırları içinde üretimi yapılan taşıtların tüm parça ve ekipmanlarının %80'ini karşılayabilecek düzeydedir (Anonim 2020n).

Sürekli büyüyen yan sanayi pazarı, ana sanayinin belirlediği özellikler çerçevesinde gelişme göstermektedir. Ana sanayinin çevre dostu üretimi benimsemesi ile ürünlerini temin ettiği kuruluşlardan da aynı performansı beklemesi yan sanayi sektörünün de ürünlerini üretme aşamasında çevre dostu yolu izlemesine neden olacaktır. Uluslararası pazarda kendini gösterme gücünün bir adımı da küreselleşme yolunda, üretim aşamasında ve araçların tüketiciye ulaştıktan sonra kullanımı aşamasında çevreye daha az olumsuz etkisi bulunan değerlerin üretilmesidir.

2.15. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Konusunda Literatürde Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde ve dünyada karbon ayak izi hesaplanması ve değerlendirilmesi ile ilgili çok çeşitli sektörlerde çalışmalar bulunmaktadır.

Pekin (2006) tarafından ulaşım sektöründe yapılan sera gazı emisyonlarının hesaplanması çalışmasında ulaşımda yakıt tüketiminin arttıkça CO_2 emisyonlarının da hızlı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Ulaştırma sektöründe bulunan alt grupları içerisinde karayolu ulaşımının en büyük emisyon kaynağı olduğu bilinmektedir. 1993 yılında yapılan hesaplamalara göre karayolu kaynaklı CO_2 emisyonları toplam emisyonların %93'ü oranındayken, 2004 yılındaki verilere göre de %84'e gerilediği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise havayolu ulaşım şeklinin kullanımının artışı olduğu gösterilebilmektedir. Fakat bunun yanında her geçen gün karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarının artış göstermekte olduğu görülmüştür. Emisyon miktarlarının azaltılması için, eski model araçların trafikten tamamen çekilmesi, daha az yakıt tüketen araçların artması, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, bireysel araçlar yerine toplu taşıma araçlarının kullanımının artması, yakıt tüketimine göre vergilenmeye gidilmesi gibi önlemler ile karayolu kaynaklı sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Özlem (2013) tarafından seçilen bir kağıt fabrikasında karbon ayak izinin belirlendiği çalışmada, 2011 yılına ait veriler doğrultusunda üretim faaliyetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyon miktarı hesaplanmıştır. Tesiste belirlenen kapsam ve sınırlar dahilinde oluşan toplam CO_2 miktarının 98 948 429 kg olduğu, bunun 52 372 kg'ı şirket araçlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Dünyada ve ülkemizde iklim değişikliği olgusunun öneminin kavranması ile hükümetlerin, yatırımcıların kuruluşların ve hatta kişilerin de dahil sera gazı emisyonlarını azaltacak yöntemleri tercih etmeleri kaçınılmaz olmuştur. Bu bilinç ile öncelikle var olan emisyonların güvenilir kaynaklar ile hesaplanması ve emisyonların azaltım yönünde yönetim planı oluşturulması gerekmektedir. Ürünlerin ve verilen servis hizmetinin karbon ayak izinin azaltılmak veya nötrlemek, yatırımcıların ve tüketicilerin nezdinde şirketlerin marka değerini yükselteceği belirtilmektedir. Tesiste %100 hurda kağıt ile üretim gerçekleştirildiğinde,

ham selüloz ile üretim yapan firmalara istinaden CO_2 yutaklarından olan ormanlık alanların korunmasına da önemli ölçüde katkıda bulunulacağı belirtilmiştir. Tesisteki buhar üretimi kısmında yapılacak optimizasyon ile hem enerji tasarrufu sağlanacak hem de CO_2 azaltımı sağlanacağı öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji santrallerinin emisyon azaltım uygulamalarından yararlanmak da bahsedilen diğer önlemlerdendir.

Ford Mazda Motor Co. Ltd. şirketinin CO_2 emisyonlarının sürekli izlendiği sistemi bulunmakta ve DKE'nin geliştirdiği sera gazı emisyon hesaplamaları kullanılarak sera gazı emisyonlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda 2014 yılı elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı 17 935 mtCO_2 olarak bulunmuştur Anonim (2014a).

Jochem ve Wolfram (2014) tarafından Volkswagen Otomotiv Endüstrisi'nin indirekt emisyonları, iş seyahatleri, lojistik süreçleri, araç kullanımı ve bertarafı, tedarik zinciri konularındaki faaliyetleri sırasında oluşan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. WRI hesaplama metoduna göre yapılan çalışmada, 2014 yılındaki arabalar ve hafif ticari araçlar için çıkan emisyon miktarı 0,048 milyon ton, grup üretim yerlerinden kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı ise 4,79 kg/araç olarak tespit edilmiştir (Sreng 2016).

Çinli, Jiangling Motor Co. Ltd. çevre araştırma ekibi tarafından yapılan çalışmada WRI'nın geliştirdiği sera gazı emisyon hesaplaması kullanılarak CO_2 emisyonları hesaplaması yapılmıştır. Direkt ve indirekt emisyonlar tanımlanmış ve hesaplamalar sonucunda 2014 yılında CO_2 emisyonunun toplam miktarı 60 307 ton olarak bulunmuştur (Anonim 2014b).

Sreng (2016) tarafından otomotiv endüstrisinde yapılan çalışmada uluslararası standartlar ile karbon ayak izi hesaplama ve raporlama yöntemleri, karbon ayak izinin insan sağlığı, iklim değişikliğine etkileri ve küresel otomotiv endüstrisi konuları ele alınmıştır. Otomotiv endüstrisinde yaşam döngüsü kapsamında değerlendirildiğinde karbon ayak izinin her aşamada meydana gelebileceği üzerinde durulmuştur. Yıllık olarak 1 milyon araç üretiminin gerçekleştiği durumda araçların üretim aşamasında

ortaya çıkan emisyon 1 700 000 $tCO_{2\text{-eşd.}}$'i kadar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tesiste araç üretimi sırasında elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı 1 478 235,91 $tCO_{2\text{-eşd.}}$'i kadardır. Sabit yanmada kullanılan doğalgaz kaynaklı emisyon miktarı ise 2 450,45 $tCO_{2\text{-eşd.}}$'i kadar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Oldukça yüksek çıkan CO_2 emisyonunun azaltılması için karbon yutağı olan yeşil alanların arttırılması ve enerji ihtiyacının yenilenebilir bir yöntem olan güneş enerjisinin kullanılması ile ilgili hesaplamalarda ve önerilerde bulunulmuştur. Hesaplamalar sonucunda 250 watt gücündeki güneş panellerinin vasıtası ile üretilen elektrik enerjisinin kullanımıyla, elektrik tüketiminden kaynaklanan CO_2 emisyonu neredeyse tamamen yok olacağı belirtilmiştir.

Demirbaş (2018) tarafından bir geri kazanım tesisinde karbon ayak izinin belirlendiği çalışmada, geri kazanım tesisi içerisinde ve dışında elektrik, ısınma ve ulaşımdan kaynaklanan karbon ayak izi miktarı HAİDP tarafından geliştirilen Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımları ile incelenmiştir. Çalışma yapılan tesisteki karbon ayak izinin %76,8 ulaşımdan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Tesisin belirlenmiş faaliyetlerden kaynaklanmış CO_2 emisyonları; ulaşımdan kaynaklanan miktar 102 000 ton, ısınmadan kaynaklanan miktar 30 726 ton ve elektrik kullanımından kaynaklanan miktar da 8,6 ton olarak bulunmuştur.

Güller (2018) tarafından evsel nitelikli atıksuların arıtıldığı biyolojik arıtım yapılan tesisteki çalışmada iki yıla ait atıksu, elektrik kullanımı, yakıt tüketimi ve arıtma sonucu oluşan çamurun bertarafından kaynaklanan CO_2 emisyonları CCALC2 programı aracılığıyla, N_2O emisyonu ve HAİDP dokümanı kullanarak da CO_2 emisyon hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda evsel atıksu arıtma tesisinde 2015 yılı içerisinde; 77 300 ton CO_2 eşd. evsel atıksudan, 122,83 ton CO_2 eşd. akaryakıt tüketiminden, 865,91 ton CO_2 eşd. elektrik kullanımından, 95,71 ton CO_2 eşd. kimyasal tüketiminden, 74,5 ton CO_2 eşd. arıtma çamurunun bertarafından oluştuğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda biyogaz kullanımı ile elektrik enerjisi üretimi sonucunda 1 654 ton CO_2 eşd. emisyonunun engellendiği saptanmıştır. 2016 yılı içerisinde 81 600 ton CO_2 eşd. evsel atıksudan, 40,44 ton CO_2 eşd. akaryakıt tüketiminden, 1 069,49 ton CO_2 eşd. elektrik kullanımından, 49,5 ton CO_2 eşd. kimyasal

tüketiminden, 68,4 ton CO_2 eşd. arıtma çamuru bertarafından kaynaklanan karbon ayak izi sonuçları elde edilmiştir. Evsel kullanım kaynaklı atıksuların günden güne artması ile işletmedeki giderlerin de arttığı bu sebeple karbon ayak izinde de artışlar görüldüğü tespit edilmiştir. CO_2 emisyonları dikkate alınarak teknolojik yeniliklere uyum ile karbon ayak izinin azaltılması ve biyogaz enerjisi sayesinde de belirli ölçekte karbon ayak izinin oluşmasının engelleneceği anlaşılmıştır.

Şahin (2019) tarafından toplam sera gazı emisyonlarının %3'ünden sorumlu olan çimento fabrikasında yapılan karbon ayak izi çalışması ile yüksek miktarda hammadde ve enerji gerektiren çimento sektöründe kullanılan yakıtlardan kaynaklı CO_2 ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Çalışmada faaliyet sırasında ve kullanılan yakıtlardan kaynaklı CO_2 emisyonu 3 528 673 ton olarak, 2018 yılında ise 359 416 ton CO_2 emisyon miktarı tespit edilmiş ve farklı emisyon azaltım yolları aktarılmıştır. İki farklı şekilde doğalgaz kullanımının arttırılmasıyla 3 419 850 ton CO_2 emisyon ve atıktan türetilmiş yakıt miktarının attırılmasıyla da 3 499 021 ton CO_2 emisyonu oluşabileceği gözlenmiştir. Tesiste enerji kaynağı olarak kullanılan kömür, petrol, fuel oil, biyokütle gibi yakıtlardan kömüre ikame bir yakıt olan doğalgaz kullanımı ile atıktan türetilmiş yakıt kullanımına göre daha az CO_2 emisyonunun oluşacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Yılmaz (2019) tarafından elektronik atık geri dönüşüm tesisinde karbon ayak izinin araştırılması çalışması yapılmıştır. Ülkemizde önemi anlaşılan elektronik atıkların geri dönüşümü yaşam döngüsü değerlendirilmesi yaklaşımı kapsamında değerlendirilmiştir. 2015, 2016 ve 2017 yıllarındaki ısınma, ulaşım, atık taşıma faaliyeti ve elektrik tüketimi konularında karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Isınmadan kaynaklanan doğalgaz tüketimi sonucu 2015 yılında 1,91 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2016 yılında 1,96 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2017 yılında ise 4,13 $tCO_{2\text{-eşd.}}$ emisyon salımı gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ulaşım ve atık taşıma faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların ise 2015 yılında 70,40 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2016 yılında 74,58 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2017 yılında 87,62 $tCO_{2\text{-eşd.}}$ olduğu elektrik tüketiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının ise 2015 yılında 107,7 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2016 yılında 85,5 $tCO_{2\text{-eşd.}}$, 2017 yılında ise 133,4 $tCO_{2\text{-eşd.}}$ olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın yapıldığı firmanın diğer tesislere oranla personel ve ekipman fazlalığından dolayı CO_2 emisyon değerlerinin daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. CO_2 emisyonlarının azaltılması ile

ilgili verilen öneriler arasında, 25 000 ağaç dikiminin gerçekleştirilmesi ile tesisin üreteceği emisyonların %100'ünün giderilebileceği, atık alım faaliyetinde bulunan araçların rotalarının optimum seviyeye getirilmesi ve LPG'li araçların kullanılması ile emisyon azaltımı yapılabileceği, yapılacak yatırımlarda da yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ile emisyon azaltımı gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında karbon ayak izi hesabının yapılacağı firma, Bursa'da otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet göstermekte, dünya çapında büyük otomotiv fabrikaları için özel olarak tasarlanmış far ve arka stop lambası üretmektedir. Bu çalışmada firmanın 2019 ve 2020 yıllarındaki üretim faaliyetini kapsamaktadır.

Çalışmanın gerçekleştiği firmada 2019 ve 2020 yılı içerisinde 300 gün çalışılmaktadır. 2019 yılında bir günde ortalama 892 kişi 2020 yılında bir günde ortalama 698 kişinin çalıştığı far ve arka stop üretimi sırasında elektrik, doğalgaz, su kullanımı ve atıksu oluşumu, oluşan atıklar ve personel taşınması sırasında araçlardan kaynaklanan emisyonlar incelenmiştir. Firmanın karbon ayak izi tahminlenmesi sırasında CO_2 emisyonu ve N_2O, CH_4 emisyonlarının CO_2 cinsinden eşdeğerleri kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. HAİDP (2006)'de yer alan kg CO_2 eşdeğeri birimindeki emisyon faktörleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CO_2'ye göre GWP, HAİDP 5. değerlendirme raporu 2014 (AR5) değerleri (GHGP 2014)

Parametre	**Emisyon Faktörü (ton CO_2 eq)**
CO_2	1
CH_4	28
N_2O	265

2019 yılına ait otomotiv yan sanayi fabrikasının karbon ayak izi, HAİDP'ne ait formül Tier 1 yaklaşımı ile kullanılarak hesaplanmıştır (GHGP 2014).

Karbon emisyonu = Faaliyet verisi x Emisyon faktörü (3.1)

Bursa ilinde otomotiv yan sanayi sektöründe, far ve arka stop konusunda faaliyet gösteren firmanın 2019 ve 2020 yılları faaliyet verileri Çizelge 3.2.'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Tesisin 2019 ve 2020 yılı faaliyetine ilişkin veriler

Kaynaklar	**2019**	**2020**	**Birimler**
Çalışan sayısı	892	698	kişi
Fabrika toplam alanı	27 812	27 812	m^2
Ağaçlar	173	173	adet
Tehlikeli atık miktarı	20 201	10 274	kg
Evsel atık miktarı	208 090	158 230	kg
Kağıt karton atık miktarı	12 540	6 696	kg
Plastik atık miktarı	514 511	393 172	kg
Personel aracı (Benzin+Hibrit)	5	7	adet/yıl
Personel aracı (Dizel)	9	-	adet/yıl
Personel aracı (Benzin)	-	2	adet/yıl
Personel aracı (Dizel)	18	17	adet/yıl
Servis aracı (Dizel)	50	40	adet/yıl
Toplam yıllık üretilen far ve aydınlatma için elektrik tüketimi	15 253 278	12 474 027	kWh
Doğal gaz kullanımı	7 286 591	53 20 711	kWh
Toplam su tüketimi	8 332	5 712	m^3
Toplam atıksu miktarı	8 332	5 712	m^3

HAİDP, Dünya Kaynaklar Enstitüsü GHG, otomotiv sektöründe yapılan akademik çalışmalardan Çizelge 3.1.'te yer alan emisyon faktörlerinden yararlanılarak $CO_{2\ eq}$ biriminde hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Kaynaklara göre emisyon faktörleri

Kaynaklar	**Değerler**	**Birimler**	**Kaynaklar**
Atıksu miktarı	0,3	CH_4 için kg/m^3	(Sawart 2015, Michiel ve ark. 2006)
Atıksu miktarı	0,005	kg N_2O-N/ m^3 [1]	
Su tüketimi	0,0014	kg $CO_{2\ eq}$ /L	(Sawart 2015)
Elektrik kullanımı	0,856	kg $CO_{2\ eq}$ /kWh	
Tehlikeli atık	0,021	kg $CO_{2\ eq}$/kg	
Evsel atık	3,59	kg $CO_{2\ eq}$/kg	
Kağıt karton atık	0,928	kg $CO_{2\ eq}$/kg	
Plastik atık	2,154	kg $CO_{2\ eq}$/kg	
Benzinli araç	2,2717926	CO_2 için kg/L	(GHG 2017)
Benzinli araç	0,00032782	CH_4 için kg/L	
Benzinli araç	0,0000196692	N_2O için kg/L	
Dizel araç	2,676492	CO_2 için kg/L	
Dizel araç	0,0003612	CH_4 için kg/L	
Dizel araç	0,000021672	N_2O için kg/L	
Doğal gaz kullanımı	1,88496	CO_2 için kg/m^3	
Doğal gaz kullanımı	0,000168	CH_4 için kg/m^3	
Doğal gaz kullanımı	0,00000336	N_2O için kg/m^3	

Çalışmada hesaplanan sonuçların, Çizelge 3.4.'te birim dönüşüm değerleri bulunmaktadır.

[1] Üretilen atıksu miktarından kaynaklanan kg N_2O-N biriminin, kg N_2O dönüşüm faktörü Çizelge 3.1.'de belirtilmiştir (Michiel ve ark. 2006, Zhan ve ark. 2018).

Çizelge 3.4. Birim dönüşüm değerleri

Değerler	**Dönüşüm Değerleri**
1 ton	1000 kg
1GJ	277,7778 kWh
1 m^3	1000 L
1 kg	1000 g
1 kWh	1000 Wh
1 L	0,2642 gal
1 ton	1 m^3
kg N_2O-N	44/28 kg N_2O
1 €	9,32 TL [2]

Hesaplamalar sırasında birim dönüşüm değerleri kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

[2] 13.12.2020 tarihinde geçerli olan kur değeridir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tesis yetkililerinden temin edilen veriler (Çizelge 3.2.) ile HAİDP ve diğer kaynaklarından elde edilmiş faktörlere göre (Çizelge 3.3.) karbon ayak izi miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

4.1. Su Tüketimi Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

2019 yılı su tüketim miktarı 8 332 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,0014 kg $CO_{2\,eq}$ /L karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

$$\frac{\left(8332\ m^3 \times 1000 \frac{L}{m^3}\right) \times 0{,}0014\ \frac{kg\ CO_{2\,eq}}{L}}{1000 \frac{kg}{ton}} = 11{,}6648\ ton\ CO_2\ /yıl$$

2020 yılı su tüketim miktarı 5 712 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,0014 kg $CO_{2\,eq}$ /L karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

$$\frac{\left(5712\ m^3 \times 1000 \frac{L}{m^3}\right) \times 0{,}0014\ \frac{kg\ CO_{2\,eq}}{L}}{1000 \frac{kg}{ton}} = 7{,}9968\ ton\ CO_2\ /yıl$$

4.2. Atıksu Oluşumu Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

2019 yılı oluşan atıksu miktarı 8 332 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,3 CH_4 için kg/m^3 karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

CH_4 Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(8332\ m^3 \times 0{,}3\ kg\ \frac{CH_4}{m^3}\right)}{1000 \frac{kg}{ton}} = 2{,}4996\ ton\ CH_4/yıl$$

Çizelge 3.1.'de belirtildiği üzere CH_4 emisyonunun KIP değeri CO_2'nin 28 katıdır.

$$(7{,}9968 \text{ ton } CH_4 \times 28) = 69{,}9888 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı oluşan atıksu miktarı 5 712 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,3 CH_4 için kg/m^3 karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

CH_4 Emisyon Miktarı (2020):

$$\frac{\left(5712 \text{ m}^3 \times 0{,}3 \text{ kg } \frac{CH_4}{\text{m}^3}\right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 1{,}7136 \text{ ton } CH_4/\text{yıl}$$

Çizelge 3.1.'de belirtildiği üzere CH_4 emisyonunun KIP değeri CO_2'nin 28 katıdır.

$$(1{,}7136 \text{ ton } CH_4 \times 28) = 47{,}9808 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

N_2O Emisyon Miktarı (2019):

2019 yılı oluşan atıksu miktarı 8 332 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,005 kg N_2O-N/m^3 karbon emisyon faktörü dikkate alınarak ve Çizelge 3.1.'de belirtildiği üzere N_2O emisyonunun KIP değeri CO_2'nin 265 katıdır. Üretilen atıksu miktarından kaynaklanan kg N_2O-N biriminin, kg N_2O dönüşüm faktörü Çizelge 3.4. belirtildiği şekilde 44/28 kg N_2O dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$\frac{(8332 \text{ m}^3 \times 0{,}005 \text{ kg } N_2O\text{-N/m}^3)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} \times \frac{44}{28} \times 265 = 17{,}348 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

Tesiste 2019 yılı içinde su tüketimi ve oluşan atıksu kaynaklı CO_2 emisyon miktarı,

$$11{,}6648 + 69{,}9888 + 17{,}348 = 99{,}002 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

N_2O Emisyon Miktarı (2020):

2020 yılı oluşan atıksu miktarı 5 712 m^3'tür (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,005 kg N_2O-N/m^3 karbon emisyon faktörü dikkate alınarak ve Çizelge 3.1.'de belirtildiği üzere N_2O emisyonunun KIP değeri CO_2'nin 265 katıdır. Üretilen atıksu miktarından kaynaklanan kg N_2O-N biriminin, kg N_2O dönüşüm faktörü Çizelge 3.4. belirtildiği şekilde 44/28 kg N_2O dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$\frac{(5712\ m^3 \times 0{,}005\ kg_{N_2}O\text{-}N/m^3)}{1000\frac{kg}{ton}} \times \frac{44}{28} \times 265 = 11{,}8932\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

Tesiste 2020 yılı içinde su tüketimi ve oluşan atıksu kaynaklı CO_2 emisyon miktarı,

$$7{,}9968+47{,}9808+11{,}8932=67{,}8708\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

4.3. Elektrik Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

2019 yılı içinde kullanılan elektrik miktarı 15 253 278 kWh'tir (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,856 kg $CO_{2\ eq}$/kWh karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

$$\frac{\left(15253278\ kWh \times 0{,}856\ \frac{kgCO_{2\ eq}}{kWh}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} = 13056{,}806\ \ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

2020 yılı içinde kullanılan elektrik miktarı 12 474 027 kWh'tir (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen 0,856 kg $CO_{2\ eq}$/kWh karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

$$\frac{\left(12474027\ kWh \times 0{,}856\ \frac{kgCO_{2\ eq}}{kWh}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} = 10677{,}767\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

4.4. Doğalgaz Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

1 m^3 doğalgazdan 10,64 kWh enerji açığa çıkmaktadır (Anonim 2020o). 2019 yılı içinde kullanılan doğalgaz miktarı 7 286 591 kWh ve 2020 yılı içinde kullanılan doğalgaz miktarı 5 320 711 kWh'tir (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörleri olan 1,88496 CO_2 için kg/m^3, 0,000168 CH_4 için kg/m^3, 0,00000336 N_2O için kg/m^3 dikkate alınarak,

2019 yılı:

$$7286591\ \text{kWh} \times \frac{1\ \text{m}^3}{10{,}64\ \text{kWh}} = 684829{,}981\ \text{m}^3$$

2020 yılı:

$$5320711\ \text{kWh} \times \frac{1\ \text{m}^3}{10{,}64\ \text{kWh}} = 500066{,}823\ \text{m}^3$$

CO_2 Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(684829{,}981\ \text{m}^3 \times 1{,}88496\ \frac{\text{kgCO}_{2\ \text{eq}}}{\text{m}^3}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 1290{,}88\ \text{ton CO}_{2\ \text{eq}}/\text{yıl}$$

CO_2 Emisyon Miktarı (2020):

$$\frac{\left(500066{,}823\ \text{m}^3 \times 1{,}88496\ \frac{\text{kgCO}_{2\ \text{eq}}}{\text{m}^3}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 942{,}6056\ \text{ton CO}_{2\ \text{eq}}/\text{yıl}$$

CH_4 Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(684829{,}981\ m^3 \times 0{,}000168\ \frac{kg\ CH_4}{m^3}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 28 = 3{,}221\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

CH_4 Emisyon Miktarı (2020):

$$\frac{\left(500066{,}823\ m^3 \times 0{,}000168\ \frac{kg\ CH_4}{m^3}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 28 = 2{,}352\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

N_2O Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(684829{,}981\ m^3 \times 0{,}00000336\ \frac{kg\ N_2O}{m^3}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 = 0{,}610\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

N_2O Emisyon Miktarı (2020):

$$\frac{\left(500066{,}823\ m^3 \times 0{,}00000336\ \frac{kg\ N_2O}{m^3}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 = 0{,}445\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

2019 yılı toplam doğalgaz tüketimi kaynaklı oluşan CO_2 emisyonu:

$$1290{,}88+3{,}221+0{,}610=1294{,}711\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

2020 yılı toplam doğalgaz tüketimi kaynaklı oluşan CO_2 emisyonu:

$$942{,}6056+2{,}352+0{,}445=945{,}4026\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

4.5. Atık Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

Tehlikeli Atıklar:

2019 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan tehlikeli atık miktarı 20 201 kg 2020 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan tehlikeli atık miktarı 10 274 kg'dır (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörü 0,021 kg $CO_{2\ eq}$/kg dikkate alınarak,

2019 yılı:

$$\frac{\left(20201\ \text{kg} \times 0{,}021\ \frac{\text{kg}CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 0{,}4242\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı:

$$\frac{\left(10274\ \text{kg} \times 0{,}021\ \frac{\text{kg}CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 0{,}2157\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

Evsel Atıklar:

2019 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan evsel atık miktarı 208 090 kg ve 2020 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan evsel atık miktarı 158 230 kg'dır (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörü 3,59 kg $CO_{2\ eq}$/kg dikkate alınarak,

2019 yılı:

$$\frac{\left(208090\ \text{kg} \times 3{,}59\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 747{,}0431\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı:

$$\frac{\left(158230\ \text{kg} \times 3{,}59\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 36{,}34\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

Kağıt Karton Atıklar:

2019 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan kâğıt karton atığı miktarı 12 540 kg ve 2020 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan kâğıt karton atığı miktarı 6 696 kg'dır (Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörü 0,928 kg $CO_{2\ eq}$/kg dikkate alınarak,

2019 yılı:

$$\frac{\left(12540\ \text{kg} \times 0{,}928\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 11{,}6371\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı:

$$\frac{\left(6696\ \text{kg} \times 0{,}928\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 6{,}2139\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

Plastik Atıklar:

2019 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan plastik atık miktarı 514 511 kg ve 2020 yılı içinde far ve arka stop üretimi sonucunda oluşan plastik atık miktarı 379 705 kg'dır (bkz. Çizelge 3.2.). Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörü 2,154 kg $CO_{2\ eq}$/kg dikkate alınarak,

2019 yılı:

$$\frac{\left(514511\ \text{kg} \times 2{,}154\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 1108{,}2567\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı:

$$\frac{\left(379705\ \text{kg} \times 2{,}154\ \frac{\text{kg}\ CO_{2\ eq}}{\text{kg}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 817{,}88457\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

Atıklar kaynaklı oluşan toplam CO_2 miktarı:

2019 yılı:

$$(0{,}4242+747{,}0431+\ 11{,}6371+\ 1108{,}2567) = 1867{,}3611\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

2020 yılı:

$$(0{,}2157+36{,}34+6{,}2139+817{,}88457) = 860{,}65417\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

4.6. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi Miktarı

Çizelge 3.2. de belirtildiği üzere, 2019 yılında ulaşım amacı ile kullanılan;

-5 adet benzin/hibrit araç başına 30 L/ay yakıt tüketimi olan yönetici aracı,
-9 adet dizel araç başına 75 L/ay yakıt tüketimi olan personel aracı,
-18 adet dizel araç başına 125 L/ay yakıt tüketimi olan personel aracı,
-50 adet dizel araç başına 52,5 L/ay yakıt tüketimi olan servis aracı bulunmaktadır.

2019 ve 2020 yıllarında Çizelge 3.2.'te belirtilen aylık olarak ortalama yakıt tüketim verileri ile Çizelge 3.3.'te belirtilen 2,2717926 $CO_{2\ eq}$/L, 0,00032782 kg $CH_{4\ eq}$/L, 0,000021672 kg $N_2O_{\ eq}$/L karbon emisyon faktörleri dikkate alınarak,

-2019 yılı benzinli yönetici araçları için oluşan toplam karbon ayak izi miktarı;

Araç başına 30 L/ay yakıt tüketimi olan 9 adet dizel personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarına göre oluşan emisyon miktarı:

CO_2 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(30\ \frac{L}{ay} \times 2{,}2717926\ \frac{kg\ CO_{2\ eq}}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 5\ araç \times 12\ \frac{ay}{yıl} = 4{,}0892\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

CH_4 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(30\ \frac{L}{ay} \times 0{,}00032782\ \frac{kg\ CH_4}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 28 \times 5\ araç \times 12\ \frac{ay}{yıl} = 0{,}01652\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

N_2O Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(30\ L \times 0{,}000021672\ \frac{kg\ N_2O}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 \times 5\ araç \times 12\ \frac{ay}{yıl} = 0{,}010337\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

Benzinli yönetici araçları için 2019 yılı toplam CO_2 miktarı:

$$4{,}0892+0{,}01652+0{,}010337=4{,}116057\ ton\ CO_2/yıl$$

-2019 yılı dizel personel ve servis araçları için oluşan toplam karbon ayak izi miktarı;

Araç başına aylık 75 L yakıt tüketimi olan 9 adet dizel personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$9 \text{ araç} \times 75 \frac{\text{L}}{\text{araç} \times \text{ay}} \times 12 \text{ ay/yıl} = 8100 \text{ L/yıl dizel yakıt}$$

Araç başına aylık 125 L yakıt tüketimi olan 18 adet dizel personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$18 \text{ araç} \times 125 \frac{\text{L}}{\text{araç} \times \text{ay}} \times 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}} = 27000 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \text{ dizel yakıt}$$

Araç başına aylık 52,2 L yakıt tüketimi olan ve taşeron firma tarafından hizmet yolu ile temin edilen 50 adet dizel servis aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$50 \text{ araç} \times 52{,}5 \frac{\text{L}}{\text{araç} \times \text{ay}} \times 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}} = 31500 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \text{ dizel yakıt}$$

Dizel personel ve servis araçlarının 2019 yılı içerisinde ortalama yakıt yüketim miktarı:

$$8100 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} + 27000 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} + 31500 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} = 66600 \frac{\text{L}}{\text{yıl}}$$

CO_2 Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(66600 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \times 2{,}676492 \frac{\text{kg}CO_{2\,eq}}{\text{L}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 178{,}2543 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

CH_4 Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(66600\,\frac{L}{yıl}\ \times 0{,}0003612\ \frac{kg\,CH_4}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 28 = 0{,}67356 \text{ ton } CO_{2\ eq}/yıl$$

N_2O Emisyon Miktarı (2019):

$$\frac{\left(66600\,\frac{L}{yıl}\ \times 0{,}000021672\ \frac{kg\,N_2O}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 = 0{,}38249 \text{ ton } CO_{2\ eq}/yıl$$

Dizel personel ve servis araçlarının 2019 yılı toplam CO_2 miktarı:

$$178{,}2543+0{,}67356+0{,}38249=179{,}31035 \text{ ton } CO_{2\ eq}/yıl$$

Çizelge 3.2. de belirtildiği üzere, 2020 yılında ulaşım amacı ile kullanılan;

-7 adet benzin/hibrit araç başına 78,75 L/ay yakıt tüketimi olan yönetici aracı,
-2 adet benzinli araç başına 66,67 L/ay yakıt tüketimi olan personel aracı,
-17 adet dizel araç başına 70 L/ay yakıt tüketimi olan personel aracı,
-50 adet dizel araç başına 208,3 L/ay yakıt tüketimi olan servis aracı bulunmaktadır. 2020 yılında yaşanan Covid-19 pandemisi ile servis araçlarında max kişi sayısının yarısı kadar doluluk ve az kişinin seyahat edebildiği personel araçlarının kullanımlarının atması gerçekleşmiştir.

2020 yılı içinde aylık olarak ortalama olan veriler ile Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörleri dikkate alınarak,

-2020 yılı benzinli yönetici ve personel araçları için oluşan toplam karbon ayak izi miktarı;

Araç başına 78,75 L/ay yakıt tüketimi olan 7 adet benzinli personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$7 \text{ araç} \times 78{,}75 \frac{\text{L}}{\text{araç} \times \text{ay}} \times 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}} = 6615 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \text{ benzin}$$

Araç başına 66,67 L/ay yakıt tüketimi olan 2 adet benzinli personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$2 \text{ araç} \times 66{,}67 \frac{\text{L}}{\text{araç} \times \text{ay}} \times 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}} = 1600{,}08 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \text{ benzin}$$

Benzinli yönetici ve personel araçları için 2020 yılı toplam CO_2 miktarı:

$$6615 + 1600{,}08 = 8215{,}08 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \text{ benzin tüketimi}$$

CO_2 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(8215{,}08 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \times 2{,}2717926 \frac{\text{kg } CO_{2\,eq}}{\text{L}}\right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 18{,}6629 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

CH_4 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(8215{,}08 \frac{\text{L}}{\text{yıl}} \times 0{,}00032782 \frac{\text{kg } CH_4}{\text{L}}\right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} \times 28 = 0{,}07541 \text{ ton } CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

N_2O Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(8215{,}08\ \frac{L}{yıl} \times 0{,}000021672\ \frac{kg\ N_2O}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 = 0{,}04718\ ton\ CO_{2\ eq}/yıl$$

Benzinli yönetici araçları için oluşan 2019 yılı toplam CO_2 miktarı:

$$18{,}6629 + 0{,}07541 + 0{,}04718 = 18{,}78549\ ton\ CO_2/yıl$$

-2020 yılı dizel personel ve servis araçları için oluşan toplam karbon ayak izi miktarı;

Araç başına aylık 70 L yakıt tüketimi olan 17 adet dizel personel aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$17\ araç \times 70\ \frac{L}{araç \times ay} \times 12\ \frac{ay}{yıl} = 14280\ \frac{L}{yıl}\ dizel\ yakıt$$

Araç başına aylık 208,3 L yakıt tüketimi olan ve taşeron firma tarafından hizmet yolu ile temin edilen 40 adet dizel servis aracının yıllık tükettiği yakıt miktarı:

$$40\ araç \times 208{,}3\ \frac{L}{araç \times ay} \times 12\ \frac{ay}{yıl} = 99984\ \frac{L}{yıl}\ dizel\ yakıt$$

Dizel personel ve servis araçlarının 2020 yılı içerisinde ortalama yakıt yüketim miktarı:

$$14280\ \frac{L}{yıl} + 99984\ \frac{L}{yıl} = 114264\ \frac{L}{yıl}$$

CO_2 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(114264\ \frac{L}{yıl} \times 2{,}676492\ \frac{kgCO_{2\ eq}}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} = 305{,}8267\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

CH_4 Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(114264\ \frac{L}{yıl} \times 0{,}0003612\ \frac{kg\ CH_4}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 28 = 1{,}1556\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

N_2O Emisyon Miktarı:

$$\frac{\left(114264\ \frac{L}{yıl} \times 0{,}000021672\ \frac{kg\ N_2O}{L}\right)}{1000\ \frac{kg}{ton}} \times 265 = 0{,}6562\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl}$$

Dizel personel ve servis araçlarının 2020 yılı toplam CO_2 miktarı,

$$305{,}8267 + 1{,}1556 + 0{,}6562 = 307{,}6385\ \text{ton}\ CO_{2\ eq}/\text{yıl'dır.}$$

Tesiste oluşan CH_4, N_2O emisyonları için karbon eşdeğeri miktarları ve CO_2 emisyonu değerleri Çizelge 4.1.'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2019 ve 2020 yılı CO_2 ve CH_4, N_2O emisyonlarının CO_2 eşdeğeri miktarları

Kaynak	Yıl	CO_2 (ton/yıl)	CH_4 ($CO_{2\ eq}$ ton/yıl)	N_2O ($CO_{2\ eq}$ ton/yıl)	Toplam CO_2 (ton/yıl)
Su tüketimi ve atıksu oluşumu	2019	11,6648	69,9888	17,348	99,002
	2020	7,9968	47,9808	11,8932	67,8708
Elektrik tüketimi	2019	13 056,806	-	-	13 056,806
	2020	10 677,767	-	-	10 677,767
Doğalgaz kullanımı	2019	1 290,88	3,221	0,61	1 294,711
	2020	942,6056	2,352	0,445	945,4026
Tehlikeli atıklar	2019	0,4242	-	-	0,4242
	2020	0,2157	-	-	0,2157
Evsel atıklar	2019	747,0431	-	-	747,0431
	2020	36,34	-	-	36,34
Kağıt karton atıklar	2019	11,6371	-	-	11,6371
	2020	6,2139	-	-	6,2139
Plastik atıklar	2019	1 108,2567	-	-	1 108,2567
	2020	860,65417	-	-	860,65417
Benzinli araçlar	2019	4,0892	0,01652	0,010337	4,116057
	2020	18,6629	0,07541	0,04718	18,78549
Dizel yakıtlı araçlar	2019	178,2543	0,67356	0,38249	179,31035
	2020	305,8267	1,1556	0,6562	307,6385
TOPLAM	2019	-	-	-	16 501,306507
	2020	-	-	-	12 920,88816

$CO_{2\ eq}$ olan emisyon faktörleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda tesisin üretime başladığı andan itibaren üretim sırasında tüketilen yakıtlar ve elektrik, su tüketimi, tüm atıklar olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Atıksu oluşumu, doğalgaz tüketimi ve araçlarda bulunan yakıt tüketimi kaynaklı CO_2 ile CH_4 ve N_2O kaynaklı $CO_{2\ eq}$ biriminde hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda Çizelge 3.2.'de bulunan

veriler ve Çizelge 3.3.'teki emisyon faktörleri yardımı ile 2019 yılı içerisinde 16 501,306 ton $CO_{2\ eq}$, 2020 yılı içerisinde ise $CO_{2\ eq}$ 12 907,12649 ton olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tesiste 2019 yılında normal seyrinde devam eden bir üretim faaliyeti varken, 2020 yılında Mart ayı itibariyle karşılaşılan küresel virüs salgını sebebi ile üretimde yavaşlama, esnek çalışma uygulaması, tedarikçilerin üretimlerini durdurması gibi nedenler ile 2019 yılına göre daha az tüketim gerçekleşmiştir. Sonuç olarak 2019 yılında oluşan karbon ayak izi 2020 yılında %21,8 daha az sera gazı emisyonu oluşmuştur.

4.7. Karbon Ayak İzinin Azaltımı

Tesis sahası içerisinde 173 adet farklı özelliklerde ve türde ağaç bulunmaktadır. Ağaçlar fotosentez yolu ile CO_2'i besin olarak kullanır ve O_2 salınımı yapar. Bu esnada absorbe edilen CO_2 miktarı ağacın yaşına ve türüne göre farklılık göstermektedir. Bir ağacın ortalama olarak yıllık emisyon azaltım miktarı 11 kg'dır (Bekiroğlu 2011).

$$\frac{173\ \text{Ağaç} \times 11\ \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 1{,}903\ \frac{\text{ton}CO_2}{\text{yıl}}$$

Tesis alanı içerisinde bulunan 173 ağaç bir yıl boyunca 1,903 ton CO_2 absorbe etmektedir.

Tesisin 2019 yılında gerçekleştirdiği üretimi sırasında 16501,296 ton CO_2 emisyonu oluşmaktadır. Ağaçlar tarafından fotosentez amacıyla absorbe edilen CO_2 hesaba katıldığında yıllık olarak atmosferde kalan CO_2 miktarı hesaplanmıştır.

$$16501{,}296\ \text{ton}\ CO_2 - 1{,}903\ \text{ton}\ CO_2 = 16499{,}393\ \text{ton}\ CO_2$$

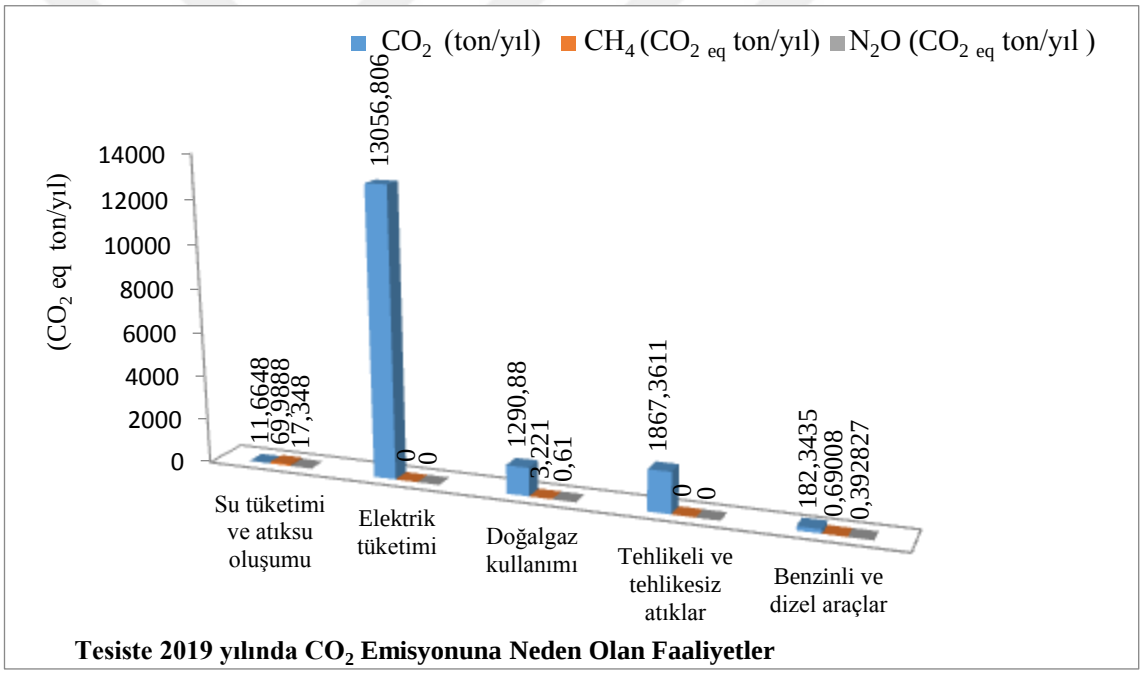
Kullanılmış ambalaj atıklarının geri dönüşümü ile CO_2 emisyonu azaltımı gerçekleşmektedir. Kâğıt üretimi için tüketilen enerji, geri kazanım için tüketilen enerjiden fazladır. Bu sebeple 1 ton kullanılmış kâğıt geri dönüşümüyle 36 ton CO_2

emisyonunun oluşumu engellenmektedir (Bekiroğlu 2011). 2019 yılında tesis genelinde 12 540 kg kâğıt karton ambalaj geri dönüşüme gönderilmiştir.

$$12540 \text{ kg Kağıt Karton} \times \frac{\text{ton}}{1000\text{kg}} \times 36 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} = 451{,}44 \frac{\text{ton}CO_2}{\text{yıl}}$$

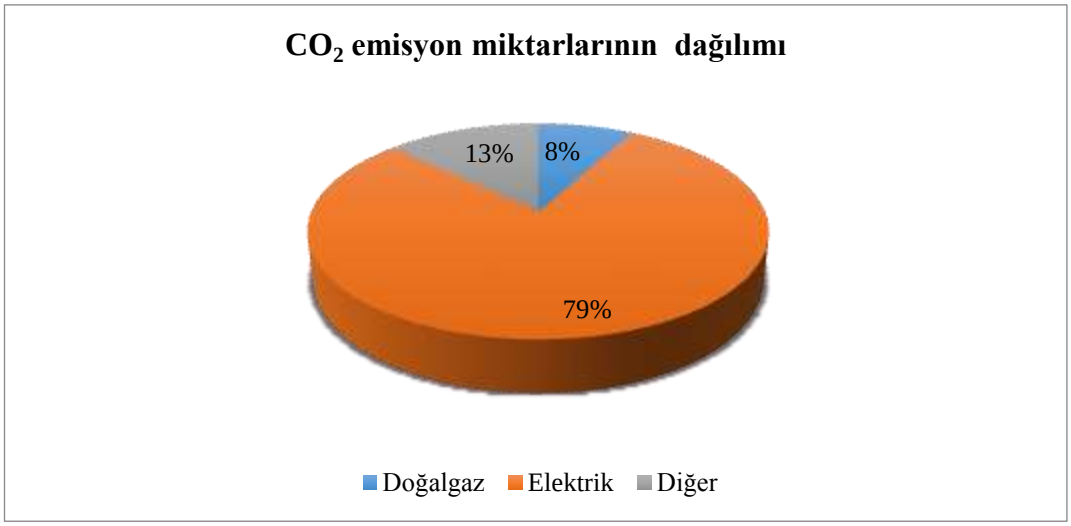
2019 yılı içinde tesis genelinde oluşan kâğıt-karton ambalajlarının geri dönüşümü ile 451,44 ton CO_2 oluşumu engellenmiştir.

Hesaplamalar sonucunda 2019 yılında Çizelge 4.1.'de bulunan miktarların grafik üzerinde gösterimi Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



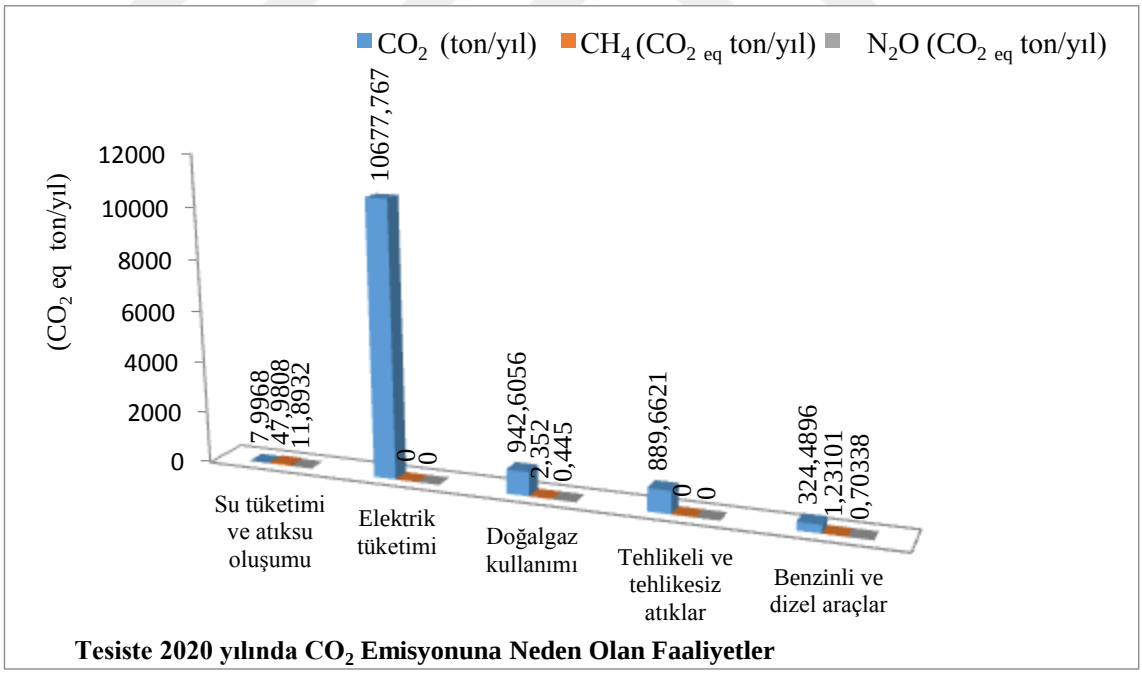
Şekil 4.1. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2019 yılı CO_2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi

HAİDP' de belirtilen Tier 1 yaklaşımına göre; doğalgaz tüketimi, elektrik kullanımı, su kullanımı, oluşan atıksu miktarı, tehlikeli ve tehlikesiz atıklar ve araçlardan kaynaklanan emisyonlar bulunmaktadır. CO_2 emisyon miktarlarının kapsamlara göre dağılımı Şekil 4.2.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.2. 2019 yılı CO_2 emisyon miktarlarının dağılımı

Hesaplamalar sonucunda 2020 yılında Çizelge 4.1.'de bulunan miktarların grafik üzerinde gösterimi Şekil 4.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Tüm faaliyetlerden kaynaklanan 2020 yılı CO_2 eşdeğeri miktarlarının grafiksel gösterimi

HAİDP'de belirtilen Tier 1 yaklaşımına göre; doğalgaz tüketimi, elektrik kullanımı, su kullanımı, oluşan atıksu miktarı, tehlikeli ve tehlikesiz atıklar ve araçlardan kaynaklanan emisyonlar bulunmaktadır. CO_2 emisyon miktarlarının kapsamlara göre dağılımı Şekil 4.4.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. 2020 yılı CO_2 emisyon miktarlarının dağılımı

4.8. Yenilenebilir Enerji ile CO_2 Emisyon Miktarı Azaltımının Hesaplanması

Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere 2019 yılında oluşan toplam CO_2 emisyonunun %79'u Şekil 4.4.'te görüldüğü üzere 2020 yılında oluşan toplam CO_2 emisyonunun %88'i elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bursa ili konumu itibariyle yıllık ortalama güneşlenme süresi 6,01-6,50 saat/gün'dür (Anonim 2020ö). Bu sebeple, koşulların uygun olması durumunda tesis çatısının 11 000 m^2'lik bölümüne yenilenebilir bir enerji türü olan fotovoltaik güneş panellerinin kurulması planlanmaktadır. Güneş enerjisinin tercihinde en önemli etken tükenmeyen bir kaynak olması ve karbon salınımına sebep olmamasıdır (Altıöz 2019). Tesisin Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alması ve çatısının bu sistemin kurulumuna uygun olması da güneş enerjisinin diğer tercih edilme sebepleridir.

Tesisin çatısında güneş enerjisi sistemi için ayrılacak 11 000 m^2 alana ilk 10 yıl %90 performans garantisi, 25 yıl boyunca %80 güç verimi garantisi sunan 1,640 m ve 0,99 m

boyutlarında 325 W'lık güneş paneli kurulumu yapılması planlanmaktadır (Anonim 2020p). Kurulumu planlanan panelin özellikleri Çizelge 4.2.'te bulunmaktadır.

Çizelge 4.2. Fotovoltaik güneş paneli özellikleri

Ürün Parametresi	**Özelliği**
Hücre Tipi	Monokristal
Nominal Güç	325 W
Açık Devre Voltajı	37,8 V
Kısa Devre Akımı	10,18 A
Nominal Güç Voltajı	31,4 V
Nominal Güç Akımı	9,87 A
Boyut	1640 x 990 x 35 (mm)
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 VDC
Ağırlık	19 kg
Fiyat	123 €

Çizelge 4.2.'te belirtilen özelliklere sahip monokristal güneş panellerini 11 000 m^2 lik alana 2'şer sıra halinde herhangi bir arıza durumunda kolay müdahele etmek amacıyla aralarında 1 m boşluk kalacak şekilde yerleştirilmesi durumunda,

$$(108 \times 65) m^2 \text{ çatı alanı} \div (1{,}640 \times 0{,}99) \frac{m^2}{1 \text{ adet}} \text{ güneş paneli} \cong 4324 \text{ adet}$$

Tesis çatısına dış kenar yollar, güneş panelleri arası yollar ve tesiste bulunan makinelere ait bacaların olduğu bölgelerdeki boşluklar hesaba katılarak 4 324 adet güneş paneli yerleştirilmesi sağlanacaktır.

Bursa ili güneşlenme süresi yıllık ortalama 6,3 saat/gün kabul edilirse, bir panelden 25 yıl boyunca % 90 performans garantisi ile elde edilecek günlük enerji miktarı,

$$325 \text{ W} \times 6{,}3 \frac{h}{\text{gün}} \times \frac{90}{100} = 1842{,}75 \text{ Wh/gün}$$

4 324 adet güneş panelinden elde edilecek yıllık enerji miktarı,

$$4324 \text{ adet} \times 1842{,}75 \ \frac{\text{Wh}}{\text{adet} \times \text{gün}} \times 365 \ \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 2908338{,}615 \text{ kWh/yıl}$$

Tesiste 2019 yılı toplam elektrik tüketimi 15 253 278 kWh/yıl'dır. Tesiste kurulumu sağlanacak 4324 adet güneş panelinden yıllık yaklaşık olarak 2 908 339 kWh elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Tesis 2019 yılında tüketilen elektriğin yaklaşık olarak %19'unu güneş enerjisinden temin etmiş olacaktır.

Organize Sanayi Bölgesi (OSB) 2020 yılı Kasım ayı tarifesine göre elektrik birim fiyatı 0,450861 TL/kWh'tir (Anonim 2020r). Hesaplama yapılırken 2020 yılı Kasım ayında geçerli olan fiyat tarifesi ortalama olarak kabul edilmiş ve tüm yıl boyunca bu fiyat geçerli olması durumunda bir yıl boyunca üretilecek elektrik enerjisi tüketim maliyeti tasarrufu hesaplanmıştır.

$$2908338{,}615 \frac{\text{kWh}}{\text{yıl}} \times 0{,}450861 \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} \times \frac{1 \text{ €}}{9{,}32 \text{ TL}} = 140692{,}753 \text{ €/yıl}$$

Tesis 2020 yılı Kasım ayındaki elektrik tarifesine göre yıllık olarak yaklaşık 140 693 € enerji tüketim maliyetinden tasarruf edecektir.

Güneş panelleri kurulumu için güneş panelleri maliyeti (Anonim 2020p),

$$4324 \text{ adet} \times 123 \frac{\text{€}}{\text{adet}} = 531852 \text{ €}$$

Güneş panellerinin çatı üstü montajı için tesis bünyesinde istihdam etmekte olduğu mühendisler görev alacak olup kurulum için ayrıca montaj maliyeti oluşmayacaktır.

Güneş paneli konstrüksiyonunda kullanılacak çerçeveler 6 adet güneş panelini tutacak şekilde olup tanesi 139 €'dan toplam 721 tane çerçevenin maliyeti 100 219 €'dur (Anonim 2020p).

Güneş panellerinin bağlantısı için birim fiyatı 1,82 €/m olan kablolardan yaklaşık 10 000 m kullanılacak olup toplam maliyet 18 200 €'dur (Anonim 2020p).

Seri bağlı güneş panelleri için birim fiyatı 536,48 € olan 3 000 Watt akıllı tam sinüs inverterdan 253 adet kullanılacak olup toplam fiyatı 135 730 €'dur (Anonim 2020p). Ana sistem hat sayacı için 238,51 € maliyet oluşmaktadır (Anonim 2020s).

Sistem kurulumu için toplam maliyet,

$$531852\ € + 100219\ € + 18200\ € + 135730\ € + 238{,}51\ € = 786239{,}51\ €$$

Tesiste kurulumu yapılacak olan güneş panelleri için ilk yatırım maaliyeti yaklaşık 786 240 €'dur.

$$786240\ € \div 140692{,}753\ \frac{€}{\text{yıl}} = 5{,}58\ \text{yıl}$$

Tesiste güneş enerjisi teknolojisinin amortisman süresi yaklaşık olarak 5,5 yıldır. Bu süre sonrasında OSB'nin elektrik fiyat tarifesindeki değişimlere göre elektrik enerjisi tüketimi maliyetinden tasarruf edilmiş olacaktır.

4 324 adet güneş panelinden yıllık olarak elde edilecek enerji miktarı 2 908 338,615 kWh'tir. Çizelge 3.3.'te belirtilen karbon emisyon faktörü dikkate alınarak,

$$\frac{\left(2908338{,}615\ \text{kWh/yıl} \times 0{,}856\ \frac{\text{kg}CO_{2\,eq}}{\text{kWh}}\right)}{1000\ \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 2489{,}538\ \text{ton}\ CO_{2\,eq}/\text{yıl}$$

Yenilenebilir enerji olan güneş panellerinden elde edilecek enerji ile yıllık olarak yaklaşık 2 489,6 ton $CO_{2\,eq}$ emisyonunun atmosfere salımı engellenmiş olacaktır.

Farklı sektörlerde, farklı faaliyet verileri kullanılarak karbon ayak izi çalışmaları yapılmıştır. HAİDP'de bulunan kapsamlar dikkate alındığında yapılan çalışmalarda Kapsam 1 ve Kapsam 2 hesaplamaları yoğunluktadır. Bunun sebebi Kapsam 3 kategorisinde bulunan verilerin temin edilemeyecek zorlukta olmasıdır. Bu çalışmada tesiste ısınma amacıyla kullanılan doğalgaz tüketimi sırasında oluşan karbon emisyonları 2019 yılında 1 294,711 ton ve 2020 yılında ise 945,4026 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Tesiste aydınlatma, makinelerin çalışması, elektrikli araçların şarj olması gibi faaliyetler sırasında tüketilen elektrik enerjisi kaynaklı karbon emisyonları 2019 yılında 13 056,81 ton ve 2020 yılında ise 10 677,77 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Su kullanımı ve atıksu kaynaklı oluşan karbon emisyonları, tehlikeli ve tehlikesiz atıklardan kaynaklanan karbon emisyonları, tesiste bulunan araçların kullandığı fosil yakıtlar kaynaklı karbon emisyonları 2019 yılında 2 149,79 ton ve 2020 yılında ise 1 297,72 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır.

Özlem (2013) tarafından bir kağıt üretim fabrikasında 2011 yılına ait veriler baz alınarak üretim prosesi kaynaklı karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Tesis bölümleri için belirkenen kapsam ve sınırlar doğrultusunda denklemler oluşturulmuş ve karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Tesiste araçlarda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklı emisyon miktarı 25,372 ton $CO_{2\ eq}$, tesisin doğalgaz ve elektrik tüketimi kaynaklı emisyon miktarı 49 414,250 ton $CO_{2\ eq}$, kutu buhar tüketiminden kaynaklı olarak ise 5 490,472 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmada toplam karbon ayak izi miktarı ise yaklaşık olarak 98 948 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Tesiste üretimin tamamının hurda kâğıtlardan gerçekleşmesinden kaynaklı karbon yutağı olan ağaçların kesilmesinin de önüne geçmektedir.

Jochem ve Wolfram (2014) tarafından otomotiv endüstrisinde gerçekleştirilen çalışmada dolaylı emisyonlar olan; iş seyahatleri, lojistik süreçler, araç kullanımı ve bertarafı, tedarik zinciri faaliyetleri ele alınmıştır. 2014 yılındaki emisyon miktarı 0,048 milyon ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır.

Ford Mazda Motor şirketinde gerçekleştirilen karbon ayak izi hesaplaması sonucu 2014 yılında elektrik tüketimi kaynaklı emisyon miktarı 17 935 milyon ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır.

Sreng (2016) tarafından otomotiv endüstrisinde gerçekleştirilen karbon ayak izi çalışmasında yaşam döngüsü kapsamında değerlendirme yapılmış oluşacak karbon emisyonu hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Tesiste yılda bir milyon araç üretimi sırasında doğalgaz kaynaklı karbon emisyon miktarı 2 450,45 ton $CO_{2\ eq}$ olarak, elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon miktarı ise 1 478 235,91 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Tesiste her bir aracın üretimi için belirlenen faktör ile hesaplama yapılarak 1 700 000 ton $CO_{2\ eq}$ elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonların tamamını yenilenebilir bir enerji türünden elektrik eldesi sağlanarak yok edilebileceği belirtilmiştir.

Demirbaş (2018) tarafından bir ambalaj atıklarının geri kazanım tesisinde yapılan karbon ayak izi incelemesinde IBC tankların ve saç varillerin geri kazanım prosesleri incelenmiştir. Tesiste ulaşım faaliyetinden kaynaklanan emisyon miktarı 102 000 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Isınmadan faaliyeti sonucu doğalgaz tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı 30 726 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Tesiste elektrik tüketiminden kaynaklı 8,6 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Elektrik kullanılan bölümler sürekli faal olmaması sebebi elektrik tüketimi kaynaklı karbon emisyonu oluşumu %0,1'lik paya sahiptir. Toplam 132 734,6 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanan emisyonların büyük bölümü ulaşımdan kaynaklanmakta olup, araçların hacim olarak büyük ve yenileriyle değiştirilmesi ile atık alım sıklığının azaltılması ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarını azaltacaktır.

Güller (2018) tarafından Muğla'da evsel nitelikli bir atıksu arıtma tesisinde ileri biyolojik atıksu arıtımından kaynaklı 2015 ve 2016 yıllarına ait karbon ayak izi hesaplaması HAİDP klavuzu ve CCALC2 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Arıtma tesisinde biyolojik, kimyasal ve enerji kaynaklı faaliyetler sonucu oluşan direk ve dolaylı karbon emisyon hesaplaması yapılmış ve biyogaz üzerimi ile engellenen karbon emisyonları hesaplanmıştır. Buna göre 2015 yılına ait direk emisyonlar 77 886,5 ton

$CO_{2\ eq}$, dolaylı emisyonlar 960,73 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. 2016 yılında ise direk emisyonlar 81 786,4 ton $CO_{2\ eq}$, dolaylı emisyonlar 1 118,99 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışığında karbon emisyonları en fazla evsel atıksudan ve enerji tüketiminden kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tesise gelen atıksu debisinin armasından kaynaklı karbon emisyonları da artmış olduğu sonucuna ulaşılırken 2015 yılında biyogaz üretiminin olması ile engellenen karbon emisyonu olurken 2016 yılında biyogaz üretiminin olmaması ve debinin artması ile karbon ayak izinde de artış olduğu gözlemlenmiştir.

Şahin (2019) tarafından çimento üretim fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada 2017 yılına ait faaliyet verileri ile emiyon miktarı toplam 3 499 021 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Tesiste oluşan karbon emisyonlarının %62'si klinker üretiminden kaynaklamakta olduğu, %10'u ise taş kömürü kullanımı kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple kömür kullanımı yerine emisyon faktörü düşük olan doğalgaz kullanımı ile ve atıktan türetilmiş yakıt miktarının arttırılması ile karbon emisyon mikarında azalma gözlenebileceği tespit edilmiştir.

Ahmetoğlu (2019) tarafından inşaat sektöründe inşaat ve işletme aşamasındaki bir AVM projesinde 2015-2018 yılları arasında HAİDP dahilinde, DEFRA ve akademik çalışmalardaki emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılmış yıllık olarak oluşan CO_2 emisyon miktarları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre emisyon azaltım önerileri sunulmuştur.

Yavuz (2020) tarafından başta enerji ve gıda olmak üzere farklı alanlarda tüketim gerçekleşen turizm sektöründe faaliyette olan beş yıldızlı bir otelde karbon ayak izi hesaplanmıştır. Antalya ilinde bulunan örnek olarak ele alınan otelde son 5 yıl boyunca otelin elektrik, su ve diğer enerji kaynakları ele alınarak 2019 yılında 6 596,0567 ton ile en fazla CO_2 emisyonunun atmosfere salındığı sonucuna ulaşılmıştır. Karbon ayak izi azaltma önerilerinde bulunulmuştur.

Farklı sektörlerde yapılan karbon ayak izi çalışmaları verileri Çizelge 4.3.'te bulunmaktadır.

Çizelge 4.3. Farklı sektörlere ait çalışma verileri

Çalışma	Sektör Adı	Toplam emisyon (ton $CO_{2\ eq}$)	Tier (1/2/3)
Özlem, (2013)	Kâğıt Üretimi	98 948	Hepsi
Jochem ve Wolfram, (2014)	Otomotiv	48 000	Tier 3
Ford Mazda Motor, (2014)	Otomotiv	17 935 milyon	Tier 2
Sreng (2016)	Otomotiv	3 194 998	Hepsi
Demirbaş (2018)	Atık Geri Kazanımı	132 735	Hepsi
Güller (2018)	Atıksu Arıtma Tesisi	78 847 (2015 yılı)	Hepsi
		83 905 (2016 yılı)	Hepsi
Şahin (2019)	Çimento Üretimi	3 499 021	Tier 1/2
Yavuz (2020)	Turizm Sektörü	6 596	Hepsi
Bu Çalışma	Otomotiv Yan Sanayi	16 501 (2019)	Tier 1
		12 921 (2020)	

Daha önce yapılan çalışmalarda ve akademik çalışmalarda görüldüğü üzere kağıt üretim sanayi, otomotiv sanayi, atık geri kazanımı, atıksu arıtımı, çimento sanayi, turizm sektörü, tekstil sektörü, inşaat sektörü gibi farklı sektörlerde karbon ayak izi belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiş olup sera gazlarından biri olan karbon emisyonlarını azaltmak için öneriler sunulmuştur. Her sektör için faaliyet detayları, kapasiteler ve HAİDP detayları farklılık göstermektedir. Farklı sektörde veya sanayi kollarında karbon emisyonu oluşturan faaliyet verileri ile Tier yaklaşımları dahilinde değerlendirmeler yapılmıştır. Karbon ayak izi hesabında tüm kapsamlara ait verilere ulaşılması ile emisyon salınımı konusunda daha kesin sonuçlar elde edilmesi mümkün olmaktadır.

İncelenen çalışmalarda turizm sektörü hariç, otomotiv yan sanayi far üretim faaliyeti sonucu oluşan karbon emisyon miktarı diğer tüm sektörlere kıyasla çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Dünya genelinde faaliyette olan büyük üne sahip otomobil veya motor üreten firmalar tarafından karbon ayak izine dair çalışmalar bulunmaktadır. Ülkemizde otomotiv sanayinde karbon ayak izinin tespitine dair çalışmalar kısıtlı olmakla birlikte Bursa'da otomotiv yan sanayinde karbon ayak izi çalışmalarının bulunmaması dolayısı ile çalışma konusu olarak Bursa'da faaliyette bulunan far ve arka stop lambası üretimi gerçekleştirilen örnek bir firma seçilmiştir.

Bu çalışmada, otomobillerin küçük fakat önemli bir parçası olan farların üretimi sırasında 2019 ve 2020 yılları boyunca atmosfere salınan karbon emisyon miktarının hesabı yapılmıştır.

2019 yılı boyunca doğalgazın tüketimi sonucunda oluşan karbon emisyonu yaklaşık olarak 1 295 ton $CO_{2\ eq}$ ve 2020 yılı boyunca tüketilen doğalgazın sebep olduğu karbon emisyonu yaklaşık 945 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde otomotiv sektöründe otomobil üretimi yapılan örnek bir fabrikada yıllık yaklaşık 1 milyon araç üretimi sırasında oluşan karbon ayak izinin tespiti konusunda Sreng (2016) tarafından yapılan bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen far ve arka stop üretimi yapan firmada ise yılda yaklaşık olarak 1 milyon araca eklenebilecek far ve arka stop ekipmanları üretimi gerçekleştirilmekte olup iki araştırma verileri karşılaştırılmıştır. Otomotiv sektöründe araç üretimi yapılan örnek bir firmadaki doğalgaz tüketimi yaklaşık 2 450,5 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmıştır. Otomobilin üretimi sırasında doğalgaz tüketimi kaynaklı olaşan karbon emisyonlarının yaklaşık yarısı otomotiv yan sanayinde oluşarak atmosfere verilmektedir.

Otomotiv sektöründeki örnek çalışmada elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon miktarı ise 14 782 35,91 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanırken bu çalışma kapsamında otomotiv yan sanayi sektöründe elektrik tüketimi kaynaklı oluşan karbon emisyonu 2019 yılında 13 056,806 ton $CO_{2\ eq}$ ve 2020 yılında 10 677,767 ton $CO_{2\ eq}$ olarak hesaplanmış ve otomotiv sektöründe yapılan çalışmanın 2019 verilerine göre yaklaşık %9'u 2020 verilerine göre ise %8'si kadar emisyon atmosfer ortamına verildiği sonucuna ulaşılmıştır. Elektrik tüketim verisinin otomotiv yan sanayi sektöründe, otomotiv ana sektörüne kıyasla çok daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri ana

sektörde 2015 yılı verileri, yan sektör olan bu çalışmada ise 2019 ve 2020 yılı verileri kullanılmasıdır. Diğer bir sebebi ise gelişmiş teknoloji ile daha yüksek enerji tasarrufu olan makinelerin kullanılması ve daha küçük hacimli ürün oluşturulması kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ

Doğal kaynakların varlığının her geçen gün azaldığı günümüz koşullarında, bu kaynakların insanların sürdürülebilir olmayan faaliyetleri sonucunda tüketilmesi ile atmosfer ortamında bulunan sera gazı kaynaklı emisyonların da artışı söz konusu olmaktadır. Sera gazlarından olan karbon emisyonlarının artışı sadece yerel olmayıp atmosferi etkileyerek iklim değişikliği yaratmakta ve zincirleme olarak tüm dünya insanları da iklim değişikliği ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumun farkında olan insanoğlu BMİDÇS ve Kyoto Protokolü ile sera gazı oluşumunun azaltılması için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olması dolayısı ile protokol çerçevesinde emisyon azaltım sorumluluğu bulunmamakla birlikte 2030 yılına kadar belirlenen referans senaryoya göre %21'e kadar sera gazı emisyonlarını azaltacağını bildirmiştir (Binboğa 2017).

Bu çalışmada, sera gazları, küresel ısınma, iklim değişikliği, karbon ayak izi kavramları açıklanmış ve hızla gelişen sektörlerden biri olan otomotiv yan sanayi sekötöründe 2019 ve 2020 yılları içerisinde oluşacak karbon ayak izi miktarı örneklemesi yapılmıştır. Hesaplama aşaması küresel olarak kabul gören emisyon faktörleri çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Otomobil farı üreten firmadan 2019 ve 2020 yılına ait tüketim verileri elde edilerek hesaplamalar IPCC Tier 1 yaklaşımına göre yapılmıştır. Dünya genelinde birçok karbon ayak izi miktarı hesaplaması yapılan örnek bulunmaktadır. Bu çalışmada otomotiv yan sanayinde karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Karbon ayak izi, doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi, su tüketimi ile atıksu oluşumu, atıklar ve ulaşım kaynaklı veriler ışığında hesaplanmıştır. Tesis bünyesindeki çalışanların yurt içinde veya yurt dışında yaptığı seyahatler, taşeron çalışanların faaliyetleri sonucu oluşan karbon emisyonları gibi dolaylı emisyon kaynak verilerin temin edilememesi dolayısıyla çalışma dahilinde hesaplanmamıştır.

Çalışma kapsamında HAİDP, GHG ve akademik çalışmalar sonucu elde edilen emisyon faktörlerinden yararlanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Örnek olarak incelenen tesisin, 2019 yılında far üretimi faaliyeti sırasında doğalgaz tüketiminden kaynaklanan 1 294,711 ton $CO_{2\ eq}$, elektrik enerjisi tüketimi kaynaklı 13 056,806 ton $CO_{2\ eq}$, su tüketimi ve atıksu oluşumu kaynaklı 99,002 ton $CO_{2\ eq}$, atık kaynaklı 1 867,3611 ton $CO_{2\ eq}$, benzinli ve dizel yakıtlı şirkete ait araçlar kaynaklı 183,426407 ton $CO_{2\ eq}$ emisyon atmosfer ortamına salındığı sonucu ile birlikte, toplamda 16 501,306 ton $CO_{2\ eq}$ emisyonu oluşmuştur. 2020 yılında far üretimi faaliyeti sırasında doğalgaz tüketiminden kaynaklanan 945,4026 ton $CO_{2\ eq}$, elektrik enerjisi tüketimi kaynaklı 10 677,767 ton $CO_{2\ eq}$, su tüketimi ve atıksu oluşumu kaynaklı 67,8708 ton $CO_{2\ eq}$, atık kaynaklı 903,42377 ton $CO_{2\ eq}$, benzinli ve dizel yakıtlı şirkete ait araçlar kaynaklı 326,42399 ton $CO_{2\ eq}$ emisyon atmosfer ortamına salındığı sonucu ile birlikte, toplamda 12 921 ton $CO_{2\ eq}$ emisyonu oluşmuştur.

Ülkemizde sera gazı emisyonlarının artışının engellenmesi, karbon ayak izinin düşürülmesi için gerek yasal mevzuatlar gerek gönüllü faaliyetler ile çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışma çerçevesinde ele alınan tesiste oluşan sera gazı emisyonlarının tespiti ile farkındalık oluşturmak ve karbon ayak izi miktarının azaltılması için yapılması gerekenler aşağıda özet halinde verilmiştir:

- Tesiste elektrik tüketiminden kaynaklanan 13 056,81 ton $CO_{2\ eq}$ emisyon miktarının tesisten kaynaklanan tüm karbon emisyonunun %79'unu oluşturmaktadır. 2019 yılı verileri değerlendirildiğinde tesisin çatısına kurulacak güneş enerjisi sistemi ile elektrik tüketimi kaynaklı karbon emisyonundan yaklaşık olarak %19 oranında azalma sağlanacaktır.

- Tesis sınırları içerisinde bulunan 173 yetişkin ağaçtan yıllık yaklaşık olarak 2 ton $CO_{2\ eq}$ emisyonlarının absorplandığı sonucuna ulaşılmıştır. Karbon yutağı olarak bilinen ağaçların, tesis sınırları içerisindeki sayısının artmasıyla veya farklı bir arazide tesis adına yapılacak ağaçlandırma çalışması ile tesis üretim faaliyeti kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması sağlanmış olacaktır.

- Tesisin karbon emisyonu ile enerji tüketiminin azaltılması için; kullanım süresi uzun, enerji tasarrufu düşük olan makinelerin, enerji tasarrufu yüksek olan yeni makinelerle değiştirilmesi tesis hedefleri arasında yer alması sağlanmalıdır.

- Firma bünyesinde çalışanların 2019 yılında servis kullanımı yoğunken, 2020 yılında Covid-19 pandemi koşullarının oluşması ile kendi araçları ve şirket araçlarıyla işe geliş-gidişleri artış göstermiştir. Salgın hastalık sürecinde şehir dışı yolculuklar için de hava yolu ve kara yolu seferlerinde oluşan aksamalar ile iptaller sebebiyle şirket araçlarının kullanımı artmıştır. Koşulların iyileşmesinin ardından servis araçlarının kullanılarak toplu taşıma ile daha az aracın faaliyette olması ve fosil yakıt tüketiminin azalması ile karbon ayak izinin de azalması sağlanmalıdır.

- Firmanın yine aynı OSB sınırları içinde bir şubesi daha bulunmakta olup şirket araçları ile merkez ve şube arası gidiş-geliş yapılması söz konusu olmaktadır. Tesis araçlarının bakımlarının yaptırılarak kullanılması veya hiç kullanılmayarak fosil yakıt kaynaklı karbon ayak izi oluşumunun tamamen önüne geçilmesi adına bisiklet kullanımına geçilmesi sağlanmalıdır.

- Firma bünyesinde atıkların türlerine göre ayrı olarak kodlanmış atık kumbaralarında biriktirilmektedir. 12 Temmuz 2019 tarihinde 30829 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürülüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği kapsamında faaliyetini devam ettirmesi gerekmektedir. Tesiste oluşan tüm tehlikesiz atıkların geri dönüşüm/geri kazanımının sağlanması için daha titiz ve detaylandırılmış atık ayrıştırma yapılması hem geri dönüşüme kazandırılan atık miktarını arttıracak hem de karbon ayak izi miktarı azaltılmış olacaktır. Örneğin bir ton kullanılmış alüminyum geri kazanımı ile 2 ton CO_2 ve 0,011 ton SO_2 emisyonunun daha az oluşmasına yardımcı olmaktadır. Yeniden hammadde üretmek için gerekli olan enerji aynı ürünü geri kazanırken üretilen enerjiden daha fazladır. Bu düşünce ile 1 ton kullanılmış kağıt geri dönüştürüldüğünde 17 yetişkin ağacın korunmasına katkı sağlanmış olmakla birlikte, 20 ailenin bir ay süre ile tüketeceği 4 100 kW/sa elektrik enerjisinden tasarruf edilebilmektedir.

Bir cam şişenin geri dönüşümü ile de 100 Watt'lık bir ampulün 1 saat kullanılması denginde enerjiden tasarruf edilmektedir (Anonim 2020ş). Bu sebeple maddenin, hammaddeden üretimi yerine geri dönüşümü/geri kazanımı ile daha fazla enerji ve doğal kaynak tasarrufu sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmetoğlu, S. 2019. İnşaat Sektöründe Karbon Ayak İzi ve Örnek Hesaplamalar. *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Akın, G. 2006. Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46 (2): 29-43.

Aksoy, C., Ketenoğlu, O., Kurt, L. 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Bölümü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 25, 29-41.

Akyel, Ö. 2009. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye'deki Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi,* Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, Ankara.

Altıöz, M. 2019. Binaların Çevresel Etkilerinin Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi: Kırklareli Örneği. *Yüksek Lisans Tezi,* Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Edirne.

Anonim, 2014a. Ford Lio Ho Motor Co. Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report. Taiwan, 15-20, 2014.

Anonim, 2014b. Jiangling Motors Corporation Ltd., Greenhouse Gas İnventory Report. China, 9-19, 2014.

Anonim, 2016. Otomotiv Yan Sanayi Konya'nın Yatırım ve İhracat Rakamlarının Arttırılması İçin Sektör Raporları Hazırlanması Projesi. KonyaTicaret Odası. Abigem. Konya.

Anonim, 2020a. Sera Etkisi Nedir?. http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sera-etkisi-nedir-(Erişim tarihi: 10.04.2020).

Anonim, 2020b. Karbon Döngüsü. https://www.semtrio.com/karbon-dongusu-(Erişim tarihi: 12.04.2020).

Anonim, 2020c. Türkiye Sera Gazı Emisyon İstatistiklerine Yakın Bakış. https://www.iklimhaber.org/turkiye-sera-gazi-emisyon-istatistiklerine-yakin-bakis/-(Erişim tarihi: 14.05.2020).

Anonim, 2020ç. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı. https://www.semtrio.com/cop24-birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-konferansi-(Erişim tarihi: 13.04.2020).

Anonim, 2020d. Tonlarca Metan Gazı Açığa Çıkıyor. https://www.yenisafak.com/teknoloji/tonlarca-metan-gazi-aciga-cikiyor-3429803-(Erişim tarihi: 13.04.2020).

Anonim, 2020e. Kuzey Kutbunda Metan Sızıntısı. https://www.bbc.com/turkce/ozeldosyalar/2012/05/120521_methane_arctic- (Erişim tarihi: 25.04.2020).

Anonim, 2020f. Küresel Isınma. https://tasavvufvebilim.wordpress.com/2015/09/24/kuresel-isinma/-(Erişim tarihi: 17.01.2020).

Anonim, 2020g. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, IPCC Özel Raporları. http://iklim.cob.gov.tr-(Erişim tarihi: 14.05.2020).

Anonim, 2020ğ. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı. http://www.havaizleme.gov.tr/-(Erişim tarihi: 02.03.2020).

Anonim, 2020h. Asit yağmurları nasıl oluşur? Etkileri nelerdir? https://www.haberturk.com/asit-yagmurlari-nedir-olusumu-ve-etkileri-nelerdir-hbrt-2522565-(Erişim tarihi: 05.06.2020).

Anonim, 2020ı. Avusturalya Yangınının Nedeni. https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/avustralya-yangininin-nedeni-ne-nasanin-cektigi-iddia-edilen-avustralya-fotografi-gercek-mi-5552729/-(Erişim tarihi: 08.04.2020).

Anonim, 2020i. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. www.cbs.gov.tr-(Erişim tarihi: 14.03.2020).

Anonim, 2020j. Çevre ve Şehirçilik Bakanlığı İklim Değişikliği. https://iklim.csb.gov.tr/-(Erişim tarihi: 21.03.2020).

Anonim, 2020k. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Montreal Protokolü. https://iklim.csb.gov.tr/montreal-protokolu-i-4364-(Erişim tarihi: 13.03.2020).

Anonim, 2020l. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye ve Diğer Ülkelerin Sera Gazı Emisyonlarının Karşılaştırılması. https://iklim.csb.gov.tr/turkiye-ve-diger-ulkelerin-sera-gazi-emisyonlarinin-karsilastirilmasi-i-4410-(Erişim tarihi: 13.03.2020).

Anonim, 2020m. ISO 14064 belgesi. https://www.isobelgesi.gen.tr/iso-14064-belgesi-nedir-nasil-alinir-dogrulamasi-nasil-ve-kim-tarafindan-yapilir-danismanlik-hizmetinde-neler-yapilir-(Erişim tarihi: 15.02.2020).

Anonim, 2020n. Parça Sektörü (Otomotiv Yan Sanayii) 2023 Vizyonu. TAYSAD Taşıt Araçları Parça Sanayicileri Derneği Panel Raporu. https://tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek6a.pdf-(Erişim tarihi: 14.05.2020).

Anonim, 2020o. Doğalgaz birim çevirme. http://dogalgaz-fatura.hesaplama.in/dogalgaz-fatura-hesaplama-(Erişim tarihi: 30.08.2020).

Anonim, 2020ö. Türkiye Ortalama Güneşlenme Süresi (1988-2017). https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx-(Erişim tarihi: 28.10.2020).

Anonim, 2020p. Fotovoltaik güneş paneli özellikleri, maaliyeti ve tüm yapı malzemeleri. https://www.ekonomiksolar.com-(Erişim tarihi: 01.11.2020).

Anonim, 2020r. Bursa Organize Sanayi Bölgesi Kasım 2020 birim fiyat listesi. http://www.bosb.org.tr/bosb-tuketim-0-tuketim_fiyat.html-(Erişim tarihi: 18.12.2020).

Anonim, 2020s. Güneş Paneli Sayacı. https://www.saralelektrik.com/urunler/indirimli-urunler/h7cx-au-n-dijital-sayac/-(Erişim tarihi: 06.12.2020).

Anonim, 2020ş. PAGÇEV Geri dönüşüm atık yönetimi piramidi. http://www.pagcev.org/geri-donusum-(Erişim tarihi: 18.12.2020).

Atabey, T. 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. *Yüksek Lisans Tezi,* Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ.

Aydın, G., Karakurt, İ., Aydıner, K. 2011. Antropojenik Metan Emisyonlarının Sektörel Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4(1): s. 42-51.

BBC, 2019. İklim Krizi: Grönland'daki bir buzul 115 yılda 100 metre inceldi. https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-49581007-(Erişim tarihi: 05.06.2020).

Bayraç, H. N. 2010. Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,*11(2): s. 243-245.

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, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Binnoğa, G. 2017. Sürdürülebilirlik Kapsamında Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları ve Türkiye'nin Durumunun İncelenmesi. *MCBÜ Sosyal Bilimler Dergisi.*15(4): s. 208-238.

Bozoğlu, B. 2016. Samimiyetsizlikler ve Umut Kırıntıları ile Dolu Paris İklim Zirvesi ve Türkiye'de Yapılması Gerekenler. https://baranbozoglu.com/kalemealdiklarimdetay/Samimiyetsizlikler-ve-umut-kirintilari-ile-dolu-Paris-iklim-zirvesi-ve-Turkiyede-yapilmasi-gerekenler/52-(Erişim tarihi: 05.06.2020).

Cerit Mazlum S. 2019. Küresel İklim Politikaları. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi, 2: s. 4-5.

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.

ÇŞB, 2014. Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 22.07.2014 tarih ve 29068 sayılı Resmi Gazete-(Erişim tarihi: 27.12.2020).

Demirbaş, F. 2018. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Dura, C. 1991. Çevre Sorunları ve Ekonomi, *Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınlar Dergisi,* 91: s. 68-91.

Erbil, S. 2015. Bir Otomobil Fabrikasında Karbon Envanterinin Oluşturulması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Evci Kiraz, E.D. 2019. İklim Değişikliğinin İnsan Sağlığına Etkileri. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi, 14: s. 6-8.

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.

Gür, N., Furuncu, Y. 2019. Küresel Otomotiv Sektörünün Değişimi ve Yerli Otomobil Projesinin Geleceği. *Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Yayınları*, 127(1): s. 17-59.

GHG, 2017. Greenhouse Gas Protocol, World Resources Institute. https://ghgprotocol.org/calculation-tools-(Erişim tarihi: 05.07.2020).

GHGP, 2014. Greenhouse Gas Protocol. Global Warming Potential Values. https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf -(Erişim tarihi: 15.01.2021).

IPCC, 2006. National Greenhouse Gas Inventories Vol:5 Waste, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

IPCC, 2014. Climate Change 2014. The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed., Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

İDEP, 2011. Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İDEP Projesi Ekibi, Ankara.

Kılıç, İ., Yaylı, B., Elekberov, A. 2018. Bursa Bölgesinde Faaliyet Gösteren Üç Adet Broyler İşletmesinin Karbon Ayak İzinin Tahminlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD*), 4(2): s. 224–230.

Jochem, H., Wolfram, T. 2014. Carbon Footprint Environment Sustainability Report. Volkswagen, pp: 126-129.

Michiel, R.J., Sirintornthep, T., Sonia, M.M.V., William, I., Graig, P., Riita, P., Can, W. 2006. Wastewater Treatment and Discharge. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5, pp: 12-27.

Mondal, P., Abhishek, K., Varun, A., Nitin, S., Prashant, V., Bhangale, U.D., Dinesh, T. 2011. Critical Review of Trends in GHG Emissions from Global Automotive Sector, İndia.

Oğuz, S. 2007. İklim Değişikliği ve Kuraklık. İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsü 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)

Pachauri, K. R., Meyer, L. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M.S., Yumurtacı, G., Gül, Ö. 2015. Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu. VI. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 5 Haziran 2015, İstanbul.

Sawant, S., Babaleshwar, B. 2015. A New Method of Assessment and Equations on Carbon Footprint, *J. Appl. Geology and Geophysics*, (3): pp: 52-59.

Sreng, R. 2016. Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayakizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya.

Talu N. 2019. Türkiye'de İklim Değişikliği ile Mücadele Politikalar, Yasal ve Kurumsal Yapı. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi. 4: s. 5-7.

Talu N. ve Kocaman H. 2019. Yerel İklim Eylem Planlaması ve Türkiye Pratikleri, İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi, 10: s. 6-7.

TEMA, 2020. Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Arşiv. http://tema.org.tr/web_14966-2_1/entitialfocus.aspx?primary_

id=639&type=2&target=categorial1&detail=single&sp_table=&sp_primary=&sp_table_extra=&openfrom=sortial-(Erişim tarihi: 27.07.2020).

Turan R. Ş., Karaer F. 2019. Bursa Osmangazi Belediyesi Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesabı ve İklim Değişikliği Uyum Çalışmaları. *Su Vakfı,* 4(1): s. 17-24.

Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. 2000. Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, 13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası, Ankara.

UNFCC, 2020. http://unfccc.int-(Erişim tarihi: 17.05.2020).

Uzunçakmak, M. 2014. Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi,* Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

Yavuz, A. B. 2016. Turizmde Karbon Ayakizi: Beş Yıldızlı Otel Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde

Zhan, X., Hu, Z., Wu, G. 2018. Greenhouse Gas Emission and Mitigation in Municipal Wastewater Treatment Plants. IWA Publishing, London, UK, 41 pp.