

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Karbon Ayak İzi Hesaplaması: Çimento Fabrika Örneği

Kübra KAHRAMAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Karbon Ayak İzi Hesaplaması: Çimento Fabrika Örneği

Kübra KAHRAMAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 16/10/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Doç. Dr. Fatma Elçin ERKURT (Danışman)
: Prof. Dr. Fuat BUDAK
: Doç. Dr. Rozelin AYDIN

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

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
GRAFİK DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. İklim Değişikliği ve Küresel Isınma	1
1.2. 1.5 °c Küresel Isınma Özel Raporu	3
1.3. Sera Gazları	4
1.3.1. Karbondioksit (CO ₂)	6
1.3.2. Metan (CH ₄)	7
1.3.3. Diazot Monoksit (N ₂ O)	8
1.3.4. Su Buharı (H ₂ O)	9
1.3.5. Ozon (O ₃)	10
1.3.6. Karbonmonoksit (CO)	11
1.3.7. Kloroflorokarbonlar ve Hidroflorokarbonlar (CFCs- HFCs)	11
1.3.8. Kükürt Hekzaflorür (SF ₆)	12
1.4. Sözleşme ve Protokoller	12
1.4.1. Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Konferansı- Stockholm Konferansı	12
1.4.2. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)	12
1.4.3. II. Dünya Çevre Zirvesi: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Environment and Development - UNCED)	13
1.4.4. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC- BMİDÇS)	14
1.4.5. Kyoto Protokolü	15
1.4.6. Paris Anlaşması	15
1.4.7. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)	16
1.4.8. Avrupa İklim Yasası	18
1.5. Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması (SKDM) (Carbon Border Adjustment Mechanism- CBAM)	18
1.6. Yaşam Döngü Analizi (YDA) (Life Cycle Assessment - LCA)	18
1.7. ISO 14064 Sera Gazı Standartı	19
1.8. Karbon Ayak İzi Kavramı	20

1.9. Çimento Sektörü ve Karbon Ayak İzi.....	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	25
2.1. Çimento Sektörü ve Diğer Sektörlerde Karbon Ayak İzi ile İlgili Yapılan Çalışmalar ...	25
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Hammadde Ocak İşletmeciliği Faaliyeti	29
3.1.2. Klinker Üretim Faaliyeti:	30
3.1.3. Atık Yakma ve Birlikte Yakma Faaliyeti:	33
3.1.4. Çimento Üretim Ünitesi	34
3.1.5. Paketleme Ünitesi	34
3.1.6. Çimento Üretiminde Oluşan Emisyonlar	34
3.2. Metod	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Kapsam 1 Emisyonları	41
4.1.1. Proses Kaynaklı CO ₂ Emisyon Hesaplaması.....	45
4.1.2. Tüketilen Yakıt ve Atıklardan Kaynaklı Emisyonların Hesaplanması	45
4.1.3. Motorin (Jeneratör) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	48
4.1.4. Motorin (İş Makinaları vb.) (Off road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	49
4.1.5. Benzin (El Aletleri (Hızar ve çim biçme makinası vb.)) (Off road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar.....	49
4.1.6. Şirket Araç Yakıtı (Benzin) (on road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	49
4.1.7. Şirket Araç Yakıtı (Motorin) (on road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	50
4.1.8. LPG Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	50
4.1.9. Propan Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar	51
4.1.10. CO ₂ Yangın Söndürücü Kaynaklı Emisyonlar.....	51
4.1.11. Soğutucu Gaz (R22) Kaynaklı Emisyonlar.....	51
4.1.12. Soğutucu Gaz- R407 C (Diflorometan) Kaynaklı Emisyonlar.....	52
4.1.13. Soğutucu Gaz- R407 C (Norflurane) Kaynaklı Emisyonlar	52
4.1.14. Soğutucu Gaz- R407 C (Pentafloroetan) Kaynaklı Emisyonlar.....	53
4.1.15. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	53
4.2. Kapsam 2 Emisyonları	56
4.2.1. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	57
4.3. Kapsam 3 Emisyonları	57
4.3.1. Üretime Yönelik Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Emisyonlar.....	61
4.3.2. Satışa Yönelik Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Emisyonlar	61
4.3.3. İş Seyahatlerinden Kaynaklı Emisyonlar	61
4.3.4. Ulaşım Faaliyetlerinden Kaynaklı Emisyonlar	62

4.3.5. Atık Oluşumundan Kaynaklı Emisyonlar	63
4.3.6. Su Tüketimi ve Oluşumundan Kaynaklı Emisyonlar.....	63
4.3.7. Otel Konaklamalarından Kaynaklı Emisyonlar	63
4.3.8. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	63
4.4. Kapsamlar ve Sonuçlar	66
4.5. Kapsam 1 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri.....	66
4.5.1. Klinker Üretim Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri.....	66
4.5.2. Jeneratör Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri	70
4.5.3. Şirket Araçları ve Off-Road Araç Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri	71
4.5.4. Yangın Söndürücü Gazların Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri	72
4.5.5. Soğutucu Gazların Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri	72
4.6. Kapsam 2 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri.....	73
4.7. Kapsam 3 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri.....	74
4.7.1. Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri	74
4.7.2. İş Seyahatlerinden ve Otel Konaklamalarından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri.....	74
4.7.3. Ulaşımdan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri	75
4.7.4. Atık Oluşumundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri	75
4.7.5. Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri	76
4.8. Sonuç ve Öneriler	76
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	87

Karbon Ayak İzi Hesaplaması: Çimento Fabrika Örneği

Kübra KAHRAMAN

Danışman: Doç. Dr. Fatma Elçin ERKURT

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Bu tez kapsamında; çimento sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın 2023 yılı verileri kullanılarak Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 karbon ayak izi miktarları hesaplanmış ve tCO₂ cinsinden emisyon değeri bulunmuştur. Hesaplamalar sırasında CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon gazları göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalar sonucunda, Kapsam 1 için 1.207.582 ton CO₂, Kapsam 2 için 80.123 ton CO₂ ve Kapsam 3 için 138.042,87 ton CO₂ olmak üzere toplamda 1.425.748 ton CO₂ oluştuğu hesaplanmıştır. Bu doğrultuda karbon ayak izi emisyonunun %84,70 lik oran ile Kapsam 1, %9,68 lik oran ile Kapsam 2 ve %5,62 lik oran ile Kapsam 3'e ait olduğu belirlenmiştir.

Kapsam 1 emisyon miktarlarının azaltılması kapsamında 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryo 1'de; 17.927 ton CO₂ emisyonunun azaldığı, Senaryo 2'de; 204.622,92 ton CO₂ emisyonunun azaldığı, Senaryo 3'te; 33.778,68 ton CO₂ emisyonunun azaldığı ve senaryo 4'te; 56.296,87 ton CO₂ emisyonunun azaldığı hesaplanmıştır.

Kapsam 2 emisyon miktarının azaltılması kapsamında; elektrik ihtiyacının yenilebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden karşılanması konusunda senaryo oluşturulmuştur. Senaryoya göre; güneş panellerinin kullanımı ile 760 tCO₂ emisyonunun azalabileceği hesaplanmıştır. Kapsam 3 emisyon miktarının azaltılması için; başta lojistik faaliyetler olmak üzere daha çevreci ve sürdürülebilir önlemlerin alınması ile Kapsam 3 emisyon miktarlarının azalabileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Çimento Sektörü, Çimento Sektörü Kaynaklı Emisyonlar, Sera Gazları

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

MSc THESIS

Carbon Footprint Calculation: Cement Factory Example

Kübra KAHRAMAN

Advisor: Doç. Dr. Fatma Elçin ERKURT

Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

Within the scope of this thesis; Using 2023 data of a factory operating in the cement sector, Scope 1, Scope 2 and Scope 3 carbon footprint amounts were calculated and the emission value in tCO₂ was found. During the calculations, CO₂, N₂O and CH₄ emission gases were taken into consideration. As a result of the calculations, it was calculated that 1,207,582 tons of CO₂ was formed for Scope 1, 80,123 tons of CO₂ for Scope 2, and 138,042.87 tons of CO₂ for Scope 3, for a total of 1,425,748 tons of CO₂. In this regard, it was determined that the carbon footprint emission belonged to Scope 1 with a rate of 84.70%, Scope 2 with a rate of 9.68% and Scope 3 with a rate of 5.62%.

4 different scenarios have been created within the scope of reducing Scope 1 emission amounts. In Scenario 1; 17,927 tons of CO₂ emissions decreased, In Scenario 2; 204,622.92 tons of CO₂ emissions decreased, In Scenario 3; In scenario 4, 33,778.68 tons of CO₂ emissions are reduced and; It was calculated that 56,296.87 tons of CO₂ emissions were reduced.

Within the scope of reducing the amount of Scope 2 emissions; A scenario has been created to meet electricity needs from solar energy, which is a renewable energy source. According to the scenario; It has been calculated that 760 t CO₂ emissions can be reduced with the use of solar panels. To reduce the amount of Scope 3 emissions; It is envisaged that Scope 3 emission amounts may decrease by taking more environmentally friendly and sustainable measures, especially logistics activities.

Keywords: Carbon Footprint, Cement Sector, Emissions from Cement Sector, Greenhouse Gases

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatma Elçin ERKURT'a,

Tez çalışmam sürecince gerekli bilgi ve verileri paylaşan, yardımlarını esirgemeyen Sayın yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen kıymetli Eşim Gürkan KAHRAMAN'a, her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Annem Selma KIZILELMA, Babam Sadettin KIZILELMA, Ablam Emine KIZILELMA ve Kardeşim İsmail KIZILELMA'ya

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Kapsam Türlerine Göre Karbon Ayak İzi Emisyon Kaynakları.....	38
Tablo 2. Küresel Isınma Potansiyelleri (IPCC AR6 Global Warming Potential Values).....	39
Tablo 3. Kapsam 1 Faaliyet Verileri (FV)	41
Tablo 4. Kapsam 1 Net Kalorifik Değerler (NKD).....	42
Tablo 5. Kapsam 1 Emisyon Faktörleri (EF)	43
Tablo 6. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları.....	54
Tablo 7. Kapsam 2 Faaliyet Verisi.....	56
Tablo 8. Kapsam 2 Emisyon Faktörü (EF)	56
Tablo 9. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları.....	57
Tablo 10. Kapsam 3 Faaliyet Verileri (FV)	57
Tablo 11. Kapsam 3 Net Kalorifik Değerler (NKD).....	58
Tablo 12. Kapsam 3 Emisyon Faktörleri (EF)	59
Tablo 13. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları.....	64
Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarları.....	67
Tablo 15. 2024 Yılı Senaryo 1 Veri Sonuçları.....	67
Tablo 16. Kapsam 1,2 ve 3 Emisyon Verileri ve Yüzdelik Değerler.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Küresel iklim sisteminin bileşenlerinin (kalın), bunların süreçlerinin ve etkileşimlerinin (ince oklar) ve değişebilecek bazı hususların (kalın oklar) şematik görünümü (Anonim 1).....	3
Şekil 2. Sektörlere Göre Küresel Sera Gazı Emisyonları 1990, 2015 (EPA,2015).....	5
Şekil 3. Gaz Bazında Küresel Sera Gazı Emisyonları 1990, 2015 (EPA,2015)	6
Şekil 4. Bölgelere Göre Küresel Karbondioksit Emisyonları, 1990, 2018 (EPA,2015)	7
Şekil 5. Metanın Zaman İçinde Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları (EPA,2016)	8
Şekil 6. Nitroz Oksit'in Zaman İçinde Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları (EPA,2016)...	9
Şekil 7. Ozonun Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları, 1979–2020 (EPA,2016)	10
Şekil 8. Avrupa Yeşil Mutabakatı (Anonim 8)	17
Şekil 9. Toplam Çimento Üretimi Tahmini (Milyon Ton) (Anonim,13).....	21
Şekil 10. Toplam Klinker Üretimi Tahmini (Milyon Ton) (Anonim,13)	22
Şekil 11. Kalker İş Akışı	30
Şekil 12. Kil İş Akışı.....	30

GRAFİK DİZİNİ

Grafik 1. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları.....	56
Grafik 2. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları.....	66
Grafik 3. Kapsam 1,2 ve 3 Emisyon Sonuçları Grafiği	76
Grafik 4. Kapsam 1, 2 ve 3 Emisyon Sonuçları Yüzdelik Değer Grafiği	77



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
AYM	: Avrupa Yeşil Mutabakatı
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
CBAM	: Carbon Border Adjustment Mechanism
CCS	: Karbon Yakalama ve Depolama
CCUS	: Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama Teknolojileri
Cd	: Kadmiyum
CFCs	: Kloroflorokarbon
CH ₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
COP	: Conferences of the Parties (Taraflar Konferansı)
Cu	: Bakır
EF	: Emisyon Faktörü
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FV	: Faaliyet Verileri
Gcal	: Gigakalori
H ₂ O	: Su buharı
HCl	: Hidrojen klorür
HF	: Hidrojen florür
HFCs	: Hidroflorokarbonlar
Hg	: Civa
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
Kcal	: kilokalori
Kg	: Kilogram
KIP	: Küresel Isınma Potansiyel
KWh	: Kilowatt saat
KWp	: Kilowatt peak

LCA	: Life Cycle Assessment
MWh	: Megavatt saat
N ₂ O	: Diazot monoksit
Ni	: Nikel
NKD	: Net Kalorifik Değer
NO _x	: Azot Oksitler
O ₃	: Ozon
OECD	: Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü
Pb	: Kurşun
PCDD	: Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler
PCDF	: Poliklorlu Dibenzo-dioxinler
PM	: Partikül Madde
PPB	: Milyarda bir
SDS	: Güvenlik Bilgi Formu
SF ₆	: Kükürt Hekzaflorür
SKDM	: Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması
SO _x	: Kükürt Oksitler
TOC	: Toplam Organik Karbon
UNCED	: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
VOC	: Uçucu organik bileşikler
YDA	: Yaşam Döngü Analizi
YF	: Yükseltgenme Faktörü
Zn	: Çinko
WHR	: Atık Isı Geri Kazanımı

1. GİRİŞ

Karbon ayak izi; bir birey, kuruluş, faaliyet veya ürünün doğrudan ya da dolaylı olarak atmosfere saldığı sera gazlarının (karbondioksit, metan vb.) toplam miktarını tanımlar. Karbon ayak izi; fosil yakıtların kullanımı, enerji tüketimi, tarım, sanayi faaliyetleri ve ulaşım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

Çimento sektörü, karbon ayak izi ve küresel ısınma açısından önemli bir rol oynar. Çimento üretimi, yüksek enerji tüketimi ve karbondioksit salımı nedeniyle dünyanın en büyük sera gazı kaynaklarından biridir. Bu süreçte kullanılan kireçtaşı, ısıtıldığında kalsinasyon adı verilen bir reaksiyonla büyük miktarda CO₂ salınımına neden olur. Ayrıca, üretim sürecinde kullanılan fosil yakıtlar da sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur. Sera gazlarının atmosferde birikmesi ve küresel ısınma kavramı birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Çimento üretiminden kaynaklanan karbon emisyonları, atmosferde birikerek sera etkisini artırır ve küresel ısınmaya yol açar.

Ancak, yeşil enerji kullanımı, çimento sektöründe karbon ayak izini azaltmak için önemli bir strateji olabilir. Fosil yakıtların yerine rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çimento üretimindeki karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, üretim sürecinde daha az enerji tüketen teknolojilerin kullanılması ve karbon yakalama ve depolama (CCS) gibi yöntemlerin uygulanması da sektördeki çevresel etkileri hafifletebilir. Bu şekilde, çimento sektöründe karbon ayak izini azaltarak küresel ısınma ile mücadelede daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmak mümkün olacaktır.

1.1. İklim Değişikliği ve Küresel Isınma

İklim, yeryüzünün herhangi bir noktasında uzun seneler sürecince tecrübe edilen veya izlenen bütün hava şartlarının ortalama özellikleri ile bunların gerçekleşme durumlarının dönemsel dağılımlarının, tespit edilen aşırı verilerin, şiddeti yüksek olayların ve bütün değişkenlik gösteren versiyonlarının birleşimi şeklinde ifade edilir (Türkeş, 2001). İklim değişikliği ise, belirli bir alanda belirli bir zaman süresince yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik parametrelerdeki kararlı farklılıklardır (Kılıç, 2008).

İklim değişikliğine neden olan başlıca sera gazları; Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Diazot monoksit (N₂O), Su buharı (H₂O), Ozon (O₃) ve Kloroflorokarbon (CFC) şeklinde sıralanabilir

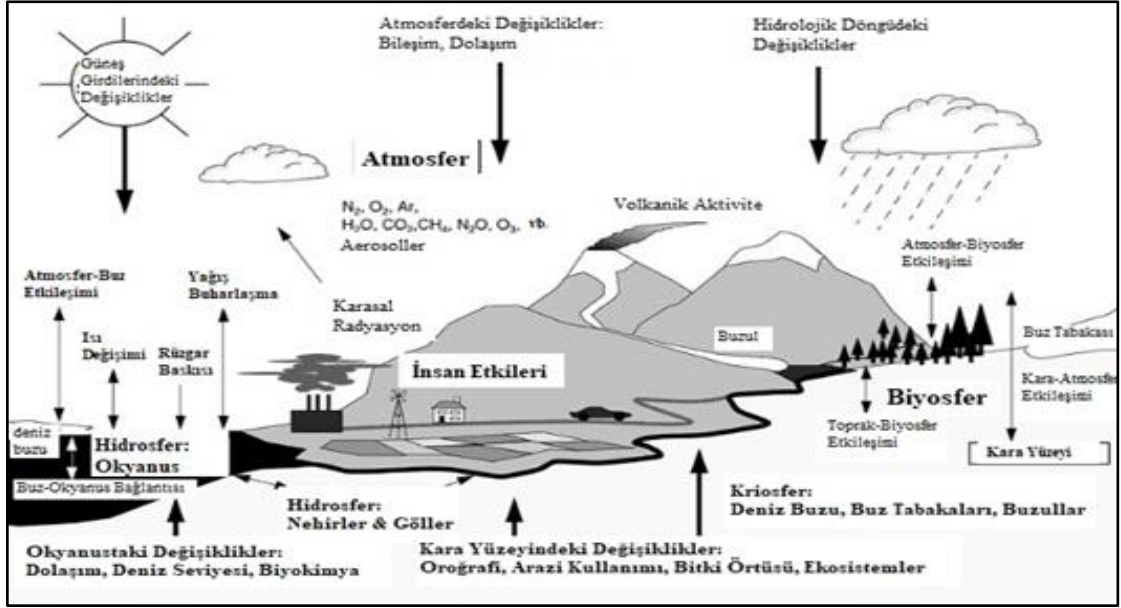
(Change, 2007; Çelik ve ark., 2008; Vural, 2018). İklim değişikliğine sebep olan başlıca faaliyetler incelendiğinde insan faaliyetleri, nüfusun artması, şehirleşme, tüketimin hızlıca artması ve şekil değiştirmesi, sanayileşme, fosil yakıt tüketimi, maden faaliyetleri, ormanların tahribi, tarım ve gübre tüketimi kendini göstermektedir (Ağıralan ve Sadioğlu, 2021).

Sanayi devriminden itibaren karbondioksit ve diğer sera gazlarının insan faaliyetlerinden kaynaklı olarak büyük oranlarda atmosfere yayıldığı kabul edilmektedir (Varol ve Ayaz, 2012). Ayrıca, ülkelerin üretim faaliyetleri sera gazı emisyon miktarlarını doğrudan etkilemektedir. Bu kapsamda, ilgili araştırmalar incelendiğinde, en az emisyon salınımı yapan 100 ülkenin toplam emisyonların yüzde 3 ünü oluşturduğu saptanmıştır. En büyük emisyon salınımı yapan 10 ülkenin ise, küresel iklim değişikliğinde yüzde 68 oranında artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Bu doğrultuda iklim değişikliğine büyük oranda sebep olan insanlara ve ülkelere dair bazı yaptırımların uygulanması yerinde olacaktır (Ripple ve ark., 2014).

Fosil yakıtların tüketilmesi, insan aktiviteleri vb. faaliyetler sera gazı emisyonlarının atmosferde birikmesine ve küresel iklim değişikliği sürecinin hızlanmasına sebep olmuştur. 2011 ve 2020 yıl aralığının kaydedilen en sıcak on yıl olduğu ve 2019 yılında küresel boyutta ortalama sıcaklığın sanayi dönemi öncesi seviyelerin 1,1 °C üzerinde olduğu saptanmıştır. Sanayi dönemi öncesi sıcaklığa oran ile gözlenen 2 °C lik artış, doğal çevre, insanların sağlığı ve hayat şartları üzerinde oldukça olumsuz etkilere sebep olmuştur. Bu bağlamda, ısınmanın 2 °C nin altında tutulması ve 1,5 °C ile sınırlandırılması kapsamındaki çalışmalar oldukça önemlidir (Mavi, 2021; Sesena ve ark., 2021; Avcı, 2022).

Sera gazı emisyonlarındaki yükselişten kaynaklı dünya atmosferinin ortalama sıcaklığındaki artış küresel ısınma kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu duruma başlıca sebep olarak, fosil yakıtların tüketilmesi, ormanların yok olması, şehirleşme, sanayileşme ve insan faaliyetleri gösterilmektedir (Houghton,2005).

Küresel ısınmanın en önemli sonuçlarından birisi iklim değişikliğidir. Dünya çapında sıcaklığın artması kutupların erimesine, deniz seviyelerinin yükselmesine ve bu alanlarda yaşayan canlıların olumsuz etkilenmelerine ayrıca uzun vadede tür kaybına sebep olmaktadır. Atmosferdeki sıcaklık seviyesinin artması ve küçük su kaynaklarının kuruması sonucunda kuraklaşmanın da yaşanacağı düşünülmektedir (Küçük,2017). Ayrıca, küresel çapta sıcaklığın yükselmesi sonucu tarım arazilerinde ve ormanlarda yangın afeti ile daha sık karşılaşılmaktadır (Ekinci,2022). İklim değişikliğinden en çok etkilenen ve etkilerini devam ettirecek olan ülkelerin başında farklı iklim çeşitlerine sahip olan ülkemiz Türkiye gelmektedir (Demirbaş, 2018).



Şekil 1. Küresel iklim sisteminin bileşenlerinin (kalın), bunların süreçlerinin ve etkileşimlerinin (ince oklar) ve değişebilecek bazı hususların (kalın oklar) şematik görünümü (Anonim 1).

Şekil 1 de küresel iklim değişikliğinin, doğal olaylardan ve insan faaliyetlerinden etkilene durumu, atmosferik olaylar, ekosistemi oluşturan parçaların etkileşim alanları ve genel süreçleri gösterilmektedir.

1.2. 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporu

İklim değişikliğinden dolayı küresel sıcaklıklar sanayi dönemi öncesindeki değerin yaklaşık 1°C üzerine ulaşmıştır. Dünya mevcut durumda 1°C lik sıcaklık yükselişinin etkilerini yaşamaktadır. Bazı etkiler ülkemizde de görülmektedir. 2017 senesinde Yalova şehrinin yüzölçümünün 1,3 katı kadar orman alanı yangınlardan kaynaklı zarar görmüştür. 2 bin 411 orman yangınından kaynaklı 1120 km² ağaçlık alan tamamen yok olmuştur. Emisyonların kısa sürede azaltılmaması durumunda, sıcaklık değerleri 2040 yılında 1.5°C artış gösterebilir. 1.5°C lik sıcaklık yükselişi, tatlı su kaynakları üzerindeki olumsuz etkiyi, riski ve Türkiye gibi hassas coğrafyalardaki su kıtlığı tehlikesinin artmasına neden olacaktır. Sıcaklık yükselişinin 2100 senesinde 1.5°C ile sınırlı tutulabilmesi için emisyonların daha önce denenmemiş bir seviyede hemen ve hızlıca azaltılması gerekmektedir. Bu ulaşılması güç hedef sağlansa dahi, iklim değişikliğinin sebep olduğu zararların bir kısmını yaşamak durumunda kalacağız (IPCC, 2019).

İklim değişikliği insanların yanı sıra dünyadaki bitki ve hayvan türlerini de doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık yükselişini 1.5°C ile sınırlandırmak, canlılar üzerindeki riskleri yarı yarıya düşürebilecektir. Oluşabilecek bu olumlu etkiye rağmen, 1.5°C varsayımına göre 10 mercan kayalığının 9'u 2050 yılından itibaren önemli bir seviyede bozulma riski ile karşı karşıya olacaktır. Kara ve deniz hayatı olumsuz yönde etkilenecek olup, türler üzerindeki risk ve

tehlikeler artış gösterecektir. Yaşanacak bu ekolojik tahribat nedeniyle tarım faaliyetleri azalacak olup, gıda üretiminde düşüş gözlenecektir (IPCC, 2019).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 6.000'den fazla bilimsel araştırmadan yararlanarak oluşturduğu "1.5°C Küresel Isınma Özel Raporu", hükümetler tarafından Güney Kore'de onaylanmıştır. Rapordaki bazı önemli başlıklar şu şekildedir:

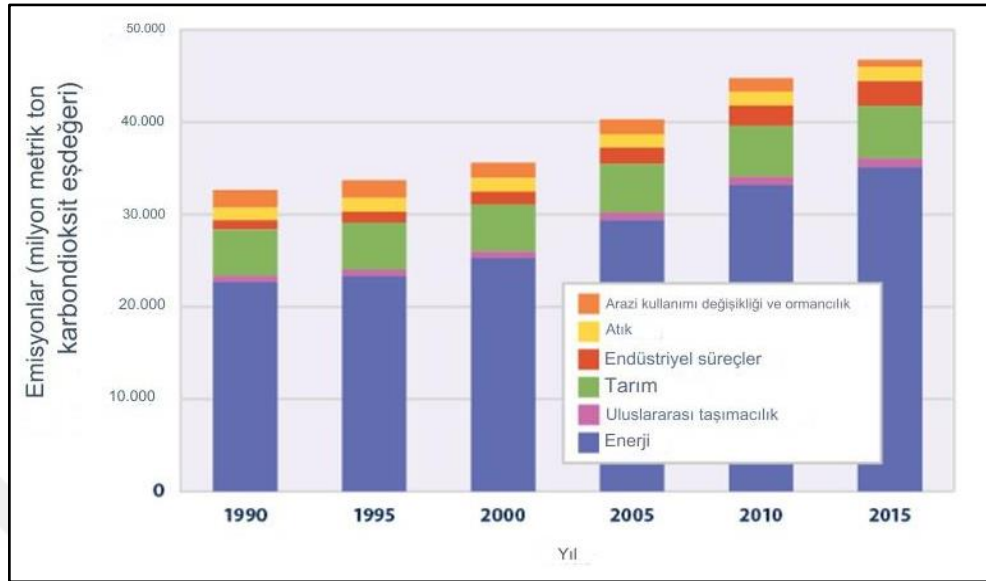
- İnsanlar dünyanın sanayi devrinden önceki döneme göre yaklaşık 1.0 °C ısınmasına neden olmuştur. Küresel ısınmanın etkileri şimdiden kuraklık ve seller gibi hava olaylarına, deniz seviyelerinde yükselmelere ve Arktik denizinin erimesine sebep olmuştur.
- Sera gazı emisyonları bu şekilde devam ederse, küresel ısınma 2030 ve 2052 yılları içerisinde 1.5°C sınırını aşacaktır.
- 1.5°C sınırı, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğu önleme konusunda büyük öneme sahiptir. Küresel ısınmayı 1.5°C ile sınırlandırmak, ekoloji ve yaşam alanları üzerindeki var olan etkilerin önlenmesi olarak değerlendirilmektedir.
- Bu sınırın aşılması için küresel emisyonları 2030 yılında 2010 yılına göre %45 oranında azaltmak ve 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşmak gerekmektedir.
- Bu kapsamda, tarım, enerji, endüstri, bina, ulaşım ve şehirler gibi birçok faaliyet alanında "hızlı ve geniş çapta" dönüşümler gerekmektedir.
- Mevcut durumda Paris Anlaşması çerçevesinde beyan edilen taahhütler, küresel ısınmayı 1.5°C de sınırlandırma konusunda yeterli değildir. Bu nedenle, ülkelerin kısa bir süre içerisinde taahhütlerini yenilemeleri gerekmektedir (IPCC, 2019).

1.3. Sera Gazları

Sera gazları, atmosferde sıcaklık tutma kapasitesini yükselten gazlardır. Sera gazlarının oluşum süreci doğal yollardan olmakla birlikte %90 gibi önemli oranda insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Sera gazlarının oluşma sebepleri kısaca, fosil yakıtların kullanımı, ormanların yok olması, tarım faaliyetleri ve yanlış arazi yönetimi gibi faaliyetler olarak değerlendirilmektedir. Belirli zaman ve bölgede atmosfere gönderilen sera gazları emisyon olarak tanımlanmaktadır (Engin, 2010).

Enerji sektörü ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklı olarak karbondioksit, karbonmonoksit, metan, azotdioksit ve diğer gazlar atmosferde birikerek güneş ile yer yüzeyi arasında bir tabaka meydana getirir. Atmosferde biriken bu gazlar yeryüzüne gelen güneş ışınına karşı geçirgen olurken, atmosfere tekrar gönderilen yer ışınına karşı daha az geçirgen olurlar. Bu nedenle, yeryüzüne gelen enerjinin bir kısmı uzaya gönderilemeyerek atmosferde bulunan sera gazları tarafından absorbe edilir. Bu durum dünyanın düşünülenden çok daha fazla ısınmasına sebep olur.

Sera etkisi olarak tanımlanan bu durum küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açmaktadır (Bayraç ve Emrah, 2016).

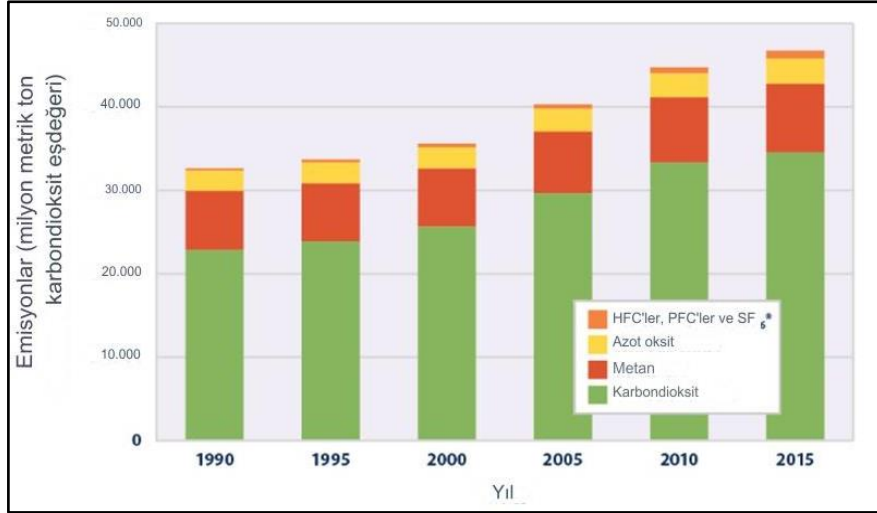


Şekil 2. Sektörlere Göre Küresel Sera Gazı Emisyonları 1990, 2015 (EPA,2015)

Şekil 2 de 1990 yılından 2015'e kadar sektör alanlarına göre dünya genelindeki sera gazı emisyonlarını göstermektedir. Geçerlilik sağlayabilmek adına emisyonlar milyon metrik ton karbondioksit eşdeğeri türünden belirtilmiştir. Bu hesaplanan değerlere arazi kullanımındaki değişiklikler, ormancılık faaliyetlerinden kaynaklı oluşan emisyonlar ve yutaklar eklenmiştir (EPA,2015).

Ayrıca, sera gazlarının küresel ısınmaya tesirleri gazların miktarına, atmosferde bulunma sürelerine ve sıcaklığı hapsedme kapasitelerine bağlıdır. Bu duruma örnek olarak, metanın karbondioksit göre kızıl ötesi ışınları tutma oranı daha fazladır. Metan gazının küresel ısınma potansiyeli karbondioksitin yirmi bir katıdır. Ancak, karbondioksit en çok oluşturulan ve atmosfere gönderilen sera gazı olduğu için sera etkisinin esas sebebinin oluşturmaktadır (Dulkadiroğlu,2018,).

Sera etkisine neden olan başlıca gazlar karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazot monoksit (N_2O), su buharı (H_2O), ozon (O_3), Karbonmonoksit (CO), kloroflorokarbonlar (CFCs), hidroflorokarbonlar (HFCs) ve kükürt hekzaflorür (SF_6) şeklinde sıralanabilecektir.



Şekil 3. Gaz Bazında Küresel Sera Gazı Emisyonları 1990, 2015 (EPA,2015)

Şekil 3'te rakamlar 1990 yılından 2015 yılına kadar dünya genelindeki karbondioksit, metan, nitroz oksit ve çeşitli florlu gaz emisyonlarını göstermektedir. Geçerlilik sağlayabilmek adına emisyonlar milyon metrik ton karbondioksit eşdeğeri türünden belirtilmiştir. Bu hesaplanan değerlere arazi kullanımındaki değişiklikler, ormancılık faaliyetlerinden kaynaklı oluşan emisyonlar ve yutaklar eklenmiştir (EPA,2015).

1.3.1. Karbondioksit (CO₂)

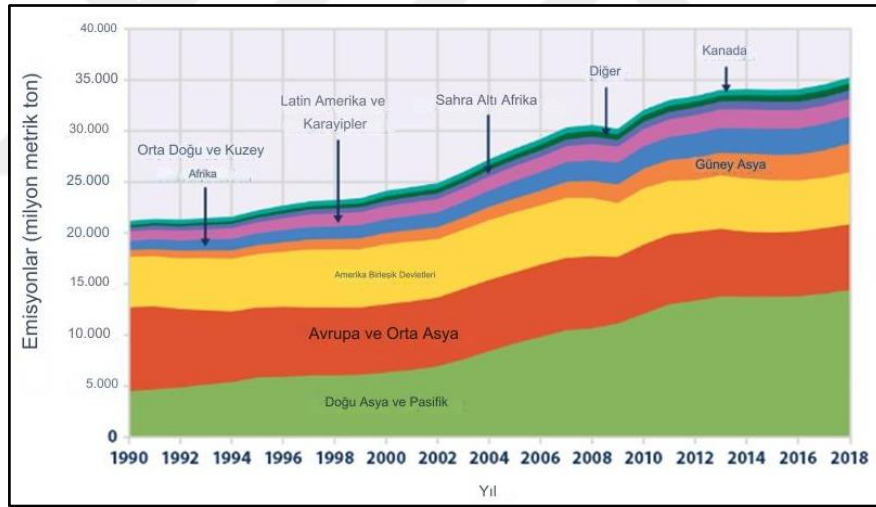
Tüm canlıların ve fosil yakıtların temeli olan karbon, canlıların solunum sistemi, topraktaki mikroorganizmaların faaliyetleri ile insan eylemleri veya eylemsizliklerinden kaynaklı yanma aktiviteleri sonucunda karbondioksit olarak atmosfere gönderilmektedir. Küresel ısınma kapasitesi en düşük ancak atmosferdeki miktarı açısından en önemli gaz olan CO₂ sera gazlarının en önemlisi durumundadır (Dulkadiroğlu, 2018). Ayrıca, karbondioksit atmosferde çok fazla süre var olabilen gaz olarak belirtilmektedir (Tolunay, 2011).

Karbondioksit şeffaf, renksiz ve kokusuz bir gaz olup küresel ısınma döngüsünde oldukça önemli bir etkisi olduğu anlaşılmıştır. Atmosferde başta karbondioksit olmak üzere gazlar, güneş ışınlarının absorbe edilmesine ve tekrardan yansımamasına neden olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak yerkürede kayda değer sıcaklık artışları görülmektedir. Karbondioksit, dünya genelinde ısınmanın artmasında çok önemli ve etkin paya sahiptir (Uzunçakmak, 2014). Bu kapsamda yapılan araştırmalardan İsveçli bilim insanı Svante Arrhenius 1896 senesinde karbondioksitin iklim değişikliğine etkileri konusunda yapmış olduğu araştırmalar sonucunda buzulların erimesinde atmosferdeki CO₂ miktarındaki değişikliklerin önemli olduğu sonucuna varmıştır. Buna ek olarak, atmosferdeki CO₂ oranının yeryüzü sıcaklığı ile alakalı olduğunu ve CO₂ oranının 2 katına ulaşması durumunda yeryüzü sıcaklık değerinde 6°C ye yakın yükseliş olabileceğini belirtmiştir (Tüzer ve Doğan, 2021).

Karbondioksit ve metan gazları küresel ısınmaya neden olan esas etkenlerdir. Her iki gaz türü de zararlıdır ve karbondioksit, metan gazına oranla daha fazla tehlike barındırmaktadır. Yapılan incelemelere göre, dünyadaki sıcaklık artışı, karbondioksit gazı artışı ile direkt olarak orantılıdır (Neale, 2009).

Atmosferdeki karbondioksit gazının konsantrasyon değeri endüstriyel faaliyetlerdeki artış ve ekonomik süreçler ile bağlantılı ve orantılıdır. Fosil yakıtlardaki tüketim sanayi devriminden sonra artış göstermiştir. Sanayi dönemi öncesinde atmosferde karbondioksitin bulunma oranı ortalama 280 ppm iken, 2000 senesinde bu oran yaklaşık 1,5 kat değerinde artmış ve 400 ppm değerlerinde ölçülmüştür (IPCC, 2007).

Kısacası, karbondioksit oranının iklim değerlerinde ve yaşam üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Atmosferdeki CO₂ miktarının artması dünya genelinde sıcaklıkların artmasına ve iklimin normal değerlerinden sapmasına neden olmuştur. (Altıntaş, 2013). Başta fosil yakıtların tüketilmesi olmak üzere sanayi sektörü, ulaşım faaliyetleri, hayvancılık, arazi ve gübre kullanımı atmosferde bulunan diğer sera gazlarında olduğu gibi karbon döngüsünün de değişmesine sebep olmuştur (DPT, 2000).



Şekil 4. Bölgelere Göre Küresel Karbondioksit Emisyonları, 1990, 2018 (EPA,2015)

Şekil 4'te dünyanın farklı alanları için 1990 yılından 2018 yılına kadar karbondioksit emisyonlarını göstermektedir. Bu hesaplamalar kapsamında arazi kullanımındaki değişiklikler, ormancılık faaliyetlerinden kaynaklı oluşan emisyonlar ve yutaklar yer almamaktadır (EPA,2015).

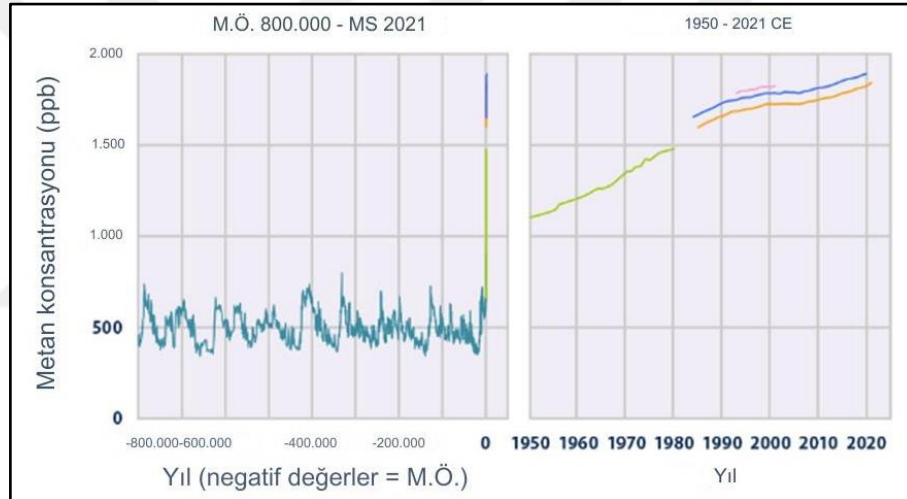
1.3.2. Metan (CH₄)

Metan havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Metan gazı genel olarak düşük oksijen seviyesi barındıran bölgelerde biyolojik bozunmalardan kaynaklı olarak meydana gelir ve doğal gazın ana unsurudur (Muslu, 2000). Ayrıca metan, sera gazlarının en önemli türlerinden

birisi ve küresel ısınmanın da en önemli sebeplerinden birisidir. Metan tehlikeli bir gaz olmasına karşın dünyada birçok noktada yer almaktadır (Uzunçakmak, 2014).

Metan gazı ilk olarak biyolojik işleyiş ve reaksiyonların etkisi sonucu oluşan bir gaz türüdür. Doğalgaz, organik maddelerin anaerobik şartlarda parçalanması ve petrol, kömür gibi fosil yakıt türlerinin topraktan çıkarılması vb. çalışmalar sonucunda meydana çıkmakta ve atmosfere dahil olmaktadır. Bu çalışmaların yanı sıra pirinç tarlaları, tarım sektörü ve kullanılan gübreler, bataklıklar, çöplükler, doğal gaz boru hatlarının bağlantı noktaları ve sanayi sektörünün yan ürünleri metan gazlarının temelini oluşturmaktadır (IPCC, 2007).

2005 senesinde buzullarda yapılan araştırmalar sonucunda atmosferde bulunan metan gazı yüzdesinin 65.000 yılın en yüksek seviyesine geldiği gözlenmiştir. Atmosferdeki metan varlığı sanayi sektöründeki ilerlemelerden sonra %150 oranında yükselmiştir (IPCC, 2007).



Şekil 5. Metanın Zaman İçinde Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları (EPA,2016)

Şekil 5’te veriler yüzbinlerce yıl öncesinden 2021 yılına kadar atmosferde olan metan gazı konsantrasyonlarını milyarda parça (ppb) türünden göstermektedir. Veriler birçok tarihi buz çekirdeği araştırmalarından ve dünya genelindeki güncel hava izleme sitelerinden oluşturulmuştur. Her satır farklı bir veri kaynağını ifade etmektedir (EPA,2016).

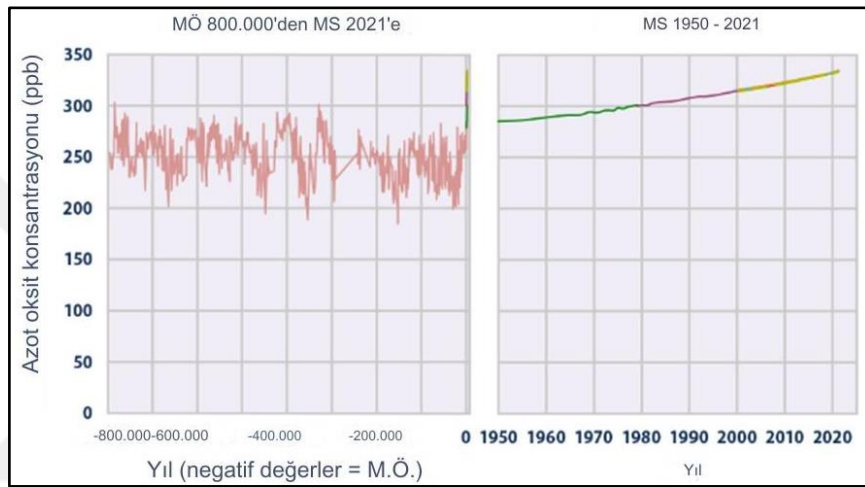
1.3.3. Diazot Monoksit (N₂O)

Renksiz ve yanmayan bir gaz türü olan N₂O genellikle tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı meydana gelmektedir. N₂O gazının atmosfere karışması doğrudan ve dolaylı yollarla gerçekleşmektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon faaliyetlerinden kaynaklı doğrudan salınım gözlenirken, uçucu azot kaçakları nedeniyle dolaylı salınım gözlenmektedir. Hayvansal faaliyetlerin etkili sebep olması nedeniyle emisyon değerlerinin düşürülmesi için türlü tedbirler üzerinde fikirler yürütülmüştür. Bu fikirlerden bazıları hayvan popülasyonunun

azaltılması verimin yükseltilmesi, beslenme şekillerinin değiştirilmesi ve toprak işleyişinde gerçekleşecek değişikliklerden kaynaklı olarak emisyon değerlerinin düşürülmesi olarak belirtilmektedir (Ersoy, 2017).

Buna ek olarak, N_2O oluşumunun sebepleri olarak, fosil yakıt tüketimi, insan aktiviteleri, atıksuların arıtım prosesi, atıkların yakılması ve biyokütle kullanımı gösterilmektedir (Çevirgen, 2009).

Karbondioksitin atmosferde bulunma süresi 100 sene iken N_2O 'nun bulunma süresi 150 senedir. Bu iki gazın sera etkisi karşılaştırılırsa, N_2O gazı karbondioksitin yaklaşık 300 katı sera etkisini kapsamaktadır (Uzunçakmak, 2014).



Şekil 6. Nitröz Oksit'in Zaman İçinde Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları (EPA,2016)

Şekil 6'da yüzbinlerce yıl öncesinden 2021 yılına kadar atmosferde olan nitro oksit konsantrasyonlarını milyarda parça (ppb) türünden göstermektedir. Veriler birçok tarihi buz çekirdeği araştırmalarından ve dünya genelindeki güncel hava izleme sitelerinden oluşturulmuştur. Her satır farklı bir veri kaynağını ifade etmektedir (EPA,2016).

1.3.4. Su Buharı (H_2O)

Hava sıcaklığının artması sonucu sıcak hava daha çok nem tutmaktadır. İklimin ısınması hava sıcaklıklarını arttırmaktadır, buna bağlı olarak su kaynaklarından, okyanuslardan ve topraktan daha çok miktarda buharlaşma oluşmakta ve atmosferdeki nem oranı miktarı yükselmektedir. Kısacası buharı oranındaki yükseliş ısınma oranını ve sera gazı etkisini yükseltmektedir (Çevirgen, 2009).

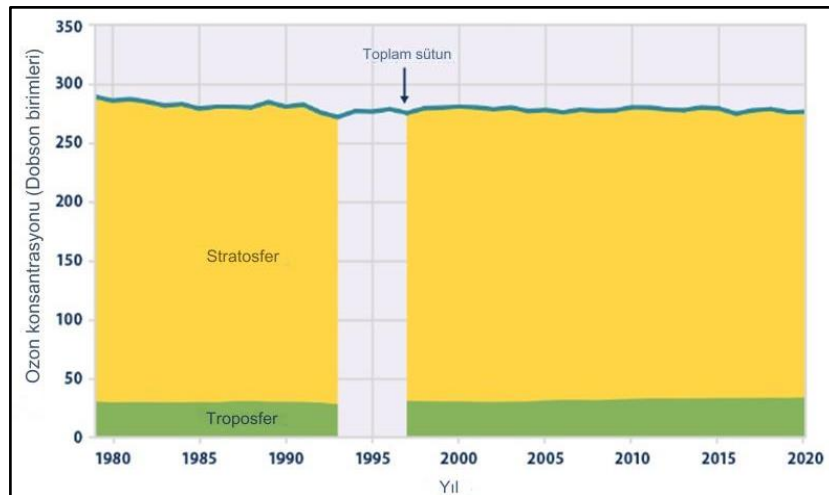
IPCC, insan aktivitelerinin su buharındaki yükselişinde hiçbir katkısının bulunmadığını ve bu sebeple su buharının sera gazı kapsamında düşünülmemesi gerektiğini ifade etmektedir. Ancak, dünyanın yansıtmış olduğu uzun dalgalı kızılötesi ışığı en iyi şekilde absorbe eden gaz su buharıdır (Pekin, 2006).

Yapılan birçok bilimsel çalışmaya göre küresel ısınma sebebiyle konsantrasyonu yükselen su buharı miktarının iklim değişikliğine sebep olacağı belirtilmektedir. Bu olay, atmosferdeki su buharı kapasitesinin artış göstermesine sebep olmakta ve hava buharlaşma oranını yükselterek atmosfere çok daha fazla su buharı gönderilmesine yol açmaktadır. Kısacası, ısıtılan hava daha çok su buharı absorbe etmekte bunun sonucunda ise daha çok ısınmaya sebep olmaktadır (Atabey, 2013).

1.3.5. Ozon (O₃)

Ozon gazı, yüksek enerjili ultraviyole ışıktan etkilenen oksijen moleküllerinin ayrışarak birleşmesi sonucu meydana gelmektedir. Ozon, sera gazı etkisinin %7 sini oluşturmaktadır. Bu gaz, stratosferin ortalama 20–40 km kadar yakınında çok miktarda bulunmakta ve güneşten yayılan ve zararlı olan UV ışınlarının dünyaya geçişine engel olmakta ayrıca, troposferde çok az miktarlarda sera etkisine de sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra ozon gazı, dünyadan yansıyan uzun dalga boylu ışınların uzaya yansımaya engel olmaktadır. Ozon gazının molekül yapısı çok hızlı bozulduğu için atmosfere klor ve brom barındıran halokarbonların yayılması sebebiyle stratosferdeki ozon oranı düşmekte ve bu durum ozon tabakasının incelmeye sebep olmaktadır (Uzunçakmak, 2014).

Ayrıca, sıcaklıklarda yükselişin olduğu zaman aralıklarında ozon gazı miktarında da yükseliş gerçekleşmektedir. Atmosferde stratosfer tabakasında olan ultraviyole ışınları atmosfere gönderilen kloroflorokarbon sera gazlarınca troposfer tabakasına geçişlere engel olan ozon tabakasındaki ozon gazı ile bileşik meydana getirmektedir. Bu nedenle, güneşten yayılan UV ışınları ozon tabakasınca önlenemediğinden ozon tabakasında incelme oluşmaktadır (Dindar, 2021).



Şekil 7. Ozonun Küresel Atmosferdeki Konsantrasyonları, 1979–2020 (EPA,2016)

Şekil 7 de uydu verilerine göre her sene dünya atmosferindeki ortalama ozon oranını göstermektedir. Toplam, dünya atmosferinin bütün katmanlarındaki ozonun kalınlığını veya

yoğunluğunu temsil eder, buna toplam sütun ozonu denilmektedir ve dobson birimi ile ölçülmektedir. Daha büyük sayılar daha çok ozonu ifade eder. Birçok sene için, Şekil 7 ozon gazının troposfer (atmosferin yere en yakın bölümü) ile stratosfer arasında nasıl ayrıştığını ifade etmektedir. Sınırlı uydu kapsama alanı sebebiyle 1994'ten 1996'ya kadar sadece toplam rakam bulunmaktadır (EPA,2016).

1.3.6. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit gazı, karbon içeren yakıtların tam yanmaması neticesinde meydana gelen ve atmosferde gerçekleştirdiği reaksiyonlar sonucu karbondioksit şeklinde meydana gelen gaz türüdür. Atmosferde CO konsantrasyonu kalıcı olmayıp bölgeden bölgeye farklılık gösterirken, oluşturduğu CO₂'nin atmosferde bulunma müddeti oldukça fazladır. CO gazı, CH₄ ve troposferik ozonun diğer elementlerle kimyasal tepkimelerine katkı sağladığında, metan ve troposferik ozonun yoğunluğunun yükselmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden, CO dolaylı yönden sera gazı etkisine katkıda bulunmaktadır (Çevirgen, 2009).

1.3.7. Kloroflorokarbonlar ve Hidroflorokarbonlar (CFCs- HFCs)

Kloroflorokarbonların, küresel ısınma sürecinde payı çok büyüktür ve parçalanma süreleri 100 sene kadar olabilmektedir. CFC ler atmosferde ayrışmıyor olup, ısıyı hapsedme yüzdeleri CO₂'ye oranla 20.000 kat kadar daha çoktur (Uzunçakmak, 2014).

CFCs lerin kısa sürede büyümeleri, atmosferde fazla sürelerle bulunmaları ve kızılötesi ışınları hapsedebilme özelliklerinden dolayı iklim değişikliği süreçlerinde önemli ve olumsuz yönde etkileri bulunmaktadır. CFCs ler alüminyum eritme, magnezyum dökümü gibi endüstriyel çalışma alanlarından kaynaklı olarak meydana gelmektedir. (Çevirgen, 2009). Ayrıca kloroflorokarbonlar, sprey ve parfüm kullanımlarından, klimalardan, buzdolaplarından ve araba egzozlarından dolayı da atmosfere salınmaktadır (Karakoç, 2022).

Hidroflorokarbon gazı, kloroflorokarbonlarda olduğu gibi iklim değişikliğine sebep olmasına ek olarak stratosfer tabakasındaki ozon oranını azaltmakta ve bunun sonucunda güneşten gelen zararlı ışınlar dünyaya daha çok yansımaktadır. Ozon gazının küresel ısınmada etkin payı olmasının yanı sıra atmosfer katmanında yer alan ozon gazı güneşten gelen zararlı ışınları tekrar yansıtarak dünyanın bu ışınlardan korunmasına yardımcı olmaktadır (Karakoç, 2022).

Montreal Protokolü, ozon tabakasına ciddi zararlar vermelerinden ötürü CFC'leri yasaklamıştır. Ancak, anlaşmaya uyulmaması nedeniyle bazı CFC türevlerinin emisyon miktarlarında beş sene kadar yükseliş gözlenmiştir. Bu durumun üzerine anlaşmanın üyeleri bazı açıklamalarda bulunmuş ve emisyon değerlerinde 2018 yılından itibaren önemli oranlarda azalma gözlenmiştir (Onat, İmal, ve İnan, 2004).

1.3.8. Kükürt Hekzaflorür (SF₆)

Kükürt hekzaflorür gazı renksiz, kokusuz ve yanmaz bir gaz türüdür. Kloroflorokarbon gazlarının ozon tabakasına verdiği zarardan dolayı kullanımlarının sınırlandırılması üzerine atmosferdeki kükürt hekzaflorür oranı zaman içerisinde yükselmiştir. Atmosferde bulunma süreleri ve küresel ısınma sürecindeki potansiyelleri açısından önemli sera gazları arasında yer almaktadır (Özlem, 2013).

Sülfür hekzaflorür gazı, sahip olduğu dielektrik özelliği sebebiyle elektrik iletim ve dağıtım süreci, elektrik tesisleri ve elektrik güç sistemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. SF₆ gazı, günümüze kadar bilinen en etkili sera gazlarından birisidir. Yapılan incelemelere göre, 100 yıllık bir süre boyunca SF₆ gazı, kızılötesi radyasyonu tutmada eşdeğer oranda karbondioksit gazından 23.500 kat daha çok etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, SF₆ gazı atmosferde 3.200 sene bulunabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu gaz, atmosfere gönderildikçe atmosferde yüzyıllar boyunca bozulmaya uğramadan birikebilecektir. Bu nedenle, küçük bir oranda dahi atmosfere salınan SF₆ gazı küresel iklim değişikliği üzerinde kayda değer bir etki oluşturabilmektedir (Kurban, 2023).

1.4. Sözleşme ve Protokoller

1.4.1. Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Konferansı- Stockholm Konferansı

BM İnsan Çevresi Konferansı (Stockholm Konferansı), 5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında Stockholm’de düzenlenmiştir. Konferansta, sosyo – ekonomik yapıları ve gelişme seviyeleri birbirinden farklı olan birçok ülke “çevre” konusunda ilk kez bir araya gelmiştir. Konferans sonucunda, BM İnsan Çevresi Bildirisi kabul edilmiştir (Türker, 2020).

1.4.2. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından oluşturulmuştur. Panel, 195 ülke üye durumdadır. IPCC’nin amacı, her seviyedeki hükümetlere iklim politikalarını geliştirmek ve iyileştirmek için bilimsel bilgileri sağlamaktadır (Anonim 2).

Panel, yılda en az bir kere Genel Kurul olarak toplanmakta olup, bütçe ve çalışma programı konularında karar verilebilmesi adına oy birliği ile yürütülmektedir. Düzenlenen oturumlara üye ülkelerden ve gözlemci kuruluşlardan ilgili bakanlık, kurum ve araştırma kurumlarından birçok yekili ve uzman kişiler katılım sağlamaktadır. Dünya genelinde birçok insan IPCC’nin çalışmalarına katkı sağlamaktadır (Anonim 2).

IPCC, üç çalışma grubu ve bir görev gücünden oluşmaktadır. Çalışma Grubu I, iklim değişikliğinin fiziksel bilim temelleri ile, Çalışma Grubu II, iklim değişikliğinin etkileri ile ve Çalışma Grubu III, iklim değişikliğinin azaltılması ile ilgilenmektedir. Ulusal Sera Gazı Envanterleri Görev Grubunun temel amacı ise, ulusal sera gazı emisyonlarının ve giderimlerinin

hesaplanması ve raporlanması konusunda bir metodoloji geliştirmek ve iyileştirmektir (Anonim 2).

IPCC, değerlendirme mekanizması ile farklı alanlardaki bilimsel araştırmaların etkinliğini ve hangi alanlarda ve konularda daha çok araştırmaya gereksinimin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, IPCC raporları uluslararası iklim değişikliği müzakereleri için önemli bir girdi kaynağı durumundadır (Anonim 2).

1.4.3. II. Dünya Çevre Zirvesi: Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Environment and Development - UNCED)

Dünya Zirvesi olarak da bilenen “Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED), 3-14 Haziran 1992 tarihleri arasında Brezilya’nın Rio de Janeiro kentinde gerçekleşmiştir. Rio de Janeiro Konferansı, aynı olmayan sosyal, ekonomik ve çevresel unsurların birbirleri ile etkileşim içinde olduğunu, birlikte geliştiğini ve bir alandaki başarının diğer tüm alanlarda/sektörlerde de zaman içerisinde sürdürülebilir eylem gerektirdiğini vurgulamıştır (Anonim 3).

Rio Dünya Zirvesinin esas amacı, 21. Yüzyılda uluslararası iş birliği ve kalkınma politikasına önderlik edecek, çevre ve kalkınma hususlarında uluslararası boyutta eylem için geniş çapta bir gündem ve plan meydana getirmektir (Anonim 3).

Dünya Zirvesi, sürdürülebilir kalkınma kavramının dünyada tüm insanlar için ulaşılabilir bir hedef olduğu kararına varmıştır. Buna ek olarak, Dünya’daki insan yaşamının devamlılığı için gereksinimlerimizin giderilmesi konusunda ekonomik, sosyal ve çevresel tüm kaygıların bir araya getirilmesinin ve dengelenmesinin oldukça önemli olduğunu ve bu yaklaşımın uygulanabilir olduğunu kabul etmiştir. UNCED Konferansı’nın beş önemli sonucu bulunmaktadır (Anonim 3).

Bunlar,

- 21. yüzyılda sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmek adına gelecek dönemlere yatırım yapmak için yeni stratejik çalışmaların olması gerektiğini belirten cesur bir eylem programı olan Gündem 21’i oluşturmuştur.
- Rio Deklarasyonu
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)
- Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve
- Orman Yönetiminin İlkelerine İlişkin Bildirgesidir.

Dünya Zirvesi aynı zamanda Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu’nun kurulmasına, 1994 senesinde gelişmekte olan küçük ada devletlerinin sürdürülebilir kalkınmasına ilişkin ilk dünya konferansının organize edilmesine ve bazı müzakerelerin düzenlenmesine sebep olmuştur (Anonim 3).

1.4.4. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC- BMİDÇS)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) amacı, atmosferde bulunan ve zaman içerisinde birikmiş olan sera gazlarını ve iklim sistemindeki insan faaliyetlerinden kaynaklı olumsuz etkileri engelleyecek bir seviyede tutabilmek ve sınırlayabilmektir. Sözleşme, 80'li yılların sonunda Hükümetler arası Konferanslarda uzun bir süre boyunca görüşülmüş ve 1992 senesinde Rio'da yapılan Yeryüzü Zirvesi'nde imza süreci başlatılmıştır. BMİDÇS, 1994 senesinde yürürlüğe girmiştir (Anonim 4).

Sözleşmeye 197 ülke taraf durumdadır ve sözleşme esasını taraf ülkelerin taahhütleri oluşturmaktadır. Sözleşmede, iklim değişikliği sürecine bağlı olarak taraf ülkeler sorumluluk türleri kapsamında değerlendirilmiş ve 3 grup olarak kategorize edilmiştir. Bu gruplandırma sözleşme eklerinde düzenlenmiştir (Anonim 4).

Bu kapsamda, 1992 yılında OECD (Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü) üyesi olan ülkeler ile geçiş ekonomisi ülkeleri içeren EK-I listesindeki tarafların, sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda sorumlulukları bulunmaktadır. O dönemdeki OECD üyesi olan ülkelerin dahil olduğu EK-2 listesindeki tarafların, emisyon azaltımına ek olarak gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğiyle alakalı çalışmalarını desteklemek için mali ve teknolojik destek sürecinde de sorumlulukları bulunmaktadır. Bu iki listede yer almayan ve EK-I dışındaki taraflar olarak belirtilen grup ise, genel olarak gelişmekte olan ülkeleri içermektedir. Bütün taraflar sözleşmenin amacı kapsamındaki iklim değişikliği ve etkileriyle mücadele sürecinde iş birliğinde bulunma, raporlama ve bildirim gerekliliklerini sağlayabilme konularını ortak sorumluluk olarak kabul etmişlerdir (Anonim 4).

Ülkemiz ise, BMİDÇS'ye 24 Mayıs 2004'te 189. taraf olarak dahil olmuştur. Sözleşmenin yürürlüğe girdiği dönemde, Türkiye her iki ekte de yer almıştır. Ancak, 2001 yılında Marakeş'te düzenlenen 7. Taraflar Konferansında (Conferences of the Parties) (COP7) alınan 26/CP.7 sayılı karar ile Türkiye'nin diğer EK-I Taraflarından farklı konumu doğrultusunda ismi BMİDÇS'nin EK-2 listesinden çıkarılmış ancak EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye'nin EK-2 listesinden silinmesi kararı, bütün taraf ülkelerin oy birliği ile alınmıştır (Anonim 4).

Sözleşmenin yürürlüğe girmesinden sonra 28 Mart- 7 Nisan 1995 tarihleri arasında ilk Taraflar Konferansı (COP1) Berlin'de gerçekleşmiş ve bu tarihten sonra Taraflar Konferansı her sene düzenli olarak yapılmaya başlanmıştır. İlk kez düzenlenen bu konferansta, bir protokol oluşturulmuş ve ülkelerin karbon gazı salınımlarını 1990 senesine göre 2005 senesine kadar %20 oranında düşürmeleri amaçlanmıştır. Ancak, protokol kabul edilmemiş ve bunun yerine 2 yıllık bir sürecin başlatılması kararı verilmiştir. Bu dönemdeki çalışmalar, iki yıl sonraki Kyoto Protokolü sürecinin yolunu açmıştır (Bozdemir, 2010).

1.4.5. Kyoto Protokolü

Kyoto protokolü, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında izlenecek yolların belirlenmesi konusunda ilk olarak, 1997 senesinde kabul edilmiş ve 2005 senesinde yürürlüğe girmiştir. Kyoto protokolü'nü diğer uluslararası çevre sözleşmelerinden ayrı tutan en önemli özellikler arasında, protokol kapsamında belirlenen azaltım amaçlarını sağlayabilmek için geliştirilen esneklik uygulamaları ve uyumsuzluk durumunda uygulanacak olan yaptırımlar gösterilmektedir. Kyoto prokolü, EK-I taraflarına emisyon düşürme hedeflerini sayısal olarak gösteren ilk uluslararası anlaşmadır (Anonim 5).

Protolün detaylı uygulama kuralları, 2001 senesinde Marakeş'te düzenlenen 7. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. "Marakeş Uzlaşmaları" olarak belirtilen bu kurallar 2005 senesinde Protokol'ün 1. Taraflar Toplantısı'nda onaylanmıştır. 2012 yılı sonrası uluslararası iklim rejiminin meydana gelmesi sürecinde 2007 senesinde Bali'de düzenlenen 13. Taraflar Konferansı en önemli toplantılarından biri olmuştur. Gerçekleşen bu toplantı sonrasında "Sözleşme" ve "Protokol" başlıkları kapsamında, iki yönlü uluslararası iklim değişikliği müzakerelerinin yürütüldüğü bir döneme girilmiştir (Anonim 5).

Ancak, devam eden 5 Taraflar konferansında bu düzenleme planı konusunda uzlaşmaya varılamamıştır. 2012 senesinde Doha'da düzenlenen 18. Taraflar Konferansında uzlaşma sağlayan taraflar Protokol'ün 2020 senesine kadar sürmesi kararını vermişlerdir. Böylece, ikinci taahhüt dönemi 2013-2020 seneleri olarak belirlenmiştir. Protokolün ikinci taahhüt dönemini oluşturan "Doha Değişikliği" ile EK-B ülkelerinin emisyonlarını birinci taahhüt döneminden farklı olarak 2020 senesinde 1990 yılına oranla en az %18 düşürmeleri kararına varılmıştır (Özmen, 2009).

Türkiye ise, 26 Ağustos 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne Taraf olmuştur. Kyoto protokolü oluşturulduğunda BMİDÇS tarafı olmayan Türkiye, EK-I Taraflarının sayısallaştırılmış sera gazı emisyon sınırlamalarının veya azaltım sorumluluklarının belirtildiği Protokolün EK-B listesine dahil edilmemiştir. Bu nedenle, Türkiye'nin Kyoto Protokolü kapsamında sayısal emisyon sınırlandırma veya emisyon düşürme yükümlülüğü veya taahhüdü bulunmamaktadır (Anonim 5).

1.4.6. Paris Anlaşması

Paris Anlaşması, 12 Aralık 2015 yılında kabul edilmiş ve 4 Kasım 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. Anlaşma, iklim değişikliği ile mücadele de oldukça önemli bir dönüm noktası niteliğindedir. Paris Anlaşması, esas olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne göre hazırlanmıştır ve 2020 yılında Kyoto Protokolü'nün süresinin bitmesinden sonra iklim değişikliği konusunda gerekli düzenlemelerin yapılmasını ve iklim değişikliği tehlikesine karşı dünya çapında sosyoekonomik dayanıklılığın güçlenmesini hedeflemiştir. Paris Anlaşması'nın uzun dönemli amacı, sanayileşme öncesi döneme oranla küresel sıcaklık

yükselişinin 2°C'nin olabildiğince altında (1.5 derece seviyesinde) sınırlandırılmasıdır. Bu amaç, fosil yakıt (petrol, kömür) tüketiminin azaltılarak, yenilenebilir enerjiye yönelinmesini gerektirmektedir (Anonim 6).

Paris Anlaşması'nın en önemli özelliği, Kyoto Protokolü'nden farklı olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin Ulusal Katkı Beyanları ile azaltım eylemine dahil olmasıdır. Tüm ülkelerin emisyon azaltım veya sınırlama amaçlarıyla dahil olmalarını gerçekleştirebilmek için Protokol'den farklı yeni bir yapı meydana getirilmiştir. Taraf ülkelerin yükümlülüklerinin belirlenmesinde aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı olarak belirtilen bir yapı bulunmaktadır. Bu yapının aşağıdan yukarı kısmı, taraf ülkelerin kendilerinin belirledikleri bağlayıcı olmayan gönüllü amaçlardan meydana gelmektedir. Tüm taraflar için geçerli bir raporlama ve gözden geçirme sistemi ile izlenmesi ise, yukarıdan aşağı niteliğini meydana getirmektedir (Anonim 6).

Türkiye, finans ve teknoloji desteklerine erişim talebinin karşılanması şartıyla 2015 senesinde Paris Anlaşmasını kabul etmiş ve 22 Nisan 2016 yılında anlaşmayı geliştirmekte olan ülke olduğunu sözlü olarak belirttikten sonra imzalamıştır. Paris Anlaşmasının onaylanmasının uygun görüldüğüne dair Kanun 7 Ekim 2021 tarih ve 3121 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır. Paris Anlaşması'na ilişkin Onay Belgesi ve Ulusal Beyanımız 11 Ekim 2021 yılında Anlaşma Depoziteri olan Birleşmiş Milletler Genel Sekreterine bildirilmiştir. Anlaşma'nın 30 günlük depoziter süresi 10 Kasım tarihinde sona ermiştir. Bu tarihte Türkiye Paris Anlaşması'na taraf olmuştur (Anonim 6).

1.4.7. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)

Avrupa Birliği (AB), 11 Aralık 2019 tarihinde açıklamış olduğu Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile 2050 senesinde iklim-nötr ilk kıta olma amacını ortaya koymuştur. AB, bu amaç doğrultusunda yeni bir gelişme stratejisi oluşturacağını ve politikalarını merkezinde iklim değişikliği olacak şekilde yeniden belirleyeceğini belirtmiştir. Yeşil Mutabakat, AB politikaları içerisindeki finans, enerji, ulaşım ve tarım sektörü gibi birçok faaliyet alanında geniş çaplı değişikliklerin olacağını gösteren bir girişimdir (Anonim 7).

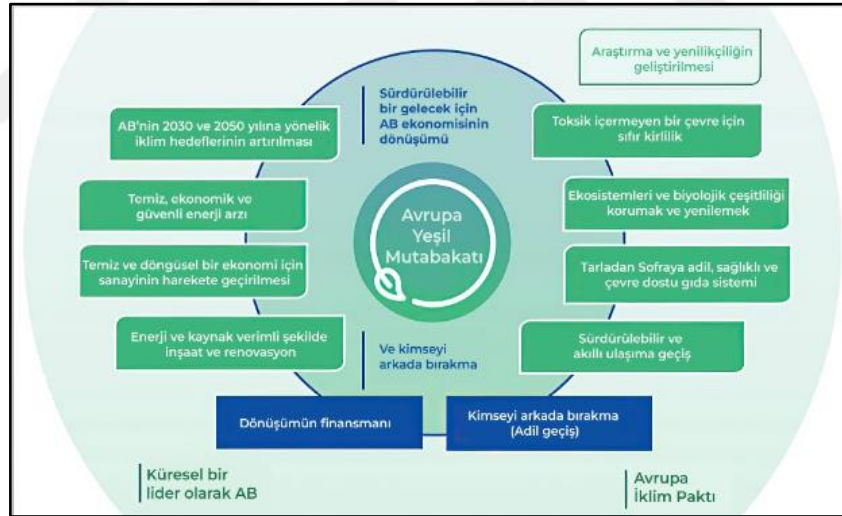
Yeşil Mutabakatın esas unsurlarından birisi de döngüsel ekonomidir. Bu unsur kapsamında, 10 Mart 2020 yılında AB “Yeni Sanayi Stratejisi”, 11 Mart 2020 yılında ise “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” açıklanmıştır. Bu doğrultuda AB, hammadde temini sürecinde ürünlerin üretimi, tüketimi ve atık yönetimi ile alakalı unsurlara yeni kuralları uygulayacağını beyan etmiş ve bilişim teknolojileri, piller ve araçlar, ambalaj, plastik, tekstil, gıda ve besin sektörleri öncelikli uygulama alanları olarak seçilmiştir (Anonim 7).

AB'nin Döngüsel Ekonomi Eylem Planı kapsamında öncelikli ürün tiplerinden başlayacak şekilde ilk süreçte batarya, tekstil, yapı malzemeleri ve ambalajlara dair mevzuat tasarımları yayımlanmıştır. Bu tasarımlarda, ürün gruplarının oluşumundan geri dönüşüm

süreçlerine kadar olan süreçleri kapsayacak şekilde kısacası ürünlerin yaşam döngülerine dair ilgili sürdürülebilirlik kriterlerinin ana hatlarının oluşturulması hedeflenmiştir (Anonim 7).

AB tarafından 1 Şubat 2023 tarihinde açıklanmış olan Yeşil Mutabakat Sanayi Planı ile sanayi sektörünün yeşil dönüşümü, rekabet ve ekonomik süreci konularına dair izlenmesi gereken politika adımları belirlenmiştir. Bu duruma ek olarak, Atık Sevkiyatı Tüzüğü Taslağı ile AB, üçüncü ülkelere atık ihracatını kontrol altında tutmayı amaçladığını belirtirken, öte yandan AB içerisindeki var olan atıkların kaynak olarak ekonomiye dahil edileceği ve ekonomik süreçlerin destekleneceği anlaşılmıştır (Anonim 7).

Ülkemiz için Gümrük Birliği kapsamında, 30 Mart 2022 yılında açıklanan “Sürdürülebilir Ürün İnisiyatifi” kapsamında gıda, yem ve medikal ürünlerin dışında bütün ürün tipleri için sürdürülebilirliğin bir norm olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda “Yeni Eko-Tasarım Tüzüğü Taslağı” ile ürünlerin dayanıklılığının arttığı, onarılabilir, daha az karbon emisyonlu ve geri dönüştürülebilir olabilecek tarzda AB standardında ortak unsurların ve kuralların oluşturulması, ürünlerin AB pazarında talep edilebilmesi için uygun şartlarda oluşturulması ve ürünlere dair bilgilerin yani “dijital ürün pasaportlarının” geliştirilmesi hedeflenmiştir (Anonim 7).



Şekil 8. Avrupa Yeşil Mutabakatı (Anonim 8)

AB'nin sera gazı emisyonlarının %75'inden fazlasını oluşturan enerji sistemi dekarbonizasyonu, AYM ile planlanan dönüşümün odak noktasında bulunmaktadır. AYM amaçları kapsamında AB, güvenilir ve az maliyetli, enerji arzının teminini, entegre, bağlantılı ve dijital enerji pazarının geliştirilmesini, binalardaki enerji performansında gelişme sağlanmasını ve genellikle yenilebilir enerji kaynaklarına dayanan elektrik sistemini meydana getirmeyi amaçlamaktadır (Anonim 8).

AB'nin sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini ulaştırma sektörü meydana getirmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında iklim-nötr amacının sağlanabilmesi için

ulaştırma faaliyetleri sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar 1990 yılı seviyesine göre %90 oranında düşürülmesi öngörülmektedir (Anonim 8).

1.4.8. Avrupa İklim Yasası

Avrupa'nın iklim-nötr bir düzene geçişine yönelik siyasi taahhüdünü hukuki olarak bağlayıcı bir yükümlülüğe dönüştürmek amacıyla, 30 Haziran 2021'de Avrupa İklim Yasası kabul edilmiştir. Bu yasa kapsamında, AB'nin 2030 yılına yönelik olarak öngördüğü sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine kıyasla %40 azaltma hedefi, "1990'a kıyasla en az %55 azaltım" olarak güncellenerek bağlayıcı hale getirilmiştir. Bu güncellenmiş hedef, Aralık 2020'de AB'nin Paris Anlaşması'na yeni katkısı (NDC) olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) sunulmuştur (Anonim 9).

1.5. Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması (SKDM) (Carbon Border Adjustment Mechanism- CBAM)

Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında, AB'nin iklim, enerji, arazi kullanımı, ulaşım faaliyetleri ve vergilendirme politikalarının 2030 senesine kadar 1990 yılındaki seviyesine göre %55 emisyon azaltımı olacak şekilde kontrol edilebilmesi için "Fit for 55 (55'e uyum)" mevzuat değişikliği paketi Avrupa Komisyonu tarafından 14 Temmuz 2021 yılında yayımlanmıştır. Mevzuat değişikliği paketinin en önemli kısımlarından birisi, dünyada ilk kez yapılacak olan Sınırdaki Karbon Düzenlemesi uygulamasıdır (SKDM-CBAM). Bu uygulama ile ürünler için oluşan emisyonlar değerlendirilebilecektir (Anonim 10).

1 Ekim 2023 tarihinden itibaren düzenleme ilk olarak, demir – çelik, çimento, alüminyum, gübre, elektrik ve hidrojen ürünlerini kapsamaktadır. Bu doğrultuda, 1 Ocak 2026 tarihine kadar ki geçiş sürecinde, AB'ye ithal edilen ürünlerin üretimi sürecindeki oluşan karbon emisyonları ve bu süreçteki tüketilen elektrikten kaynaklı (indirekt) emisyonların hesaplanması ve raporlanması işlemleri yapılacaktır (Anonim 10).

1 Ocak 2026 tarihinden itibaren geçilecek uygulama döneminde ise, ithal ürünlere gömülü emisyonlar için, AB'de yetkilendirilmiş ithalatçılar tarafından AB Emisyon Ticaret Sistemindeki (ETS) haftalık karbon fiyatlar göz önüne alınarak karbon ücreti ödenmeye başlanacaktır. Ayrıca, çimento ve gübre sektör alanlarında dolaylı emisyonlar da ücretlendirmeye dahil edilecektir (Anonim 10).

1.6. Yaşam Döngü Analizi (YDA) (Life Cycle Assessment - LCA)

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yönetilen Çevre Yönetim Sistemi kapsamında ISO 14040 serisi olarak tanımlanan Yaşam Döngüsü Analizi, ilk olarak 1960'ların başlarında bir katı atık belirleme sisteminden türetilmiştir. (James, 2003).

İnsanların, şirketlerin ve ülkelerin çevresel duyarlılıklarının artmasıyla birlikte, geleneksel proje yönetim süreçlerinde maliyet hesaplamaları ve performans değerlendirmelerine ek olarak, projeler planlanırken o projenin çevreye, doğal kaynaklara ve ekosisteme olan etkileri de dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, 1990'lı yıllardan beri aktif olarak kullanılan ve sürekli geliştirilen bir yöntem olarak Yaşam Döngüsü Analizi karşımıza çıkmaktadır. (Guinee ve diğ., 2011).

Yaşam döngüsü kavramının amacı, geleneksel çevre mühendisliğinin yalnızca üretim sonrası faaliyetlere odaklanması yerine; üretim, kullanım, tüketim ve atık aşamalarını da kapsayan tüm süreçlerde çevresel perspektifi genişletmektir. Bu, bütünsel ve analiz edilebilir bir yöntem olup, bir ürünün ya da sürecin tüm yaşamı boyunca mümkün olduğunca tüm paydaşlar arasında iş birliğini zorunlu kılmaktadır. (Çokaygil ve diğ., 2005).

Kısacası, bir ürünün veya hizmetin tüm yaşam döngüsünü değerlendirerek çevresel etkilerinin kısmen de olsa önlenmesi ve bu etkilerin analiz edilmesi mümkündür. Süreç, ham maddelerin üretiminden bertaraf edilmesine kadar olan tüm aşamalardan hangisinin en fazla çevresel zarara neden olduğunu tespit etmeyi sağlar. Bu sayede, çevresel performansı en yüksek olan aşamanın geliştirilmesi için organizasyonların ve yapıların faaliyetlerini belirleyip ayarlayabilmesi mümkün hale gelir. (Yılmaz, 2017).

1.7. ISO 14064 Sera Gazı Standartı

Bir kuruluşun veya yapının sera gazı emisyonlarını raporlamak, sera gazı envanterlerini belirlemek, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik projeler geliştirmek ve bu projeleri geçerli hale getirmek amacıyla Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından hazırlanan yol gösterici standartlar bütünüdür (Kaplan, 2011). ISO 14064 Standardı, 45 ülkeyi temsilen 175'ten fazla uzmanın katılımıyla oluşturulmuştur. (Wintergreen ve Delaney, 2007)

Ülkemizde Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Yönetmeliği ile Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Tebliği gibi düzenlemeler, belirli bir eşiğin üzerindeki işletmelerin sera gazı emisyonlarını izlemelerini ve doğrulamalarını zorunlu kılmaktadır. ISO 14064 standardına uygun şekilde faaliyet gösteren şirketler, yalnızca uluslararası kabul görmüş bir standart doğrultusunda çalışmakla kalmayıp aynı zamanda ulusal yasal yükümlülüklerini de yerine getirmiş olacaklardır. Sera gazı envanterlerinin veya sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik projelerin doğrulama ve onaylama süreçleri ise ISO 14065 standardı uyarınca gerçekleştirilir. Bu doğrulama aşaması, yönetmelik kapsamında belirlenen yetkili doğrulayıcı kuruluşlar tarafından yürütülmektedir. Doğrulayıcı kuruluşlar, sera gazı envanterinin uygunluğunu değerlendiren bir rapor hazırlar ve uygun bulunması halinde sera gazı emisyon raporunu onaylar. Böylece, kuruluşlar hem ulusal yasal zorunlulukları yerine getirmiş hem de uluslararası standartlarla uyum sağlamış olurlar (Dindar,2021).

1.8. Karbon Ayak İzi Kavramı

Artan karbon salınımları, küresel ısınmanın sonuçları ve değişen iklim şekilleri yalnızca yerel bir mesele değil, aynı zamanda tüm dünyayı etkileyen bir durumdur. Bir faaliyet sonucunda doğrudan veya dolaylı olarak üretilen karbondioksit emisyonlarının miktarı, karbon ayak izi olarak adlandırılır. (Muthu, 2015). Karbon ayak izi, bir kişi, kurum veya ürünün oluşumunda doğrudan veya dolaylı olarak çevreye saldığı sera gazlarının toplam miktarını ifade eder. Sera gazları, doğal yollarla ya da insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkabilir (Özyonar ve Gökkuş, 2020).

Doğrudan Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 1), işletme içindeki doğrudan emisyon kaynakları tespit edilerek sera gazı emisyonu hesaplanmalıdır. Sabit yanma sonucu oluşan emisyonlar, hareketli yanmadan kaynaklanan emisyonlar, soğutucu gazlardan kaynaklanan salımlar ve yangın tüplerinden kaynaklanan kaçak emisyonlar bu kapsamda ele alınır (Balta, 2020).

Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 2), işletmenin dışarıdan temin ettiği elektrik, buhar ve ısı enerjisinden kaynaklanan sera gazı emisyonları bu kapsamda ele alınır (Balta, 2020).

Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 3), işletmenin doğrudan sera gazı emisyon kaynakları ve enerji dolaylı sera gazı emisyon kaynakları dışında kalan ve üretimle ilgili faaliyetler sonucunda oluşan emisyon kaynaklarıdır. Kapsam 3'te hesaplanacak sera gazı emisyon kaynakları genellikle gönüllülük esasına dayanır. Örneğin; kiralık araçlar, bertaraf için gönderilen atıklar, çalışanların iş ve evleri arasındaki ulaşım sırasında oluşan emisyonlar (servisler, personel araçları), hammadde veya birincil malzemelerin dışarıdan bir kuruluş tarafından üretilmesinden kaynaklanan emisyonlar, taşıyon ve tedarikçilerden kaynaklanan emisyonlar ile iş seyahatlerinden doğan emisyonlar bu kapsamda ele alınır (Balta, 2020).

Kişisel karbon ayak izi, insanların günlük faaliyetleri sonucunda çevreye salınan emisyonlarda ne kadar payı olduğunu gösteren bir kavramdır. Doğaya karşı bireysel farkındalık oluşturarak emisyonların azaltılmasına katkı sağlamak için, üretimin yanında, kurumların temelini de bireyler oluşturduğundan, işe kişilerden başlamak gerekmektedir (Solarin, 2019).

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında mali yıl veya takvim yılının esas alınması, daha doğru ve sağlıklı sonuçlar elde etmek açısından önemlidir. Kurumların, karbon ayak izlerini bilmeleri gerçekleştirdikleri faaliyetler sonucunda açığa çıkan sera gazlarını kontrol altına alabilmeleri için büyük önem taşır. Bu çalışmalar sayesinde, kurumlar faaliyetlerini sürdürürken atmosfere saldıkları sera gazlarının neden olduğu küresel iklim değişikliğine olumsuz etkilerini ve bu bağlamda 'karbon ayak izi' hesaplama yöntemlerini tanıtarak, kurumsal düzeyde karbon ayak izini azaltma stratejilerini ortaya koyarlar (Üreden ve Özden, 2018).

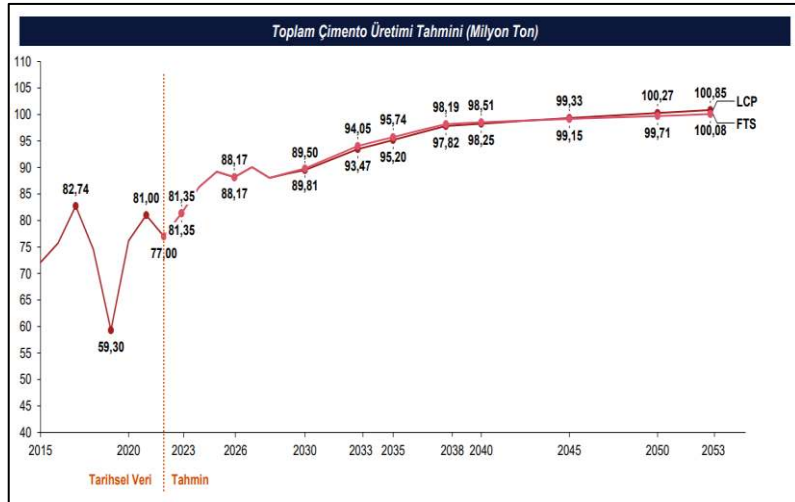
1.9. Çimento Sektörü ve Karbon Ayak İzi

Çimento üretim faaliyeti global düzeyde oldukça önemli bir yere sahiptir. İhtiyaca göre üretim, tüketim ve ihracat oranlarında yıllara göre değişiklikler gözlenmektedir.

2022 yılı itibarıyla Avrupa'nın en büyük çimento üreticisi konumunda olan Türkiye, aynı zamanda dünyanın en fazla çimento ihraç eden ülkesi olmuştur. TÜİK verilerine göre, Türkçimento üyesi olmayan fabrikalar da dahil olmak üzere çimento sektörünün toplam ihracat miktarı %12 azalarak 27,2 milyon tona düşmüştür. Bu ihracatın 18,7 milyon tonu çimento, 8,5 milyon tonu ise klinkerden oluşmuştur. 2022 yılında çimento sektörünün toplam ihracatı ise değer olarak %22,3 artış göstererek 1,5 milyar dolara ulaşmıştır. Bu veriler ışığında, Türkiye 2022 yılında toplam ihracat hacminde ton bazında dünya ikincisi, ancak yalnızca çimento ihracatı açısından değer bazında dünya lideri konumuna gelmiştir. 100'den fazla ülkeye yapılan ihracatta öne çıkan pazarlar ise ABD, İsrail, Suriye ve Fildişi Sahili olmuştur (Anonim 11).

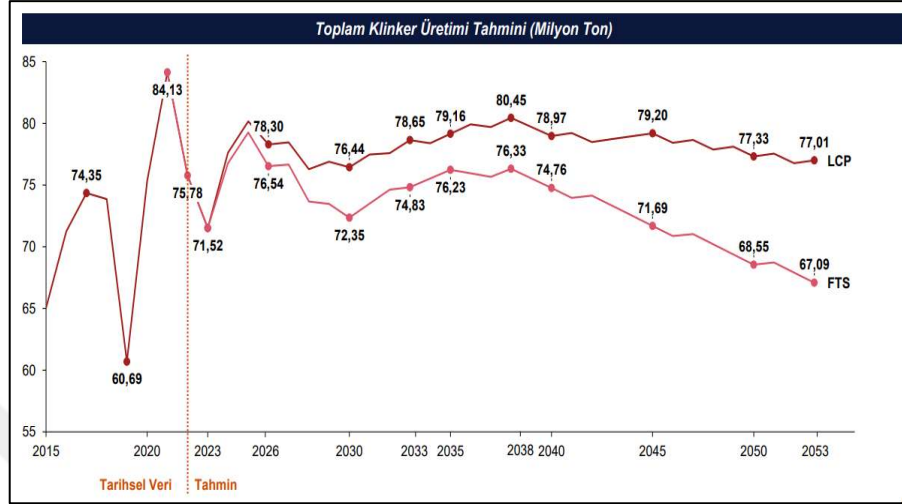
2024 yılının Ocak-Haziran döneminde, çimento üretimi bir önceki yıla kıyasla %10,2 oranında artmıştır. Aynı dönemde, üretilen çimentonun yaklaşık %16,2'si ihraç edilmiştir. 2024'ün ilk 6 ayında iç satışlar, geçen yılın aynı dönemine göre %17,2 artarken, çimento ihracatında %17,6 oranında bir düşüş yaşanmıştır. Sektör, 2023 yılında yaklaşık %20'lik bir büyüme gerçekleştirdikten sonra, 2024'e iç pazarda artış ve dış pazarda düşüşle giriş yapmıştır. 2023'te meydana gelen depremin yarattığı baz etkisi ve Yerel Seçimlerin etkisiyle, yılın ilk çeyreğinde hızlı bir büyüme yakalanmıştır. Mayıs ayında üretim ve satışlar yüksek seviyelerde devam etmiştir. Ancak Haziran ayında, iç satışlar 2024 yılı içinde ilk kez aylık bazda gerilemiştir (Anonim 12).

Yurt içi talep ve ihracattaki artışın etkisiyle, çimento üretiminin 2053 yılında en iyi senaryoya göre 100 milyon ton seviyesine ulaşması beklenmektedir. Şekil 11 de LCP: Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosunu, FTS: En İyi Teknolojiler Senaryosunu ifade etmektedir (Anonim 13).



Şekil 9. Toplam Çimento Üretimi Tahmini (Milyon Ton) (Anonim,13)

Çimento iç talebindeki ve ihracatındaki artış beklentisine rağmen, klinker/çimento oranındaki düşüş sebebiyle toplam klinker üretim gereksiniminin 80 milyon tonun altında kalacağı öngörülmektedir. Şekil 12 de LCP: Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryosunu, FTS: En İyi Teknolojiler Senaryosunu ifade etmektedir (Anonim 13).



Şekil 10. Toplam Klinker Üretimi Tahmini (Milyon Ton) (Anonim,13)

Çimento sektörünün düşük karbon yol haritasının oluşması için yedi ana karbonsuzlaşma kaldıraç ele alınmıştır. Çimento üretimi sırasında Yanma Kaynaklı Emisyonların Azaltılması kapsamında; 1. Termal verimlilik, 2. Yeni ve alternatif yakıtların kullanılması, Proses Kaynaklı Emisyonların Azaltılması kapsamında; 3. Klinker/çimento oranının düşürülmesi, Elektrik Kullanımı Sonucu Oluşan Emisyonların Azaltılması kapsamında; 4. Elektriğin Karbonsuzlaştırılması ve Toplam Emisyonların Azaltılması kapsamında; 5. Beton, tasarım ve inşaat malzeme verimliliği, 6. Rekarbonasyon (CO₂ yutağı) ve 7. CCUS (Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama) olarak karbonsuzlaşma kaldıraçları belirlenmiştir (Anonim 13).

Çimento sektöründe karbon emisyonunu oluşturan en önemli aşama klinker oluşumudur. Klinker oluşumu sırasında gerçekleşen kalsinasyon reaksiyonu sonucu CO₂ oluşumu gözlenmektedir. Ayrıca, klinker üretimi sırasında kullanılan yakıt türleri de CO₂ oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle; klinker üretim sürecinde fosil yakıt tüketimi ve çimento üretimi sırasında kullanılan klinker miktarı azalırsa CO₂ oluşum miktarında azalma gözlenecektir.

Çimento üretimi sırasında kullanılan başlıca malzemeler klinker ve alçıdır. Klinker ve alçı dışında kalker ve kalsine kil gibi katkı malzemeleri de çimento üretiminde kullanılabilir. Çimento kalite sonuçlarına göre; çimento üretiminde kullanılan klinker oranı azaltılarak katkı malzemeleri artırılabilir. Klinker kullanım oranının azalması yakıt tüketiminden ve kalsinasyon reaksiyonundan kaynaklı oluşan CO₂ emisyon miktarında azalmaya neden olacaktır.

Bazı politika yaklaşımları ile çimento üretiminde klinker kullanımının azaltılması sağlanabilecektir. Bu yaklaşımlar; 1. Ülke genelinde, çimentomsu özelliklere sahip doğal (puzolan), yan ürün (yüksek fırın cürufu ve kül) ve atık malzemelerin klinker ikamesi olarak kullanılabilirliğine yönelik kaynak haritalama çalışmalarının gerçekleştirilmesi. 2. Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün Türkiye’deki çimento fabrikalarında kullanımının artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması. 3. Türkiye’de kalsine kile yönelik olası yatırımların ve kullanımının yaygınlaştırılmasına dair çalışmaların yürütülmesi ve bu süreçte kalsine kil kaynaklarının detaylandırılması ve 4. Çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilecek alternatif materyallerin kullanımının teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması şeklinde sıralanabilecektir (Anonim 13).

Ayrıca, karbon yakalama, kullanma ve depolama teknolojileri ve atık ısı geri kazanımı (WHR) teşvik sistemlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gibi uygulamalar ile çimento üretim süreci daha verimli hale getirilebilecektir (Anonim 13).

Türk çimento sektöründe karbon yakalama ve kullanma kapasitesinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların yapılması, Çimento sektörünün kullanımına açık kamuya ve/veya özel sektöre ait bölgesel karbon taşıma, depolama ağlarının oluşturulması ve çimento bazlı malzemelerde karbon kürü veya enjeksiyonuyla karbon kullanımının araştırılması ve bu alandaki teknolojilerin geliştirilmesi gibi politika çalışmaları yürütülebilecektir (Anonim 13).

Buna ek olarak; alternatif yakıt kullanımı, yeşil enerji kaynaklarının yaygınlaşması, proses iyileştirilmesi, rekarbonasyon ve inşaat malzeme verimliliği (düşük karbonlu çimento kullanımının önceliklendirilmesi) gibi çalışmalar ile çimento üretim sürecinde iyileşme ve verimlilik artışı sağlanabilecektir (Anonim 13).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çimento Sektörü ve Diğer Sektörlerde Karbon Ayak İzi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

2019 yılında yapılan bir çalışmada; çimento sektöründe oluşan karbon ayak izi miktarı 2017 ve 2018 yılları için hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre, toplam oluşan emisyon miktarının en büyük payının klinker üretiminden kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Toplam oluşan emisyon dağılımına bakıldığında, klinker üretiminden kaynaklı oluşan emisyonların %65 ve üretim prosesi sırasında tüketilen petrokok, taş kömürü, doğalgaz ve fuel oil gibi yakıtlardan kaynaklı oluşan emisyonların ise %35 e karşılık geldiği belirlenmiştir. Hesaplamalar sırasında; tüketilen atık ve yakıtlardan kaynaklı olarak petrokok, taş kömürü, doğal gaz, fuel-oil, kuru çamur, ATY, atık yağ ve motorin tüketiminden kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. İki yılın hesaplama karşılaştırılması yapılmış ve 2017 yılı ve 2018 yılı verilerine göre ton başı klinker üretimi için sırasıyla 860 kg CO₂ ve 838 kg CO₂ olduğu hesaplanmıştır. Senaryo 1 de; kriterlere uygun olarak taş kömürü miktarının azaltılarak doğalgaz miktarının artırılması ile emisyon miktarının azalması hesaplanmıştır. Senaryo 1 de yakıtların yanması ile oluşan karbon miktarı %38 den %36 ya düşmüş, birim klinker başına oluşan karbon miktarı 860 kg'dan 834 kg'a düşmüştür. Senaryo 2 de taş kömürü miktarı azaltılarak ATY miktarının artırılması değerlendirilmiştir. Senaryo 2 de yakıtların yanması ile oluşan karbon miktarı %38 den %37 ye düşmüş, birim klinker başına oluşan karbon miktarının 860 kg'dan 853 kg'a düştüğü hesaplanmıştır (Şahin, 2019).

2022 yılında yapılan bir çalışmada; çimento sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın 2017-2021 yılları arasındaki emisyon miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında; klinker kaynaklı emisyon miktarı ve linyit, petrol koku, fuel oil, atıktan türetilmiş yakıt (ATY), ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) ve arıtma çamurundan kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre 2017 ve 2021 yılları arasında klinker kaynaklı oluşan emisyon miktarları sırasıyla; 703.272 ton CO₂e/yıl, 744.485 ton CO₂e/yıl, 560.261 ton CO₂e/yıl, 695.374 ton CO₂e/yıl ve 629.420 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Linyit kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla; 33.778 ton CO₂e/yıl, 10.678 ton CO₂e/yıl, 1.150 ton CO₂e/yıl, 23.890 ton CO₂e/yıl ve 45.589 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Emisyon miktarının 2021 yılında 45.589 ton CO₂e/yıl iken 2020 yılında 23.890 ton CO₂e/yıl a gerileyerek %47 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Petrol koku kullanımından kaynaklı emisyonların sırasıyla 340.029 ton CO₂e/yıl, 405.730 ton CO₂e/yıl, 285.172 ton CO₂e/yıl, 333.470 ton CO₂e/yıl ve 247.875 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Emisyon miktarının 2019 yılında bir önceki yıla göre %42 oranında azaldığı görülmüştür. Fuel oil kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 14.328 ton CO₂e/yıl, 1.010 ton CO₂e/yıl, 960 ton CO₂e/yıl, 791 ton CO₂e/yıl ve 1.166 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında emisyon miktarının bir önceki yıla göre %5 oranında azaldığı görülmüştür. ATY kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 33.91ton CO₂e/yıl, 18.457 ton CO₂e/yıl, 27.850 ton CO₂e/yıl, 33.718 ton CO₂e/yıl ve 39.003 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2019-2021 yılları

arasında ÖTL kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 1.559 ton CO₂e/yıl, 483 ton CO₂e/yıl ve 403 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2018-2021 yılları arasında arıtma çamuru kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 24 ton CO₂e/yıl, 84 ton CO₂e/yıl, 14 CO₂e/yıl ve 1 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan (Kapsam 1) toplam emisyon miktarları sırasıyla 0,37863 Mt CO₂e/yıl, 0,4359 Mt CO₂e/yıl, 0,316775 Mt CO₂e/yıl, 0,392366 Mt CO₂e/yıl ve 0,334037 Mt CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır (Yaşar, 2022).

2023 yılında yapılan bir çalışmada; Erciyes Üniversitesi kampüsünde 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait veriler kullanılarak karbon ayak izi hesaplaması konusunda çalışma yapılmıştır. Tez, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında GHG Protokolü kullanılarak hesaplanan soyut eşdeğer karbondioksit emisyon miktarlarını EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) formülleriyle somut terimlere dönüştürüp, karbon azaltma stratejilerinin belirlenmesini içermektedir. Yapılan analiz sonucunda, Erciyes Üniversitesi kampüsünde 2017 yılında 27.304 ton, 2018 yılında 25.243 ton ve 2019 yılında 25.721 ton CO₂ eşdeğeri atmosfere salınmıştır. Kişi başına düşen emisyon değerleri ise her üç yılda da 0,4 ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Erciyes Üniversitesi Kapsam 2 için emisyon kaynağı olarak satın alınan elektriği ele almaktadır. Üç yılda ortalama 30 milyon kWh elektrik tüketimi ve yaklaşık 14500 ton CO₂ salınımı sağlandığı, bu sonuç doğrultusunda Kapsam 2'nin üç yıl bazında toplam emisyonların %56'sını temsil ettiği hesaplanmıştır. Kapsam 2'de değerlendirilen elektrik faaliyetlerinin Erciyes Üniversitesi'nin toplam emisyonlarına son üç yılda en büyük katkıyı yapmasından dolayı bu kapsam üzerinde durulması gerektiği belirlenmiştir. Bu nedenle, Erciyes Üniversitesi kampüsünde yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden yararlanılıp santral kurulabileceği, Üniversitedeki bireysel etkinlikler yerine toplu ve ortak etkinliklerin (örneğin, ders çalışmak için derslik yerine kütüphanelerin kullanılması, paketli gıdalar yerine yemekhanede yemek yenmesi) tercih edilmesi ve üniversiteye gidip gelmek için toplu taşıma veya bisiklet kullanımının teşvik edilmesiyle, kapsam 3 kategorisinde değerlendirilen karbon ayak izinin bileşenlerinin azaltılacağı ifade edilmiştir. Ayrıca, 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait toplam CO₂ eşdeğer miktarı EPA formülleri kullanılarak hesaplandığında, Erciyes Üniversitesi bünyesindeki 1,7 bin dönümlük orman ve botanik bahçelerin karbon tutma ve karbon nötrleme potansiyeline sahip olduğu da belirlenmiştir. (Gürsoy, 2023).

2023 yılında yapılan bir çalışmada; CO₂'nin yol açtığı karbon ayak izi, Aksaray ilindeki karayolu kaynaklı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında IPCC'nin Tier I ve Tier II yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışma, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında Aksaray ilindeki karayolu kaynaklı karbon ayak izini ortaya koymanın yanı sıra, yıllar arasında bir karşılaştırma yapma ve bu dönem içindeki CO₂ miktarındaki değişimleri analiz etme olanağı da sunmaktadır. Bu araştırma, Aksaray ilinde gerçekleştirilen ilk kapsamlı karayolu kaynaklı karbon ayak izi belirleme çalışmasıdır. Hesaplama sonuçlarına göre, 2016 ve 2020 yılları arasında toplam karbon

ayak izi miktarı Tier 1 yöntemine göre sırasıyla 456.986,99 ton, 479.602,77 ton, 621.087,01 ton, 742.941,29 ton ve 752.550,97 ton olarak; Tier 2 yöntemine göre ise 600.463,75 ton, 666.158,04 ton, 644.697,45 ton, 644.359,16 ton ve 660.704,17 ton olarak hesaplanmıştır (Aksoy,2023).

2023 yılında yapılan bir çalışmada; tekstil endüstrisinden kaynaklı karbon ayak izi hesaplanmıştır. Bu çalışmada, İstanbul'da tekstil sektöründe baskı, hazır giyim ve boyama-yıkama alanlarında faaliyet gösteren üç farklı firma için karbon ayak izi örnekleme yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Firmalardan elde edilen veriler, 2020-2022 yıllarına ait olup uluslararası emisyon faktörleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Sera gazı envanterlerine dayanarak, incelenen firmalarda Tier 1 yaklaşımı kullanılarak; doğalgaz tüketimi, elektrik enerjisi kullanımı, su tüketimi, atıksu oluşumu ve atıklardan kaynaklanan karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, 2020-2022 yılları arasında baskı firmasının atmosfere saldıgı sera gazı emisyonu yıllık ortalama 3242,036 ton CO₂eq, hazır giyim firmasının yıllık ortalama 3059,25 ton CO₂eq ve boyama-yıkama firmasının yıllık ortalama 17514,5 ton CO₂eq olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, her firma hem 2020, 2021 ve 2022 yılları için hem de farklı prosesler ve yapılan çalışmalar açısından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, üç farklı senaryo ele alınmıştır. Senaryo 1, atıksuların arıtılmadan yeniden kullanılmasını; Senaryo 2, proses kaynaklı atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanımını; Senaryo 3 ise boru-sonu kompozit atıksuların arıtıldıktan sonra proses suyu olarak yeniden kullanılmasını kapsamaktadır. Bu en iyi tekniklerin (MET) sonucunda, karbon ayak izi miktarında ortalama 1,177 kg CO₂/kg ürün azalma sağlanabileceği, Senaryo 1 sonucunda su ve karbon ayak izinde ortalama 23 m³/ton, Senaryo 2 sonucunda su ve karbon ayak izinde ortalama 55 m³/ton ve Senaryo 3 sonucunda su ve karbon ayak izinde ortalama 66 m³/ton ürün azaltımı elde edilebileceği belirlenmiştir (Öksüm,2023).

2022 yılında yapılan bir çalışmada; Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplaması ve Değerlendirilmesi konusunda karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama, 2022 yılına ait kampüsün ısınma amacıyla kullanılan doğalgaz tüketim verileri, elektrik tüketimi, üniversiteye ait araçlar ve kampüse giren araçların yakıt tüketim miktarları dikkate alınarak salınan karbondioksit miktarı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 23.614 ton CO₂e bulunmuştur. Bunun %73,7'lik kısmı, sera gazı hesaplamalarında Kapsam-3 olarak tanımlanan diğer dolaylı emisyonları, yani kampüse giren akademisyen, misafir araçları ve minibüs-otobüs yakıtlarından kaynaklanan karbondioksit miktarını oluşturmaktadır. Rektörlüğe ait araçların yıllık yakıt tüketim miktarı ve ısınmadan kaynaklanan doğalgaz tüketimi ise doğrudan emisyon Kapsam-1 olarak tanımlanmakta olup, 1.132 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Kapsam-2 olarak tanımlanan dolaylı sera gazı emisyonu ise elektrik tüketiminden kaynaklanan 5.060 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Bazı uygulamalar ile emisyonların azaltılabileceği belirtilmiş olup bunlar; ulaşımda kullanılan araçlar ile üniversitede kullanılan tüm elektronik ve mekanik cihazların ve sistemlerin periyodik bakımlarının yapılması, Üniversite

kampüsü içinde uygun alanlarda GES projeleri uygulanarak enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, doğalgaz sistem çıkışlarına alternatif CO₂ tutucu filtrelerin yerleştirilmesi vb. şeklinde belirtilmiştir. Bu gibi uygulamalar ile sera gazı emisyon artışının önlenmesinde ve sürdürülebilir bir çevrenin sağlanmasında önemli bir rol oynayacağı belirtilmiştir (Karakaya,2022).



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

İşletme; “Hammadde Ocak İşletmesi, Klinker Üretimi ve Çimento Üretimi” konularında faaliyet göstermektedir. İşletmede gerçekleştirilen faaliyet başlıkları aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

- Ocak İşletmeciliği – Hammadde Hazırlama Ünitesi
- Kırıcılar ve Preblending
- Klinker Üretimi Ünitesi
- Çimento Üretim Ünitesi
- Paketleme Ünitesi
- Atık Yakma ve Birlikte Yakma Faaliyeti

İşletmede faaliyet kapsamında başlıca; kırıcılar, farin değirmeni, döner fırın, kömür değirmeni, çimento değirmenleri, paketleme üniteleri ve ATY tesis üniteleri bulunmaktadır.

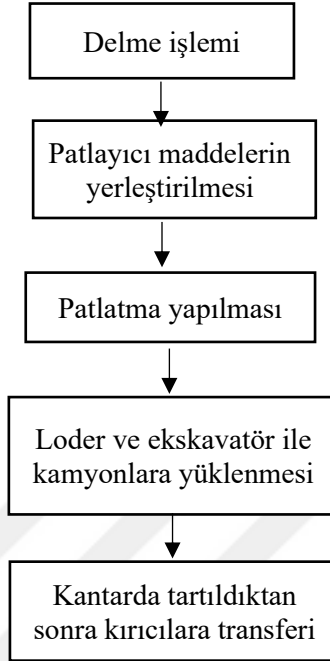
3.1.1. Hammadde Ocak İşletmeciliği Faaliyeti

Çimento üretimi için gerekli olan hammadde ihtiyacı fabrikaya ait olan ruhsatlı hammadde ocaklarından karşılamaktadır. Ocak alanında II. Grup olan kalker (kireç taşı) madeni ile I. Grup olan kil madeni üretilmektedir. Kalker ve kil çimento fabrikasında klinker üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

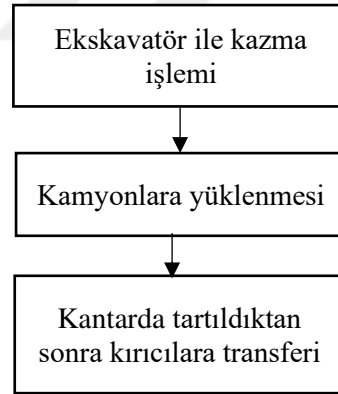
Kalker (kireç taşı), kimyasal bileşimi içerisinde en az %90 oranında CaCO_3 (kalsiyum karbonat) bulunduran kayalara kalker diğer adıyla kireç taşı denilmektedir. Kil, doğada fazlaca bulunan bir tür olup, saf haline erişebilmek oldukça zordur. Genel olarak 0,002 mm’den küçük olan taneli malzemeye kil denilmektedir. Kilin bünyesinde en fazla kalker, silis, mika ve demir oksit mineralleri yer almaktadır ve yapıları gereği su çekme özelliğinde olup, daima nemli formdadırlar. Renkleri ise genellikle; sarımtırak, kıızımtırak ve esmer şeklinde olup, kile rengini veren bünyesinde bulunan yanıcı maddelerdir.

Hammadde sahasında, basamaklı açık ocak işletme yöntemi ile üretim gerçekleştirilmektedir. Açık ocak madenciliği; yer altında varlığı tespit edilmiş madenin yer altına inilmeden doğrudan kazılarak üretilmesi veya üzerindeki örtü tabakasının kaldırılması ve sonrasında cevherin elde edilmesi işlemdir. Ocaklardan hammadde çıkarılırken yapılan başlıca uygulamalar; delme-patlatma, kazma, yükleme ve nakliye şeklindedir.

Uygulanan işlemler sonrasında çıkarılan hammaddeler (kalker ve kil) loder ve ekskavatörler ile kamyonlara yüklenip tartıldıktan sonra konkasör ünitesine (kırıcılara) gönderilmektedir.



Şekil 11. Kalker İş Akışı



Şekil 12. Kil İş Akışı

3.1.2. Klinker Üretim Faaliyeti:

Kırıcılar ve Ön Homojenizasyon (Preblending) Ünitesi: Fabrikada, farin hammaddesinin hazırlanması için 2 adet kırıcı kullanılmaktadır. Kırıcılar, çift rotorlu çekiçli kırıcı şeklindedir.

Kırıcı 1: Hammadde ocaklarından çıkarılan kil, çimento katkı maddeleri, demir cevheri vb. kırıcı 1’de kırılmaktadır.

Kırıcı 2: Hammadde ocaklarından çıkarılan kalker kırıcı 2’de kırılmaktadır.

Kamyonlar ile taşınan hammaddeler (kalker ve kil) kırıcıların bunkerlerine dökülmektedir. 50 cm boyutunda kırıcıya giren hammaddeler yaklaşık 30- 100 mm boyutuna

kadar ufalandıktan sonra kırıcıdan ayrılırlar. Kırıcılarda belirli boyuta gelen hammaddeler konveyör bantlar ile preblending (ön karıştırma) ünitesine stoklanmaktadır. Preblending ünitesinde karıştırma (homojenizasyon) işlemi gerçekleşmekte ve hammaddeler farin değirmenine beslenmektedir.

Ön Homojenizasyon (Preblending) Ünitesi: Preblending ünitesinde; malzeme, dağıtıcı bant ile alana dökülmekte ve homojenize edilmektedir. Alana yayılan malzeme kazıyıcı ve kovalar yardımı ile farin değirmenine beslenmektedir. İlk olarak preblending den çıkan malzeme (premix) farin bunkerine beslenmektedir. Sahadan çıkarılan kil ise kil bunkerine beslenmektedir. Malzemeler bu iki bunkerden belirli oranlarda alındıktan sonra farin değirmenine beslenmektedir.

Farin değirmeni: Kırıcılarda kırılan ve preblending ünitesinde ön homojenizasyon işlemi uygulanan hammadde stokholden farin değirmenine iletilmektedir. Farin değirmenine gelen malzemeler değirmende bulunan valsler yardımıyla ezilerek mikron seviyesine kadar küçültülmektedir. Farin değirmeninde belli boyuta kadar incelen malzemeye Fransızca'da un anlamına gelen “farine” kelimesinden türeyen farin adı verilmektedir. Değirmende öğütülen farin, döner fırına beslenmeden önce farinin stoklandığı farin silosuna sevk edilmektedir.

Fırın Torbalı Filtre: Farin değirmeninden ve döner fırından çıkan gaz ve tozlar fırın torbalı filtrelere gönderilmektedir. Buradaki fanlar yardımıyla emiş sağlandıktan sonra tozlar filtrelerin altında yer alan bunkerlere dökülmektedir. Bunkerlere dökülen tozlar zincirli taşıyıcılar ile farin silosuna beslenmektedir. Emisyonlar ise sınır değeri sağlar şekilde bacadan atmosfere gönderilmektedir.

Soğutma Kulesi: Döner fırından gelen sıcak gaz farin değirmeninde (öğütmeyi kolaylaştırmak /nemi uzaklaştırmak için) kullanılmaktadır. Farin değirmeni durduğu zaman, sıcak gaz doğrudan atmosfere verilemeyeceği için soğutma kulesine gönderilmektedir. Soğutma kulesi farin değirmeni durduğu zamanlarda devreye alınmaktadır. Sıcak gaz soğutma kulesinden sonra fırın torbalı filtreye alınmaktadır.

Farin Silosu: Farin, değirmende öğütüldükten sonra farin silosuna sevk edilmektedir. Farin silosunun altında bulunan havalı bantlar vasıtasıyla havalı banta dökülen malzemeler elevatörler yardımı ile ikinci siklona aktarılmaktadır.

Kalsinatör, Ön Isıtıcı Kule ve Döner Fırın Ünitesi: Farin silosundan elevatörler ile taşınan farin malzemesi ikinci siklon katından beslenmektedir. İkinci siklona beslenen farin vorteks hareketi ile kinetik enerjisini kaybederek aşağı doğru hareket etmektedir. Fırına girecek olan malzemenin yani farinin içeriğinde genel olarak, Fe_2O_3 , SiO_2 , $CaCO_3$, $MgCO_3$, Al_2O_3 , SO_3 bulunmaktadır.

Çift siklon katında (en üst katta) baca gazı emiş hattı bulunmaktadır. Burada, klinker soğutma ünitesinde kullanılan hava fırından geçtikten sonra çift siklon katına ulaşmaktadır. Çift siklon katında toz ve sıcak hava tutulduktan sonra fırın torbalı filtreye gönderilmektedir.

LSF (Kireç doygunluk faktörü) oranı, CaO, Fe₂O₃, SiO₂ ve Al₂O₃ oranlarına bağlıdır. LSF oranı, CaO ile doğru orantılı olup, diğer kimyasal türleri ile ters orantılıdır. Ürünün kalitesi için, LSF değerinin optimum seviyede olması gerekmektedir.

Siklonlarda genel olarak ısı verilerek nem kaybetme işlemi yapılmaktadır. İlk olarak 2. siklonda nem oranı azalmaktadır, burada ağır malzemeler aşağı inerken, hafif malzemeler yukarı doğru hareket etmektedir. 3. siklonda nem oranının azalması devam ederken kalsinasyon işlemi başlamaktadır. Bu siklonda kalsinasyon işleminin yaklaşık %20 si tamamlanmaktadır. 4. siklonda ise, %95 oranına kadar kalsinasyon işlemi devam etmekte ve malzemenin fırına girişi gerçekleşmektedir. Siklonlardan fırına girene kadarki süreçte gerçekleşen işlem kalsinasyon reaksiyonudur. Kalsinasyon işlemi, 3. siklonda başlayarak 4. siklonda devam etmektedir.

Kalsinasyon: Kalsiyum karbonatın (CaCO₃), kalsiyum okside (kireç) ve karbondioksit (CO₂) ayrışma işlemidir.

$$\text{CaCO}_3 (k) \rightarrow \text{CaO}(k) + \text{CO}_2 (g)$$
 (Bu reaksiyon 3. siklonda başlar ve 4. siklonda devam eder.)

Kalsinatör: Kalsinatör ön ısıtıcı görevi görerek, malzemenin fırına girmeden önce kalsinasyon işleminin büyük oranda gerçekleşmesini sağlamaktadır. Soğutma ünitesinden gelen sıcak hava kalsinatörden 4. siklona bağlanmaktadır. Kalsinatöre, yakıt amacıyla atıklar beslenmektedir. Başlıca beslenen atıklar, petrokok, ATY (atıktan türetilmiş yakıt), sıvı atık (sintine vb.) vb. atık türleridir.

Döner Fırın Ünitesi: Döner fırının uzunluğu yaklaşık 64 m ve çapı 4,60 m olup, fırın %5 eğimlidir. Fırının içerisi 1300 dereceye kadar ısınmakta olup, fırının içerisi yüksek ısıya dayanıklı refrakter tuğla ile kaplıdır.

Döner fırında 3 kademede işlemlerin gerçekleştiği düşünülecek olursa, ilk giriş kısımlarında kalsinasyon işlemi devam etmekte ve %100 e ulaşarak kalsinasyon süreci tamamlanmaktadır. Fırının ikinci bölümü ise, üst geçiş bölgesi olarak adlandırılır ve bu bölgede sinterleşme işlemi başlamaktadır. Üçüncü bölüm ise alt geçiş bölümü olarak adlandırılır ve sinterleşme işlemi bu bölümde de devam eder ve tamamlanır. Bu işlemlerin sonucunda klinker oluşur ve fırından çıkarak soğutma bölümüne geçiş sağlar.

Fırında gerçekleşen reaksiyonlardan en önemlisi kalsinasyon işlemidir. Diğer gerçekleşen reaksiyonlar ile çimentoya renk verilmekte ve çimentoya dayanıklılık sağlanmaktadır.

Kalsinasyon reaksiyonu:

$$\text{CaCO}_3 (k) \rightarrow \text{CaO}(k) + \text{CO}_2 (g)$$
 (Fırının ilk 30 metresine kadar tamamlanmaktadır.)

Sinterleşme (Klinkerleşme): Sinterleşme çimento sektöründe önemli bir aşamadır. Kalsinasyon aşamasından sonra karışım yüksek sıcaklıkta kalsiyum oksit, silis, alümina ve demir oksit gibi bileşenler ile reaksiyona girerek klinker minerallerini oluşturmaktadır. Bu mineraller arasında alit, belit, alüminat ve ferrit bulunmaktadır.

Malzeme bu aşamada eriyerek sıvı hale geçmez ancak katı formda reaksiyona girerek yoğun ve sert klinker tanelerini meydana getirir. Bu taneler sinterleşme sonucu oluşmaktadır. Sinterleşmenin uygun sıcaklıkta ve sürelerde gerçekleşmesi kaliteli çimentonun üretimi için büyük öneme sahiptir.

Kömür değirmeni: Değirmenlerde öğütülen kömür ve petrokok döner fırın ve ön ısıtıcı yanma sistemlerine beslenmektedir.

3.1.3. Atık Yakma ve Birlikte Yakma Faaliyeti:

Katı atıkların (ATY) döner fırına beslenmesi: Atıklar fırınlarda enerji elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Katı atıklar kamyonlar ile alternatif yakıt besleme sistemi yer bunkerlerine dökülmektedir. 2 adet bunkere dökülen ATY, lastik vb. diğer atıklar (alternatif yakıtlar) helezonlar vasıtasıyla tartım bandına ve konveyör bant ile döner fırının kalsinatör kısmında yer alan yanma odasına gönderilmektedir. Sistem merkezi kumanda kontrolünde otomatik olarak gerçekleşmektedir. Otomatik besleme sistemi ile atıklar en verimli ve yararlı şekilde üretim sürecinde kullanılmaktadır.

Sıvı atık besleme sisteminde: Atık yağ, tank dibi çamuru, vb. sıvı atıklar tanklarda depolanmaktadır. Tank çıkışındaki pompalar yardımıyla döner fırın kalsinatör hattına verilerek bertarafı sağlanmaktadır.

Kuru granül atık besleme sisteminde: Atıklar, granül atık besleme bunkerine alınmaktadır. Bunkerlerin altında yer alan tartım bandından geçen atıklar blowerdan sağlanan hava ile döner fırına beslenmektedir.

Temin edilen ATY ve diğer ek yakıtlara proses öncesinde, gerekli durumlarda veya üretim sürecinde bazı analizler (kimyasal içerik tayini, rutubet, ısı değeri, ağır metal vb.) yapılmaktadır. Sisteme dahil edilmeye uygun olan atıklar besleme bunkerlerine alınır ve taşıyıcı bantlar vasıtasıyla döner fırın kalsinatör hattına verilerek bertarafı sağlanır.

Klinker Soğutma Ünitesi: Klinkerin soğutma işlemi soğutma ünitesinde fanlardan gelen hava ile sağlanmaktadır. Soğutma işlemi sırasında ortaya çıkan klinker tozu ve hava torbalı filtreye geçiş yapmaktadır. Filtrede tutulan toz alt kısımda bulunan zincirli helezonlar yardımıyla klinker stokholüne gönderilmektedir. Tozun filtrede tutulmasından sonra temiz hava ise bacadan çıkmaktadır. Klinker bu aşamadan sonra klinker stokholüne gönderilmektedir.

Klinker Stokholü: Klinker, soğutma ünitesinde soğutulduktan sonra klinker stokholünde depolanmaktadır. Stokholde depolanan klinker çimento üretim bölümüne taşınmaktadır.

3.1.4. Çimento Üretim Ünitesi

Çimento besleme bunkerleri; alçı bunkerleri, katkı (hammadde – kalker, cüruf gibi) bunkerleri ve klinker bunkeridir. Bu üçü belirli oranlarda birleşerek bant vasıtasıyla ilk olarak roller prese (ön ezici) sonrasında ise çimento değirmenine beslenmektedir.

Değirmen içerisindeki bilyalar ile öğütme sağlanmaktadır. Çimento değirmenine giren malzeme içerisinde kimyasal ilave edilmektedir. Kullanılan kimyasalın görevi, çimento dayanımı artırma, priz süresi geciktirme (donma süresi) ve öğütmeyi kolaylaştırmaktır. Oluşan ürün çimento silolarında stoklanmakta ve istenen ambalaj tipine göre paketlenmesi yapılmaktadır.

3.1.5. Paketleme Ünitesi

Silolarda stoklanmış olan çimento müşteri talebine göre 3 farklı tipte sevk edilebilmektedir. Bunlar; torbalı çimento, dökme çimento (silobus) ve big bag çuvallardır.

3.1.6. Çimento Üretiminde Oluşan Emisyonlar

Toz

Çimento sektöründe üretim sürecinden kaynaklı olarak toz emisyonu oluşan emisyonların başında gelmektedir. Toz oluşumuna neden olan bazı aşamalar; hammadde hazırlığı için patlatma faaliyeti, fabrika içerisinde hammadde/malzeme taşıma süreci, hammaddelerin kırıldığı kırma üniteleri, fırın bacası, değirmenler, yakıtların (kömür, petrokok) depolanması, çimento sevkiyatı vb. şeklindedir. Toz emisyonları için, elektrofiltre ve torbalı filtreler kullanılmaktadır.

Karbondiyoksit (CO₂) Emisyonları

Çimento sektöründe CO₂ emisyon kaynağının başlıca sebepleri;

Kalker (kireç taşı) kalsinasyonu: Çimento üretiminde en önemli karbondiyoksit kaynağıdır. Kalker, yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 1450°C) kalsine edilerek kalsiyum oksit (CaO) ve karbondiyoksit (CO₂) açığa çıkarır.

Fosil yakıt kullanımı: Fırınlarda kömür, petrol koku, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanması da CO₂ salınımına yol açar. Bu süreçte, kullanılan yakıtın karbon içeriği ne kadar fazlaysa, açığa çıkan CO₂ miktarı da o kadar yüksek olur.

Azot Oksitler (NO_x) Emisyonları

Yüksek sıcaklıklarda yanma işlemi sırasında havadaki azot (N₂) ve oksijen (O₂) gazlarının reaksiyona girmesi ile azot oksitler (NO_x) meydana gelmektedir. NO_x emisyonu, asit yağmurlarına neden olabilir ve atmosferde ozon tabakasına zarar verebilir.

Kükürt Oksitler (SOx) Emisyonları

Yakıtların içindeki kükürt bileşikleri, fırında yanma sırasında kükürt oksitlere (SOx) dönüşür. Özellikle yüksek kükürt içeriğine sahip kömür ve petrol koku gibi yakıtlar kullanıldığında SOx emisyonları artar. Bu gazlar asit yağmurlarının oluşmasında etkilidirler.

Partikül Madde (PM) Emisyonları

Fırınlardan çıkan gazlarla taşınan ince toz ve kül parçacıklarıdır. Bu partiküller, çevreye yayıldığında hava kalitesini düşürür ve insan sağlığına olumsuz etkilerde bulunur.

Karbon monoksit (CO)

Ateşleme işlemi sırasında yanma işleminin tam olarak gerçekleşmemesi ve uygun olmayan pişirme koşullarından ortaya çıkmaktadır.

Uçucu organik bileşikler (VOC)

Bazı organik maddelerin yanması sırasında veya çimento üretiminde kullanılan yardımcı kimyasallardan kaynaklanabilmektedir.

Bu emisyonlar, çevresel ve sağlık açısından önemli riskler teşkil etmekte ve çimento üretim tesislerinde bu emisyonları en aza indirmek için çeşitli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler arasında, alternatif yakıtların kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması, filtreleme sistemleri ve baca gazı arıtma teknikleri bulunmaktadır.

Toplam Organik bileşikler

TOC emisyon oluşumunun nedenlerine bakıldığında;

Hammaddeler: Çimento üretiminde kullanılan kil, kalker gibi hammaddeler doğal olarak organik karbon barındırabilir. Bu maddeler, ısıtıldıklarında organik bileşenlerini gaz halinde salarak TOC emisyonlarına neden olabilir.

Yakıtlar: Fosil yakıtlar (kömür, petrol koku, doğal gaz) organik bileşikler içerir. Yanma sürecinde tam yanmayan organik maddeler, TOC emisyonlarına yol açabilir.

Yardımcı Kimyasallar: Çimento üretimi esnasında kullanılan bazı kimyasallar (örneğin, öğütme yardımcıları), uçucu organik bileşikler içerebilir ve bu da TOC emisyonlarına katkı sağlayabilir.

TOC emisyonları, atmosferde fotokimyasal reaksiyonlara girerek ozon ve diğer kirleticilerin oluşumuna neden olabilir. Bu durum, hava kirliliğine ve özellikle şehirlerde görülen smog oluşumuna katkıda bulunabilir. Ayrıca, TOC emisyonları insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.

Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF)

Çimento üretim sürecinde, özellikle yakma işlemi sırasında Poliklorlu Dibenzo-dioxinler (PCDD) ve Poliklorlu Dibenzofuranlar (PCDF) gibi tehlikeli organik bileşikler oluşabilir. Bu bileşikler, dioksinler ve furanlar olarak bilinir ve son derece zararlıdır. PCDD ve PCDF, düşük miktarlarda bile çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir. PCDD ve PCDF oluşum nedenlerine bakıldığında;

Yakma Sıcaklığı: Çimento üretiminde kullanılan fırınlar oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşır (yaklaşık 1450°C). Ancak, PCDD ve PCDF'nin oluşumu genellikle 200-500°C aralığında, yani yanma sonrasında gazların soğuma aşamasında meydana gelir. Bu sıcaklık aralığı, organik maddelerin ve klorlu bileşiklerin reaksiyona girerek dioksin ve furanları oluşturduğu kritik bir evredir.

Klor İçeriği: Yakıtlar, hammaddeler veya yardımcı kimyasallarda bulunan klorlu bileşikler, PCDD ve PCDF oluşumunda belirleyici bir faktördür. Özellikle atık yakıtların kullanımı veya klor içeren hammaddeler, bu zararlı bileşiklerin oluşma riskini artırabilir.

Organik Madde: Fırına beslenen hammaddeler, yakıtlar veya fırının içinde birikmiş organik maddeler, PCDD ve PCDF'nin oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu organik maddeler, klor ile reaksiyona girerek dioksin ve furanları oluşturabilir.

PCDD ve PCDF'ler, çok düşük seviyelerde bile son derece toksik olup, kanserojen etkilere neden olabilir. Ayrıca, bağışıklık sistemi, üreme sistemi ve hormon düzeni üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilir. Bu bileşikler çevrede uzun süre kalabilir ve biyobirikim yoluyla besin zincirine geçebilir, bu da insan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturur.

Hidrojen Klorür ve Hidrojen Florür

Çimento üretim sürecinde hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) gibi asidik gazlar çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelebilir. Bu gazların oluşumu, kullanılan hammaddeler ve yakıtların bileşimi ile doğrudan ilişkilidir.

Hidrojen Klorür (HCl) oluşumunun nedenlerine bakıldığında;

Klor İçeriği: Çimento üretiminde kullanılan bazı hammaddeler (örneğin, kil, kalker) veya yakıtlar (kömür, petrol koku, atık yakıtlar) klor içerebilir. Bu klor, yüksek sıcaklıklarda fırında yanma veya kalsinasyon sırasında hidrojenle reaksiyona girerek hidrojen klorür (HCl) gazını oluşturur.

Atık Yakıtlar: Çimento fırınlarında bazen endüstriyel atıklar, biyokütle veya lastik gibi alternatif yakıtlar kullanılabilir. Bu atıklar klor içerebilir ve yanma sürecinde HCl emisyonlarına neden olabilir.

Hidrojen Florür (HF) oluşumunun nedenlerine bakıldığında;

Flor İceriği: Çimento üretiminde kullanılan bazı hammaddeler (özellikle bazı kil türleri veya fosfat içeren mineraller) doğal olarak flor barındırır. Bu hammaddeler yüksek sıcaklıklarda işlenirken serbest kalan flor, hidrojenle birleşerek hidrojen florür (HF) gazını oluşturur.

Yakıtlar: Kullanılan yakıtlar da flor içerebilir. Yanma sırasında florun serbest kalması HF oluşumuna yol açar.

Hidrojen klorür (HCl), çevrede asidik özellik gösterir ve su kaynaklarına karıştığında asidik yağmurlara neden olabilir. HCl'nin solunması insan sağlığı üzerinde tahriş edici etkiler yaratabilir, özellikle solunum yollarında zararlı olabilir.

Hidrojen florür (HF), hem çevreye hem de insan sağlığına ciddi zararlar verebilir. HF, solunum yollarında ve ciltte ciddi tahrişlere ve yanıklara yol açabilir. Ayrıca, çevreye salındığında bitki örtüsüne ve su kaynaklarına zarar verebilir.

Metaller ve Bileşikler

Çimento üretim sürecinde metal emisyonları, çeşitli kaynaklardan meydana gelebilir ve farklı metal türleri oluşabilir. Bu metaller hem hammaddelerden hem de yakıtların bileşiminden kaynaklanır. Çimento üretimindeki metal oluşumunun temel nedenleri:

Hammaddeler: Çimento üretiminde kullanılan bazı hammaddeler doğal olarak çeşitli metaller içerebilir. Örneğin:

Kil ve Kalker: Bu hammaddeler çeşitli metal oksitleri ve iz elementleri barındırabilir. Yüksek sıcaklıklarda fırında işlenirken, bu metaller gaz fazına geçebilir.

Yan Ürünler ve Atıklar: Çimento üretiminde kullanılan yan ürünler veya atık materyaller de metal içerebilir. Bu atıklar, çeşitli metal oksitlerin fırın içinde serbest kalmasına neden olabilir.

Yakıtlar: Kullanılan fosil yakıtlar (kömür, petrol koku) veya alternatif yakıtlar (biyokütle, atık yakıtlar) metal içerebilir. Yanma sırasında bu metaller atmosfere salınabilir.

Fırın Ekipmanları: Çimento fırınlarında kullanılan metal ekipmanlar ve yapısal malzemeler zamanla aşınabilir ve bu metaller fırın gazlarına karışabilir.

Yaygın Metal Türleri

Kurşun (Pb): Özellikle bazı atık yakıtların veya hammaddelerin içinde bulunabilir.

Kadmiyum (Cd): Çeşitli endüstriyel atıklar veya bazı hammaddelerden kaynaklanabilir.

Civa (Hg): Atık yakıtlar ve bazı hammaddeler civa içerebilir.

Çinko (Zn), Bakır (Cu), Nikel (Ni): Bu metaller çeşitli hammaddelerde bulunabilir ve fırın işlemleri sırasında gaz fazına geçebilir.

Metal emisyonları; çevrede birikerek toprak ve su kaynaklarını kirlitebilir. Bu metallerin çevredeki konsantrasyonları, bitki örtüsü ve ekosistem üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir.

Ayrıca; metal emisyonları solunum yolları ve cilt üzerinde tahriş edici olabilir. Ayrıca, bazı metaller (örneğin, kurşun ve kadmiyum) toksik olup uzun vadeli maruziyet sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

3.2. Metod

Hesaplamalar yapılırken; Ulusal Sera Gazı Envanterleri için 2006 IPCC Kılavuzları, Sera Gazlarının Küresel Isınma Potansiyel (KIP) değerleri - IPCC 2021 AR6 verileri, DEFRA 2023 verileri, Ulusal Envanter (Emisyon Faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değer (NKD)) değerleri, Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ, Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik, Akredite Laboratuvar analiz sonuçları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) Emisyon Faktörleri Bilgi Formu ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) bilgi ve verilerinden yararlanılmıştır.

Karbon ayak izi hesaplaması sırasında kullanılan fabrika verilerinin Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 kategorilerine göre belirlenmiş olan emisyon kaynakları tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kapsam Türlerine Göre Karbon Ayak İzi Emisyon Kaynakları

Kapsamlar	Emisyon Kaynağı
Kapsam 1- Direkt (Doğrudan) Emisyonlar	• Proses Kaynaklı (Klinker Üretimi, Farin Tüketimi), • Yakıtların/Atıkların Kullanımı (Petrol Koku, Kömür, Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), Sintine, Motorin ve Doğalgaz), • Yakıt (Motorin) Kullanımı (Jeneratör), • Yakıt (Motorin) Kullanımı (İş Makinaları vb.) (off road) • Yakıt (Benzin) Kullanımı (Hızar, çim biçme makinaları vb.) (off road) • Yakıt (Benzin) Kullanımı Ulaşımdan Kaynaklı (Binek araçları-on road) • Yakıt (Dizel) Kullanımı Ulaşımdan Kaynaklı (Binek araçları-on road) • LPG Tüketimi, • Propan Tüketimi, • Yangın Söndürücü ve • Soğutucu Gazlar (R22, R407C)
Kapsam 2- İthal Edilen Enerji Kaynaklı Emisyonlar	• Elektrik Tüketimi

Tablo 1. Kapsam Türlerine Göre Karbon Ayak İzi Emisyon Kaynakları (Dvamı)

Kapsam 3- Diğer Kaynaklı Emisyonlar	• Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi – Karayolu • Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Dahili Nakliye • Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi – Denizyolu • Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı – Karayolu • Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı- Denizyolu • Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi – Karayolu • Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi – Denizyolu • Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı – Karayolu • Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı – Denizyolu • İş Seyahatleri – Karayolu • İş Seyahatleri- Havayolu (İç Hatlar) • İş Seyahatleri- Havayolu (Kısa Mesafe) • Çalışanların Servis Kullanımı (Dizel) • Şirket Araçları (Kiralık) (Benzin) • Şirket Araçları (Kiralık) (Dizel) • Tehlikesiz Atık • Tehlikeli Atık • Su Kullanım Miktarı • Atıksu Miktarı • Otelde Konaklama
-------------------------------------	---

Karbon ayak izi hesaplamaları sırasında; Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 kategorileri değerlendirilmiş ve temin edilen veriler ile hesaplama yapıldıktan sonra tCO₂ cinsinden emisyon değeri bulunmuştur. Hesaplamalar sırasında CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon gazları göz önünde bulundurulmuştur. Bu gazların Küresel Isınma Potansiyelleri (KIP) IPCC AR6 değerlerine göre belirlenmiştir.

Tablo 2. Küresel Isınma Potansiyelleri (IPCC AR6 Global Warming Potential Values)

CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	27,9	273

CH₄ ve N₂O emisyonlarından kaynaklanan sera gazı miktarlarının belirlenmesi sırasında emisyonların Küresel Isınma Potansiyelleri (KIP) ile çarpılması sonucunda tCO₂e cinsinden sera gazı emisyon miktarına ulaşılmıştır. (CO₂ (eşd): CO₂ dışındaki sera gazının CO₂ nin küresel ısınma potansiyeli üzerinden eş değeri olarak ifade edilen değeridir.)



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kapsam 1 Emisyonları

Kapsam 1 emisyonları; direkt (doğrudan) emisyonlar olup, kuruluş faaliyetlerinden kaynaklı olarak doğrudan atmosfere salınımı olan gazlardır.

Kapsam 1 kategorisinde değerlendirilen başlıklar ve Faaliyet Verileri (FV) aşağıda tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kapsam 1 Faaliyet Verileri (FV)

Faaliyet Verisi	Miktarı	Birimi
Klinker Üretimi	1.345.202	ton
Farin Tüketimi	2.084.993,35	ton
Petrol Koku	116.548,50	ton
Kömür	9.696,98	ton
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	67.922,78	ton
Sintine	3.228,98	ton
Motorin	1.350	litre
Doğalgaz	463.700	stdm ³
Motorin (Jeneratör Kullanımı)	2.500	litre
Motorin (iş makinaları) (off road)	47.650	litre
Benzin (Hızar, çim biçme makinaları vb.) (off road)	707,22	litre
Şirket araç yakıtları- Benzin (on road)	10.714	litre
Şirket araç yakıtları- Dizel (on road)	5.281	litre
LPG (Hurda kesme işlerinde)	1,99	ton
Propan	9,68	ton
CO ₂ Yangın Söndürücü	0,352	ton
Soğutucu Gaz- R22 (klima)	128	kg
Soğutucu Gaz- R407 C (Diflorametan)	27,39	kg
Soğutucu Gaz- R407 C (Norflurane)	68	kg
Soğutucu Gaz- R407 C (Pentafloroetan)	41	kg

Kapsam 1 kategorisinde hesaplamalar sırasında kullanılan Net Kalorifik Değerler (NKD) verileri aşağıda tablo 4 de gösterilmektedir.

Tablo 4. Kapsam 1 Net Kalorifik Değerler (NKD)

Faaliyet Verileri	Net Kalorifik Değer	Birimi	Veri Kaynağı
Klinker Üretimi	–	–	–
Farin Tüketimi	–	–	–
Petrol Koku	30,84	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi
Kömür	24,20	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	15,40	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi
Sintine	35,83	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi
Motorin	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Doğalgaz	53,52	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Motorin (Jeneratör Kullanımı)	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Motorin (iş makinaları vb.) (off road)	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Benzin (Hızar, çim biçme makinaları vb.) (off road)	44,8	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Şirket araç yakıtları- Benzin (on road)	44,8	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Şirket araç yakıtları- Dizel (on road)	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
LPG	47,31	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Propan	–	–	–
CO2 Yangın Söndürücü	–	–	–
Soğutucu Gaz- R22	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Diflorometan	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Norflurane	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Pentafloroetan	–	–	–

Kapsam 1 kategorisinde hesaplamalar sırasında kullanılan Emisyon Faktörleri (EF) verileri aşağıda tablo 5 de gösterilmektedir.

Tablo 5. Kapsam 1 Emisyon Faktörleri (EF)

FAALİYET VERİLERİ	EMİSYON FAKTÖRÜ								
	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı
Klinker Üretimi	0,534	tCO ₂ /ton	CaO, MgO ve Fe ₂ O ₃ analizi	–	–	–	–	–	–
Farin Tüketimi	0,005	tCO ₂ /ton	TOC analizi	–	–	–	–	–	–
Petrol Koku	94,863	tCO ₂ /TJ	Toplam karbon analizi	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Kömür	97,370	tCO ₂ /TJ	Toplam karbon analizi	10	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	1,5	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	97,225	tCO ₂ /TJ	Toplam karbon analizi	30	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	4	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Sintine	69,015	tCO ₂ /TJ	Toplam karbon analizi	30	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	4	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Motorin	72,30	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Doğalgaz	55,40	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	1	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,1	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Motorin (Jeneratör Kullanımı)	72,30	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Motorin (iş makinaları vb.) (off road)	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,00415	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0286	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Benzin (Hızar, çim biçme makinaları vb.) (off road)	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,13	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0004	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Şirket araç yakıtları- Benzin (on road)	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,025	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,008	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Şirket araç yakıtları- Dizel (on road)	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU

Tablo 5. Kapsam 1 Emisyon Faktörleri (EF) (Devamı)

LPG	63,10	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	0,001	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0001	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Propan	2,993	tCO ₂ /ton	IPCC 2006 Kılavuzu	–	–	–	–	–	–
CO2 Yangın Söndürücü	1	tCO ₂ /ton	IPCC 2006 Kılavuzu	–	–	–	–	–	–
Soğutucu Gaz- R22	1.810	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik- KIP Verisi	–	–	–	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Diklorometan	675	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik- KIP Verisi	–	–	–	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Norflurane	1.430	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik- KIP Verisi	–	–	–	–	–	–
Soğutucu Gaz- R407 C Pentafloroetan	3.500	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik- KIP Verisi	–	–	–	–	–	–

4.1.1. Proses Kaynaklı CO₂ Emisyon Hesaplaması

Proses kaynaklı emisyonlar hesaplanırken, üretilen klinker miktarı ve tüketilen farin (ham madde) miktarına ait veriler kullanılmıştır.

Klinker Kaynaklı Emisyon Hesaplaması

Klinker üretiminden kaynaklı emisyon; üretilen klinker miktarı, klinkere ait emisyon faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü, Akredite Laboratuvar analizi (CaO, MgO ve Fe₂O₃) ile belirlenmektedir.

Klinker Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi (FV) X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü

2023 yılı verilerine göre, klinker kaynaklı emisyon miktarı 718.878 ton CO₂ dir.

Karbonat Olmayan Karbon (Farin) Kaynaklı Emisyon Hesaplaması

Farin tüketiminden kaynaklı emisyon; tüketilen farin (ham madde) miktarı, TOC analizi sonucu elde edilen farine ait emisyon faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü, Akredite Laboratuvar analizi (TOC) ile belirlenmektedir.

Farin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi (FV) X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü

2023 yılı verilerine göre, farin kaynaklı emisyon miktarı 10.258 ton CO₂ dir.

4.1.2. Tüketilen Yakıt ve Atıklardan Kaynaklı Emisyonların Hesaplanması

Tüketilen yakıt ve atıklardan kaynaklı emisyonlar hesaplanırken, üretim sırasında tüketilen atık ve yakıtlara ait veriler kullanılmıştır.

Petrokok Kaynaklı Emisyonlar

Petrokok kaynaklı emisyon miktarı; tüketilen petrokok miktarı, petrokoka ait Emisyon Faktörü (EF), petrokoka ait Net kalorifik Değeri (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değer (NKD), Akredite Laboratuvar analizi ile belirlenmektedir. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Petrokok Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi (FV) X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) x Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, petrokok kullanımından kaynaklı emisyon miktarı; 340.940 ton CO₂, 300,82 CH₄ ton CO_{2e} ve 588,70 N₂O ton CO_{2e} dir. Genel toplam ton CO₂ 341.829,93 dir.

Kömür Kaynaklı Emisyonlar

Kömür kaynaklı emisyon miktarı; tüketilen kömür miktarı, kömüre ait Emisyon Faktörü (EF), kömüre ait Net kalorifik Değeri (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değer (NKD), Akredite Laboratuvar analizi ile belirlenmektedir. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Kömür Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi (FV) X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) x Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, kömür kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 22.847 ton CO₂, 65,46 CH₄ ton CO_{2e} ve 96,08 N₂O ton CO_{2e} dir. Genel toplam ton CO₂ 23.008,14 dir.

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) Kaynaklı Emisyonlar

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) kaynaklı emisyon miktarı; tüketilen atıktan türetilmiş yakıt (ATY) miktarı, ATY ye ait Emisyon Faktörü (EF), ATY ye ait Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur. Tüketilen ATY nin biyokütle içeriği 0 dir.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değer (NKD), Akredite Laboratuvar analizi ile belirlenmektedir. Organik madde içeriği 1 dir. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

ATY Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 101.684 ton CO₂, 875,39 CH₄ ton CO₂e, 1.142,09 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 103.701,86 dir.

Sintine Kaynaklı Emisyonlar

Sintine kaynaklı emisyon miktarı; tüketilen sintine miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değer (NKD), Akredite Laboratuvar analizi ile belirlenmektedir. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Sintine Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, sintine kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 7.984 ton CO₂, 96,83 CH₄ ton CO₂e, 126,33 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 8.207,37 dir.

Motorin Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Motorin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan motorin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki motorin yoğunluk değeri, Emisyon Faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Motorin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, motorin tüketiminden kaynaklı emisyon miktarı 3,52 ton CO₂ dir.

Doğal Gaz Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Doğal gaz kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan doğal gaz miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet verisi değerinde birim çevirme işlemi "Doğal Gaz Kaynak Akışı Faaliyet Verisi Hesaplamaları" doğrultusunda yapılmıştır.

İzleme ve Raporlama Tebliği İzleme Planı Kılavuzuna göre doğal gaz yoğunluk değeri 0,75 kg/Nm³ olarak belirlenmiştir.

Emisyon Faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Doğal Gaz Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) x Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre doğal gaz kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 977,48 ton CO₂, 0,4923 CH₄ ton CO₂e, 0,4817 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 978,4515 dir.

4.1.3. Motorin (Jeneratör) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Motorin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan motorin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki motorin yoğunluk değeri, Emisyon Faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Motorin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, motorin tüketiminden kaynaklı emisyon 6,52 ton CO₂, 0,0076 CH₄ ton CO₂e, 0,0148 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 6,5463 dir.

4.1.4. Motorin (İş Makinaları vb.) (Off road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Motorin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan motorin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki motorin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Motorin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, motorin tüketiminden kaynaklı emisyon 127 ton CO₂, 0,20 CH₄ ton CO₂e, 13,43 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 140,90 dir.

4.1.5. Benzin (El Aletleri (Hızır ve çim biçme makinası vb.)) (Off road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Benzin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan benzin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki benzin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Benzin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, benzin tüketiminden kaynaklı emisyon 1,64 ton CO₂, 0,086 CH₄ ton CO₂e, 0,003 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 1,729 dir.

4.1.6. Şirket Araç Yakıtı (Benzin) (on road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Benzin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan benzin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki benzin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Benzin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, benzin tüketiminden kaynaklı emisyon 24,85 ton CO₂, 0,25 CH₄ ton CO₂e, 0,78 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 25,88 dir.

4.1.7. Şirket Araç Yakıtı (Motorin) (on road) Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Motorin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan motorin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki motorin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Motorin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, motorin tüketiminden kaynaklı emisyon 14,11 ton CO₂, 0,02 CH₄ ton CO₂e, 0,20 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 14,33 dir.

4.1.8. LPG Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

LPG kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan LPG miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon Faktörü (EF) ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

LPG Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, LPG tüketiminden kaynaklı emisyon 5,95 ton CO₂, 0,003 CH₄ ton CO₂e, 0,003 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton CO₂ 6 dır.

4.1.9. Propan Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

Propan kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan propan miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü IPCC Kılavuzu verilerinden alınmıştır.

Propan Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, propan kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 28,98 ton CO₂ dir.

4.1.10. CO₂ Yangın Söndürücü Kaynaklı Emisyonlar

Yangın söndürücü (CO₂) kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan yangın söndürücü miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Faaliyet verisi, yangın söndürücü tüp sayısı ve kg değeri çarpılarak elde edilmiştir.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Emisyon faktörü IPCC Kılavuzu verilerinden alınmıştır.

Yangın Söndürücü (CO₂) Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, yangın söndürücü (CO₂) kaynaklı emisyon miktarı 0,35 ton CO₂ dir.

4.1.11. Soğutucu Gaz (R22) Kaynaklı Emisyonlar

Soğutucu gaz (R22) kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan soğutucu gaz miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Faaliyet verisi, tüketim miktarı ve “Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik” Maddenin Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Emisyon faktörü DEFRA 2023 verilerinden sağlanmıştır.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35’e göre 1 kabul edilmiştir.

Soğutucu Gaz (R22) Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, soğutucu gaz (R22) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 231,68 ton CO₂ dir.

4.1.12. Soğutucu Gaz- R407 C (Diflorametan) Kaynaklı Emisyonlar

Soğutucu gaz R407 C (diflorametan) kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan soğutucu gaz miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Faaliyet verisi; SDS formu, tüketim miktarı ve “Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik” Maddenin Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Emisyon faktörü DEFRA 2023 verilerinden sağlanmıştır.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35’e göre 1 kabul edilmiştir.

Soğutucu Gaz R407 C (diflorametan) Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, soğutucu gaz R407 C (diflorametan) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 18,49 ton CO₂ dir.

4.1.13. Soğutucu Gaz- R407 C (Norflurane) Kaynaklı Emisyonlar

Soğutucu gaz R407 C (norflurane) kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan soğutucu gaz miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Faaliyet verisi; SDS formu, tüketim miktarı ve “Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik” Maddenin Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Emisyon faktörü DEFRA 2023 verilerinden sağlanmıştır.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35’e göre 1 kabul edilmiştir.

Soğutucu Gaz R407 C (Norflurane) Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, soğutucu gaz R407 C (norflurane) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 97,90 ton CO₂ dir.

4.1.14. Soğutucu Gaz- R407 C (Pentafloroetan) Kaynaklı Emisyonlar

Soğutucu gaz R407 C (pentafloroetan) kaynaklı emisyon miktarı, kullanılan soğutucu gaz miktarı, Emisyon Faktörü (EF) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Faaliyet verisi, SDS formu, tüketim miktarı ve “Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik” Maddenin Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Emisyon faktörü DEFRA 2023 verilerinden sağlanmıştır.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35’e göre 1 kabul edilmiştir.

Soğutucu Gaz R407 C (pentafloroetan) Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) X Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre, soğutucu gaz R407 C (pentafloroetan) kullanımından kaynaklı emisyon miktarı 143,77 ton CO₂ dir.

4.1.15. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kapsam 1 emisyon sonuçları tablo 6 da gösterilmektedir.

Tablo 6. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları

KAPSAM 1	Faaliyet Verisi			Net Kalorifik Değer			Emisyon Faktörü									GWP			Emisyonlar			Genel Toplam Ton CO ₂	
							CO ₂			CH ₄			N ₂ O						CO ₂ (ton) CO ₂	CH ₄ (ton) CO ₂ e	N ₂ O (ton) CO ₂ e		
	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Değer	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	GWP (CH ₄)	GWP (N ₂ O)	GWP Referans					
Klinker Üretimi	1.345.202	ton	Fabrika üretim verisi	—	—	—	0,534	tCO ₂ /ton	CaO , MgO ve Fe ₂ O ₃ analizi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	718.878	—	—	718.878
Farın Tüketimi	2.084.993,35	ton	Fabrika tüketim verisi	—	—	—	0,005	tCO ₂ /ton	TOC analizi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.258	—	—	10.258
Petrol Koku	116.548,50	ton	Fabrika tüketim verisi	30,84	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi	94,863	tCO ₂ /TJ	Toplam kabon analizi	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	340.940	300,82	588,70	341.829,93	
Kömür	9.696,98	ton	Fabrika tüketim verisi	24,20	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi	97,370	tCO ₂ /TJ	Toplam kabon analizi	10	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	1,5	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	22.847	65,46	96,08	23.008,14	
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	67.922,78	ton	Fabrika tüketim verisi	15,40	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi	97,225	tCO ₂ /TJ	Toplam kabon analizi	30	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	4	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	101.684	875,39	1.142,09	103.701,86	
Sintine	3.228,98	ton	Fabrika tüketim verisi	35,83	TJ/Gg	Kalorifik değer analizi	69,015	tCO ₂ /TJ	Toplam kabon analizi	30	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	4	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	7.984	96,83	126,33	8.207,37	
Motorin	1,125	ton	Fabrika tüketim verisi	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter	72,30	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	3,52	0	0	3,52	
Doğalgaz	463.700	stdm3	Fabrika tüketim verisi	53,52	TJ/Gg	Ulusal Envanter	55,40	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	1	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,1	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	977,48	0,4923	0,4817	978,4515	
Motorin (Jeneratör Kullanımı)	2,083	ton	Fabrika tüketim verisi	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter	72,30	tCO ₂ /TJ	Ulusal Envanter	3	kg CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,6	kg N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.3 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	6,52	0,0076	0,0148	6,5463	
Motorin (iş makinaları vb.) (off road)	39,692	ton	Fabrika tüketim verisi	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,00415	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0286	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	127	0,20	13,43	140,90	
Benzin (Hızar, çim biçme makinaları vb.) (off road)	0,528	ton	Fabrika tüketim verisi	44,8	TJ/Gg	Ulusal Envanter	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,13	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0004	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	1,64	0,0086	0,003	1,729	

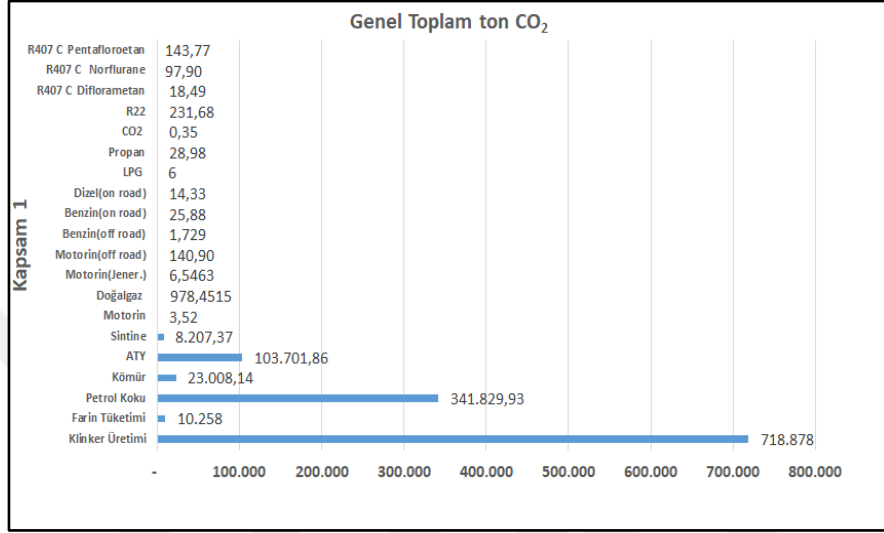
Tablo 6. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları (Devamı)

Şirket araç yakıtları - Benzin (on road)		8,003	ton	Fabrika tüketim verisi	44,8	TJ/Gg	Ulusal Emvanter	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,025	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,008	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	24,85	0,25	0,78	25,88
Şirket araç yakıtları - Dizel (on road)		4,399	ton	Fabrika tüketim verisi	43,33	TJ/Gg	Ulusal Emvanter	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	14,11	0,02	0,20	14,33
LPG		1,99	ton	Fabrika tüketim verisi	47,31	TJ/Gg	Ulusal Emvanter	63,10	tCO ₂ /TJ	Ulusal Emvanter	0,001	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0001	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU V2 Table 2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	5,95	0,003	0,003	6
Propan		9,68	ton	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	2,993	tCO ₂ /ton	IPCC 2006 Kılavuzu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	28,98	–	–	28,98
CO2 Yangın Söndürücü		0,352	ton	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	1	tCO ₂ /ton	IPCC 2006 Kılavuzu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,35	–	–	0,35
Soğutucu Gaz - R22		128	kg	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	1.810	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik - KIP Verisi	–	–	–	–	–	–	–	–	–	231,68	–	–	231,68
Soğutucu Gaz R407C	Soğutucu Gaz - R407 C Diflorometan	27,39	kg	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	675	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik - KIP Verisi	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18,49	–	–	18,49
	Soğutucu Gaz - R407 C Norflurane	68	kg	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	1.430	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik - KIP Verisi	–	–	–	–	–	–	–	–	–	97,90	–	–	97,90
	Soğutucu Gaz - R407 C Pentafloroetan	41	kg	Fabrika tüketim verisi	–	–	–	3.500	kgCO ₂ /kg	Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik - KIP Verisi	–	–	–	–	–	–	–	–	–	143,77	–	–	143,77
																			Toplam	1.204,274	1.340	1.968	1.207,582

Kapsam 1 emisyon sonuçlarına göre;

2023 yılı için, toplam 1.204.274 ton CO₂, 1.340 ton CH₄ (ton) CO₂e ve 1.968 ton N₂O (ton) CO₂e olmak üzere toplam 1.207.582 ton CO₂ gazının oluştuğu hesaplanmıştır. Emisyon oluşumunda ilk sırada klinker üretiminin olduğu gözlenmiştir.

Kapsam 1 için genel toplam ton CO₂ emisyon sonuçları grafik 1 de gösterilmektedir.



Grafik 1. Kapsam 1 Emisyon Sonuçları

4.2. Kapsam 2 Emisyonları

Kapsam 2 emisyonu kapsamına, tedarik edilen elektrik kullanımından kaynaklı sera gazı emisyonları dahil edilmektedir. Elektrik tüketimi- Faaliyet Verisi (FV) tablo 7 de gösterilmektedir.

Tablo 7. Kapsam 2 Faaliyet Verisi

Faaliyet Verisi	Miktar	Birimi
Elektrik tüketimi	168.680	MWh

Emisyon Faktörü (EF) değeri, “Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri Bilgi Formu” verilerinden sağlanmıştır. Emisyon Faktörü tablo 8 de gösterilmektedir.

Tablo 8. Kapsam 2 Emisyon Faktörü (EF)

Faaliyet Verisi	CO ₂ Emisyon Faktörü	Birimi	Veri Kaynağı
Elektrik tüketimi	0,475	tCO ₂ /MWh	Türkiye elektrik üretimi ve elektrik tüketim noktası emisyon faktörleri bilgi formu

Elektrik Tüketiminden Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) formülü ile hesaplanmaktadır.

2023 verisine göre, elektrik tüketiminden kaynaklı emisyon miktarı 80.123 ton CO₂ dir.

4.2.1. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kapsam 2 emisyon sonuçları tablo 9 da gösterilmektedir.

Tablo 9. Kapsam 2 Emisyon Sonuçları

KAPSAM 2	Faaliyet Verisi			Emisyon Faktörü			Toplam ton CO ₂
				CO ₂			
	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	
Elektrik Tüketimi	168.680	MWh	Elektrik tüketimi	0,475	tCO ₂ /MWh	TÜRKİYE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE ELEKTRİK TÜKETİM NOKTASI EMİSYON FAKTÖRLERİ BİLGİ FORMU	80.123

Kapsam 2 emisyon sonucuna göre; 2023 yılı elektrik tüketiminden kaynaklı olarak 80.123 ton CO₂ emisyonun olduğu hesaplanmıştır.

4.3. Kapsam 3 Emisyonları

Kapsam 3 emisyonları değerlendirilirken; üretime yönelik lojistik faaliyetler, satışa yönelik lojistik faaliyetler, iş seyahatleri, çalışanların servis kullanımı, kiralık şirket araçları, üretim faaliyetleri sırasında oluşan tehlikeli ve tehlikesiz atıklar, su kullanımı, oluşan atıksu miktarı ve otel konaklamaları hesaplanmıştır.

Kapsam 3 kategorisinde değerlendirilen başlıklar ve Faaliyet Verileri (FV) aşağıda tablo 10 da gösterilmiştir.

Tablo 10. Kapsam 3 Faaliyet Verileri (FV)

Faaliyet Verisi	Miktarı	Birimi
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi- Karayolu	217.565.504	ton km
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Dahili Nakliye	760.000	ton km
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi- Denizyolu	1.437.560.833	ton km
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı- Karayolu	10.789.556	ton km
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı- Denizyolu	1.473.848.416	ton km
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi- Karayolu	169.228.272	ton km
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi- Denizyolu	6.775.359	ton km
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı- Karayolu	11.448.564	ton km
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı- Denizyolu	254.375.632	ton km
İş Seyahatleri- Karayolu	56.200	yolcu km
İş Seyahatleri- Havayolu (İç Hatlar)	50.016	yolcu km
İş Seyahatleri- Havayolu (Kısa Mesafe)	2.620	yolcu km
Çalışanların Servis Kullanımı (Dizel)	58	ton
Şirket Araçları (Kiralık) (Benzin)	5,33	ton

Tablo 10. Kapsam 3 Faaliyet Verileri (FV) (Devamı)

Şirket Araçları (Kiralık) (Dizel)	11,45	ton
Tehlikesiz Atık	412,93	ton
Tehlikeli Atık	109,16	ton
Su Kullanım Miktarı	333.525,40	m ³
Atıksu Miktarı	62.445,06	m ³
Otelde Konaklama	535	gece

Kapsam 3 kategorisinde hesaplamalar sırasında kullanılan Net Kalorifik Değerler (NKD) verileri aşağıda tablo 11 de gösterilmektedir.

Tablo 11. Kapsam 3 Net Kalorifik Değerler (NKD)

Faaliyet Verileri	Net Kalorifik Değer	Birimi	Veri Kaynağı
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Karayolu	—	—	—
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Dahili Nakliye	—	—	—
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Denizyolu	—	—	—
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı-Karayolu	—	—	—
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı-Denizyolu	—	—	—
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Karayolu	—	—	—
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Denizyolu	—	—	—
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı-Karayolu	—	—	—
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı-Denizyolu	—	—	—
İş Seyahatleri- Karayolu	—	—	—
İş Seyahatleri- Havayolu (İç Hatlar)	—	—	—
İş Seyahatleri- Havayolu (Kısa Mesafe)	—	—	—
Çalışanların Servis Kullanımı (Dizel)	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Şirket Araçları (Kiralık) (Benzin)	44,8	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Şirket Araçları (Kiralık) (Dizel)	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter
Tehlikesiz Atık	—	—	—
Tehlikeli Atık	—	—	—
Su Kullanım Miktarı	—	—	—
Atıksu Miktarı	—	—	—
Otelde Konaklama	—	—	—

Kapsam 3 kategorisinde hesaplamalar sırasında kullanılan Emisyon Faktörleri (EF) verileri aşağıda tablo 12 de gösterilmektedir.

Tablo 12. Kapsam 3 Emisyon Faktörleri (EF)

FAALİYET VERİLERİ	EMİSYON FAKTÖRÜ								
	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Karayolu	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Dahili Nakliye	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Denizyolu	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı-Karayolu	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı-Denizyolu	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Karayolu	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi-Denizyolu	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı-Karayolu	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı-Denizyolu	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
İş Seyahatleri- Karayolu	0,208	kg CO ₂ /km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
İş Seyahatleri- Havayolu (İç Hatlar)	0,032	kg CO ₂ /yolcu km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
İş Seyahatleri- Havayolu (Kısa Mesafe)	0,032	kg CO ₂ /yolcu km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Çalışanların Servis Kullanımı (Dizel)	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Şirket Araçları (Kiralık) (Benzin)	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,025	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,008	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU
Şirket Araçları (Kiralık) (Dizel)	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC 2006 KILAVUZU	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC 2006 KILAVUZU

Tablo 12. Kapsam 3 Emisyon Faktörleri (EF) (Devamı)

Tehlikesiz Atık	21,281	kg CO ₂ /ton	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Tehlikeli Atık	520,33	kg CO ₂ /ton	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Su Kullanım Miktarı	0,18	kg CO ₂ /m ³	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Atıksu Miktarı	0,20	kg CO ₂ /m ³	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–
Otelde Konaklama	32,1	kg CO ₂ /gece	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–

4.3.1. Üretime Yönelik Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda; üretim faaliyetleri için satın alınan hammadde/malzeme vb. türlerin nakliye hizmetlerinden kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri (toplam ton km), taşınan miktar (ton) X toplam kara/deniz km ile bulunmaktadır.

Emisyon faktörü için; DEFRA 2023 verileri, WTT verileri kullanılarak CO₂e değerleri ile hesaplama yapılmıştır.

2023 yılı verilerine göre; yurtiçi karayolu faaliyetlerinden kaynaklı 48.175,33 ton CO₂, dahiliye nakliyeden kaynaklı 168,29 ton CO₂, yurtiçi denizyolu faaliyetlerinden kaynaklı 21.248,08 ton CO₂, yurtdışı karayolu faaliyetlerinden kaynaklı 2.389,12 ton CO₂ ve yurtdışı denizyolu faaliyetlerinden kaynaklı emisyon miktarı 21.784,44 ton CO₂ dir.

Üretime yönelik lojistik faaliyetlerden kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 93.765,26 ton CO₂ dir.

4.3.2. Satışa Yönelik Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda; satış faaliyetleri doğrultusunda fabrikadan sevkiyatı gerçekleşen ürünlerin nakliye hizmetlerinden kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri (toplam ton km), taşınan miktar (ton) X toplam kara/deniz km ile bulunmaktadır.

Emisyon faktörü için; DEFRA 2023 verileri, WTT verileri kullanılarak CO₂e değerleri ile hesaplama yapılmıştır.

2023 yılı verilerine göre; yurtiçi karayolu faaliyetlerinden kaynaklı 37.472,06 ton CO₂, yurtiçi denizyolu faaliyetlerinden kaynaklı 100,14 ton CO₂, yurtdışı karayolu faaliyetlerinden kaynaklı 2.535,05 ton CO₂ ve yurtdışı denizyolu faaliyetlerinden kaynaklı emisyon miktarı 3.759,84 ton CO₂ dir.

Satışa yönelik lojistik faaliyetlerden kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 43.867,09 ton CO₂ dir.

4.3.3. İş Seyahatlerinden Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda, fabrika personellerinin karayolu ve havayolu ile gerçekleştirmiş olduğu iş seyahatlerinden kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri belirlenirken seyahat kapsamındaki mesafeler dikkate alınmıştır.

Emisyon faktörü için; DEFRA 2023 verileri, WTT verileri kullanılarak CO₂e değerleri ile hesaplama yapılmıştır.

2023 yılı verilerine göre; karayolu iş seyahatleri faaliyetlerinden kaynaklı 11,69 ton CO₂, havayolu iç hatlardan kaynaklı 1,61 ton CO₂ ve kısa mesafelerden kaynaklı emisyon miktarı 0,08 ton CO₂ dir.

İş seyahatlerinden kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 13,38 ton CO₂ dir.

4.3.4. Ulaşım Faaliyetlerinden Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda, çalışanların işe geliş ve gidişleri (servis kullanımı) ve fabrika içerisinde kullanılan kiralık şirket araçlarından kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri, gidiş geliş mesafeleri (km) ve tüketilen yakıt miktarları ve türleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Benzin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan benzin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net Kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki benzin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Benzin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet verisi X Emisyon faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) x Yükseltgenme Faktörü (YF)

Motorin kaynaklı emisyon miktarı; kullanılan motorin miktarı, Emisyon Faktörü (EF), Net Kalorifik Değer (NKD) ve Yükseltgenme Faktörü (YF) verileri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve toplam CO₂ emisyon değeri bulunmuştur.

Yükseltgenme Faktörü (YF), Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ Madde 35'e göre 1 kabul edilmiştir.

Faaliyet veri değeri için, EPDK veri listesindeki motorin yoğunluk değeri ve Net Kalorifik Değeri (NKD) için Ulusal Envanter veri değerleri kullanılmıştır. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon faktörlerinin belirlenmesi sırasında IPCC kılavuz değerlerinden yararlanılmıştır.

Motorin Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet verisi X Emisyon faktörü (EF) X Net Kalorifik Değer (NKD) x Yükseltgenme Faktörü (YF)

2023 yılı verilerine göre;

Çalışanların servis kullanımından kaynaklı 185,40 ton CO₂, 0,27 CH₄ ton CO₂e, 2,67 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton 188,34 CO₂ dir.

Kiralık şirket araçları (benzin) kullanımından kaynaklı 16,56 ton CO₂, 0,17 CH₄ ton CO₂e, 0,52 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton 17,25 CO₂ dir.

Kiralık şirket araçları (motorin) kullanımından kaynaklı 36,71 ton CO₂, 0,05 CH₄ ton CO₂e, 0,53 N₂O ton CO₂e dir. Genel toplam ton 37,29 CO₂ dir.

Ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 242,89 ton CO₂ dir.

4.3.5. Atık Oluşumundan Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda; üretim faaliyetleri sırasında fabrikada oluşan tehlikeli ve tehlikesiz atıklardan kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri, fabrikada 2023 yılı içerisinde oluşan atık miktarlarına göre belirlenmiştir.

Emisyon faktörü belirlenirken, DEFRA 2023 verilerinden yararlanılmıştır. Emisyon faktörleri atık türlerine göre değişiklik göstermediği için atık türleri ayrı ayrı değerlendirilmemiştir.

2023 yılı verilerine göre; tehlikesiz atık oluşumundan kaynaklı 8,79 ton CO₂ ve tehlikeli atık oluşumundan kaynaklı emisyon miktarı 56,80 ton CO₂ dir.

Atık oluşumundan kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 65,59 ton CO₂ dir.

4.3.6. Su Tüketimi ve Oluşumundan Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda; üretim/genel faaliyetler sırasında tüketilen su miktarları ve oluşan atıksulardan kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verileri, 2023 yılı içerisinde tüketilen ve oluşan atıksu miktarlarına göre belirlenmiş olup, emisyon faktörü belirlenirken DEFRA 2023 verilerinden yararlanılmıştır.

2023 yılı verilerine göre; su kullanımından kaynaklı 58,93 ton CO₂ ve atıksu miktarından kaynaklı emisyon miktarı 12,57 ton CO₂ dir.

Su tüketimi ve oluşumundan kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 71,50 ton CO₂ dir.

4.3.7. Otel Konaklamalarından Kaynaklı Emisyonlar

Bu kapsamda; personellerin otel konaklamalarından kaynaklı oluşan dolaylı emisyonlar değerlendirilmiştir.

Faaliyet verisi, 2023 yılı içerisinde otelde konaklanan gün sayısına göre belirlenmiştir.

Emisyon faktörü belirlenirken, DEFRA 2023 verilerinden yararlanılmıştır.

2023 yılı verilerine göre; otel konaklamalarından kaynaklı oluşan toplam emisyon miktarı, 17,17 ton CO₂ dir.

4.3.8. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kapsam 3 emisyon sonuçları tablo 13 de gösterilmektedir.

Tablo 13. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları

KAPSAM 3	Faaliyet Verisi			Net Kalorifik Değer (NKD)			Emisyon Faktörü									GWP			Emisyonlar			Genel Toplam ton CO ₂
							CO ₂			CH ₄			N ₂ O			GWP (CH ₄)	GWP (N ₂ O)	GWP Referans	CO ₂ (ton) CO ₂	CH ₄ (ton) CO ₂ e	N ₂ O (ton) CO ₂ e	
	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Değer	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı	Miktar	Birim	Veri Kaynağı							
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi - Karayolu	217.565.504	ton km	Fabrika satınalma verileri	–	–	–	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	48.175,33	–	–	48.175,33
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Dahili Nakliye	760.000	ton km	Fabrika içi nakliye verileri	–	–	–	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	168,29	–	–	168,29
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi - Denizyolu	1.437.560.833	ton km	Fabrika satınalma verileri	–	–	–	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21.248,08	–	–	21.248,08
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı - Karayolu	10.789.556	ton km	Fabrika satınalma verileri	–	–	–	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.389,12	–	–	2.389,12
Üretime Yönelik Lojistik Faaliyet / Yurtdışı - Denizyolu	1.473.848.416	ton km	Fabrika satınalma verileri	–	–	–	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21.784,44	–	–	21.784,44
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi - Karayolu	169.228.272	ton km	Fabrika satış verileri	–	–	–	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	37.472,06	–	–	37.472,06
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtiçi - Denizyolu	6.775.359	ton km	Fabrika satış verileri	–	–	–	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100,14	–	–	100,14
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı - Karayolu	11.448.564	ton km	Fabrika satış verileri	–	–	–	0,2214	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.535,05	–	–	2.535,05
Satışa Yönelik Lojistik Faaliyet/ Yurtdışı - Denizyolu	254.375.632	ton km	Fabrika satınalma verileri	–	–	–	0,0148	kg CO ₂ /ton km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3.759,84	–	–	3.759,84
İş Seyahatleri - Karayolu	56.200	yolcu km	Fabrika seyahat verileri	–	–	–	0,208	kg CO ₂ /km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,69	–	–	11,69
İş Seyahatleri - Havayolu (İç Hatlar)	50.016	yolcu km	Fabrika seyahat verileri	–	–	–	0,032	kg CO ₂ /yolcu km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,61	–	–	1,61
İş Seyahatleri - Havayolu (Kısa Mesafe)	2.620	yolcu km	Fabrika seyahat verileri	–	–	–	0,032	kg CO ₂ /yolcu km	DEFRA 2023	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,08	–	–	0,08

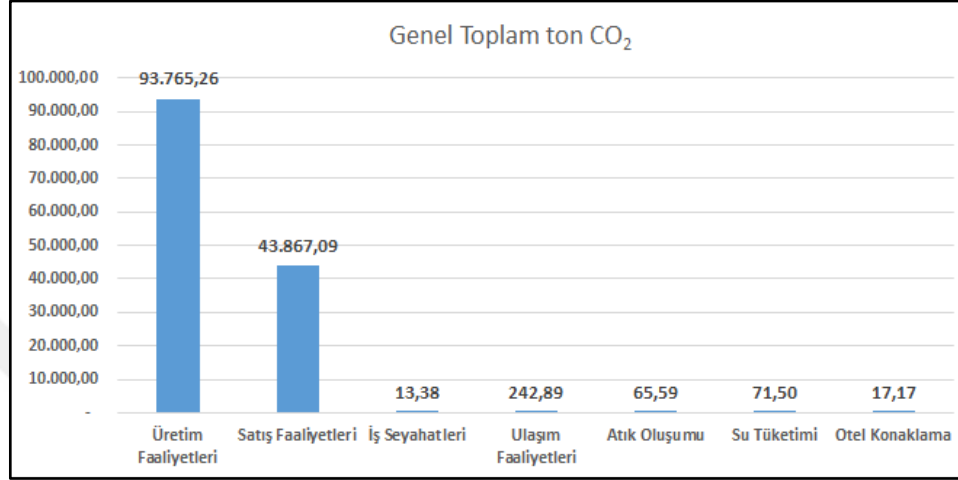
Tablo 13. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları (Devamı)

Çalışanların Servis Kullanımı (Dizel)	58	ton	Fabrika verileri	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	185,40	0,27	2,67	188,34
Şirket Araçları (Kiralık) (Benzin)	5,33	ton	Fabrika verileri	44,8	TJ/Gg	Ulusal Envanter	69,3	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,025	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,008	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	16,56	0,17	0,52	17,25
Şirket Araçları (Kiralık) (Dizel)	11,45	ton	Fabrika verileri	43,33	TJ/Gg	Ulusal Envanter	74	ton CO ₂ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.1 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton CH ₄ /TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	0,0039	ton N ₂ O/TJ	IPCC Volume 2 V2 Ch3 Table 3.2.2 DEFAULT EMISSION FACTORS	27,9	273	IPCC 2021, AR6 WGI TABLE 7. SM 7	36,71	0,05	0,53	37,29
Tehlikesiz Atık	412,93	ton	Fabrika verileri	-	-	-	21,281	kg CO ₂ /ton	DEFRA 2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,79	-	-	8,79
Tehlikeli Atık	109,16	ton	Fabrika verileri	-	-	-	520,33	kg CO ₂ /ton	DEFRA 2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,80	-	-	56,80
Su Kullanım Miktarı	333.525,40	m3	Fabrika verileri	-	-	-	0,18	kg CO ₂ /m ³	DEFRA 2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58,93	-	-	58,93
Atıksu Miktarı	62.445,06	m3	Fabrika verileri	-	-	-	0,20	kg CO ₂ /m ³	DEFRA 2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,57	-	-	12,57
Otelde Konaklama	535	gece	Fabrika seyahat verileri	-	-	-	32,1	kg CO ₂ /gece	DEFRA 2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,17	-	-	17,17
																		Toplam	138.038,66	0,49	3,72	138.042,87

Kapsam 3 emisyon sonuçlarına göre;

2023 yılı için, toplam 138.038,66 ton CO₂, 0,49 ton CH₄ (ton) CO₂e ve 3,72 ton N₂O (ton) CO₂e olmak üzere toplam 138.042,87 ton CO₂ gazının oluştuğu hesaplanmıştır. Emisyon oluşumunda ilk sırada üretim faaliyetlerinden kaynaklı lojistik faaliyetlerin olduğu gözlenmiştir.

Kapsam 3 için genel toplam ton CO₂ emisyon sonuçları grafik 2 gösterilmektedir.



Grafik 2. Kapsam 3 Emisyon Sonuçları

4.4. Kapsamlar ve Sonuçlar

Bu tez kapsamında; çimento sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın 2023 yılı verileri kullanılarak kapsam 1, 2 ve 3 karbon ayak izi miktarlarının hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara dair bilgiler bölüm 3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

2023 yılı verilerine göre emisyon verileri değerlendirildiğinde; Kapsam 1 için 1.207.582 ton CO₂, Kapsam 2 için 80.123 ton CO₂ ve Kapsam 3 için ise 138.042,87 ton CO₂ değerleri hesaplanmıştır. Kapsam 1, 2 ve 3 toplamında 1.425.748 ton CO₂ oluştuğu belirlenmiştir.

4.5. Kapsam 1 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri

4.5.1. Klinker Üretim Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri

Yakıt Tüketim Miktarlarında ve Kalori Değerlerinde Değişiklik Yöntemi

Çimento sektöründe; klinkerin üretimi için fırının sahip olması gereken optimum koşullar bulunmaktadır. Bunlardan birisi fırında ortalama 875 kcal/kg klinker şartının sağlanmasıdır. Klinker üretimi sırasında kullanılan yakıt kaynaklarının ortalama kalori değerleri ve tüketim miktarlarının çarpım sonucu klinker üretimi için gerekli olan toplam kalori değeri belirlenmektedir.

Senaryo 1 gereği; 2023 yılı klinker üretim miktarı ve bu üretim miktarı için gerekli olan toplam kalori değeri sabit tutularak kullanılan yakıt kaynaklarının kalori değerlerinde ve tüketim miktarlarında değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler ile; hava kirliliği başta olmak üzere diğer

çevresel kirliliklerin azaltılması yönünde en çevreci senaryoların oluşturulması ve karbon ayak izi miktarının azaltılması hedeflenmiştir.

Senaryo 1 kapsamında; klinker üretimi için yakıt türleri olarak petrokok, ATY, sintine ve doğal gaz tüketim miktarları değerlendirmeye alınmıştır. 2023 yılı verilerine göre; 1.345.202 ton klinker üretimi için 116.548,50 ton petrol koku, 67.922,78 ton ATY, 3.228,98 ton sintine ve 463.700 stdm³ (330 ton) doğalgaz tüketimi gerçekleşmiştir. Bu doğrultuda oluşan toplam 454.717,60 ton CO₂ oluştuğu görülmektedir. Bu bilgiler tablo 14 de gösterilmektedir.

Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarları

2023 YILI	ORTALAMA KALORİ	BİRİMİ	TÜKETİM MİKTARI	BİRİMİ	YÜZDELİK DİLİMLERİ	TOPLAM TON CO ₂
PETROKOK	8.335,64	kcal/ton. klinker	116.548,50	ton/yıl	80,05%	341.829,93
ATY	3.206,9	kcal/ton. klinker	67.922,78	ton/yıl	17,95%	103.701,86
SİNTİNE	7.531,91	kcal/ton. klinker	3.228,98	ton/yıl	2,00%	8.207,37
DOĞALGAZ	8,25	kcal/ton. klinker	330	ton/yıl	0,00%	978,4515
TOPLAM KALORİ	1.213,65	Gcal	-	-	100,00%	454.717,60

Senaryo 1'e göre; Petrokok tüketim miktarı 19.548,50 ton, ATY tüketim miktarı 9.822,78 ton azaltılmış ve sintine tüketim miktarı 771,02 ton ve doğal gaz tüketim miktarı 17.670 ton arttırılmıştır. Bu miktar değişiklikleri sırasında 2023 yılı üretilen klinker miktarı ve bu üretim sırasında gerekli olan toplam kalori miktarı değişmeyecek şekilde oranlamalar yapılmıştır.

2024 yılı için senaryo 1 verileri Tablo 15 de gösterilmiştir.

Tablo 15. 2024 Yılı Senaryo 1 Veri Sonuçları

2024	ORTALAMA KALORİ	BİRİMİ	TÜKETİM MİKTARI	BİRİMİ	YÜZDELİK DİLİMLERİ	TOPLAM TON CO ₂
PETROKOK	8.500	kcal/ton. klinker	97.000	ton/yıl	67,96%	284.495,33
ATY	6.000	kcal/ton. klinker	58.100	ton/yıl	28,73%	88.704,82
SİNTİNE	10.000	kcal/ton. klinker	4.000	ton/yıl	3,30%	10.167,13
DOĞALGAZ	8,25	kcal/ton. klinker	18.000	ton/yıl	0,01%	53.423
TOPLAM KALORİ	1.213,65	Gcal	-	-	100,00%	436.791

Senaryo 1'e göre; yaklaşık olarak %3,94 oranında 17.927 ton CO₂ emisyonunun azaldığı görülmektedir.

ATY Biyokütle İçeriğinin Arttırılması – Fosil Yakıt Tüketim Miktarının Azaltılması Yöntemi

Biyokütle, canlı organizmalardan (bitkiler, hayvanlar, mikroorganizmalar) veya bunların kalıntılarından oluşan organik maddelere denilmektedir. Biyokütlenin başlıca kaynakları; odunsu biyokütle (ağaç, odun, talaş vb.), tarım atıkları (saman, mısır koçanı, pamuk sapı vb.), hayvansal atıklar (hayvan dışkıları, hayvansal yağlar vb.), organik atıklar (gıda atıkları, belediye atıkları vb.), enerji bitkileri (mısır, şeker kamışı vb.) şeklindedir.

Biyokütle, organik maddelerden elde edilen bir enerji kaynağı olmasından dolayı çoğu zaman fosil yakıtlara alternatif olarak tercih edilmektedir. Biyokütle, doğal süreçlerle karbondioksiti atmosferden alıp depoladığından dolayı biyokütlenin enerji kaynağı olarak tüketilmesi karbon ayak izini düşürme potansiyeline sahiptir.

Ancak, biyokütlenin karbon ayak izini azaltıcı etkisi biyokütlenin nasıl kullanıldığına ve sürecin sürdürülebilir şekilde yönetilip yönetilmediğine bağlıdır. Biyokütlenin çok fazla kullanımı, ormansızlaşma gibi çevre problemlerine sebep olabilecek bu da karbon ayak izinin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle, biyokütle tüketiminin sürdürülebilir yöntemlerle planlanması ve uygulanabilmesi oldukça önemlidir.

Bu kapsamda; biyokütle karbon döngüsüne doğrudan dahil olan enerji türü olmasından dolayı sürdürülebilir bir şekilde yönetildiği zaman karbon nötr olarak kabul edilmektedir. Kısacası, biyokütlenin proses kapsamında değerlendirilmesi/yakılması esnasında açığa çıkan karbondioksit, biyokütlenin büyümesi esnasında atmosferden çekilen karbondioksit miktarı ile dengelenmektedir. Bu da biyokütleyi fosil yakıtların tersine çevre dostu bir enerji türü yapmaktadır.

Senaryo 2 kapsamında; klinker üretimi sırasında biyokütle içerikli ATY tüketilmesi durumunda toplam emisyon miktarının azalması planlanmaktadır. 2023 yılı klinker üretim miktarı için; biyokütle içeriği %45 olan ATY kullanımı ile oluşan toplam ton CO₂ emisyon miktarında %45 azalma sağlanacaktır.

Senaryo 2'ye göre; Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarlarındaki toplam CO₂ emisyonu %45 oranında (204.622,92 ton) azalarak 250.094,68 toplam ton CO₂ oluşumu gözlenecektir.

Bu durumda senaryo 2'ye göre; 204.622,92 ton CO₂ emisyonu azaldığı görülmektedir.

Senaryo 3 kapsamında; Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarları tablosunda ek yakıt olarak biyokütlenin kullanımı ile fosil yakıt tüketim miktarının (petrokok) azalması planlanmıştır.

Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarları tablosunda 30.000 ton ve 3.200 kcal değerinde biyokütle dahil edilmesi durumunda;

Petrokok Tüketim Miktarındaki Azalma = Biyokütle Tüketim Miktarı X Biyokütle Kalori Değeri / Petrokok Kalori Değeri

$30.000 \text{ ton} \times 3.200 \text{ kcal} / 8.335,64 \text{ kcal} = 11.517 \text{ ton}$ petrokok tüketiminde azalma görülecektir.

$116.548,50 \text{ ton} - 11.517 \text{ ton} = 105.031,50 \text{ ton}$ petrokok tüketimi olacaktır.

Bu tüketim miktarına göre hesaplama yapıldığında, oluşan toplam ton CO₂ miktarı 420.938,92 ton olacaktır.

Bu durumda senaryo 3'e göre; $454.717,60 \text{ ton} - 420.938,92 = 33.778,68 \text{ ton}$ CO₂ yaklaşık % 7,43 emisyonun azaldığı görülmektedir.

Senaryo 4 kapsamında; Mısır sapı, pamuk sapı ve buğday sapının (biyokütle içeriği %100 olan) kullanımı ile fosil yakıt tüketim miktarının (petrokok) azalması planlanmıştır.

Senaryo 4 kapsamında; Tablo 14. Kapsam 1 Faaliyet Verileri ve Tüketim Miktarları tablosuna ek yakıt olarak biyokütlenin kullanımı ile fosil yakıt tüketim miktarının (petrokok) azalması planlanmıştır.

Tüketim tablosunda, 50.000 ton ve 3.200 kcal değerinde biyokütle içeriği %100 olan atığın dahil edilmesi durumunda;

Petrokok Tüketim Miktarındaki Azalma = $\text{Biyokütle Tüketim Miktarı} \times \text{Biyokütle Kalori Değeri} / \text{Petrokok Kalori Değeri}$

$50.000 \text{ ton} \times 3.200 \text{ kcal} / 8.335,64 \text{ kcal} = 19.194,68 \text{ ton}$ petrokok tüketiminde azalma görülecektir.

$116.548,50 \text{ ton} - 19.194,68 = 97.353,818 \text{ ton}$ petrokok tüketimi olacaktır.

Bu tüketim miktarına göre hesaplama yapıldığında, oluşan toplam ton CO₂ miktarı 398.420,73 ton olacaktır.

Bu durumda senaryo 4'e göre; $454.717,60 \text{ ton} - 398.420,73 \text{ ton} = 56.296,87 \text{ ton}$ CO₂ yaklaşık % 12,38 emisyonun azaldığı görülmektedir.

Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı

Çimento sektöründe genel olarak yakıt amaçlı fosil yakıtlar (kömür, petrokok, doğalgaz vb.) kullanılmaktadır. Bu yakıt türleri önemli miktarda karbon salınımına neden olmaktadır. Geleneksel yakıt türlerinin yerine yakıt olarak hidrojen kullanılması fosil yakıt tüketiminin önemli oranda azalmasına ve sürdürülebilir enerji formu geçişine yol açacaktır, bu durumda CO₂ salınımı önemli oranda azalacaktır.

Hidrojen, yeşil hidrojen olarak belirtilen yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar ve güneş enerjisi) kullanımı ile üretilcek olursa üretim süresince sıfır karbon ayak izi mümkün olabilecektir. Eğer, hidrojen üretiminde mavi hidrojen gibi düşük karbonlu hidrojen üretim metodları kullanılacak olursa, karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin kullanılması karbon emisyonlarını önemli miktarda azaltabilecektir.

Ayrıca; sistemde hidrojenin yakıt amacıyla kullanılması durumunda yüksek sıcaklıkta atık ısı meydana gelecektir. Atık ısı, döner fırınlarda kullanılabilir bu durumda genel enerji tüketimi azalacak ve dolaylı yünden karbon ayak izi azaltımı sağlanabilecektir.

Buna ek olarak, hidrojen kullanımı ile üretilen çimento düşük karbon ayak izine sahip ürün olarak pazara sunulabilecektir. Bu şekilde çevre dostu düşük karbonlu ürün üretililecek, çevresel farkındalığın artmasına ve yenilikçi teknolojilerin kullanılabilirliğine dikkat çekilebilecek böylece sektörde rekabet avantajı sağlanabilecektir.

Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) Yöntemi

Karbon yakalama ve depolama işlemi, sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla geliştirilen bir teknolojidir. Bu yöntem, endüstriyel faaliyetler kapsamında fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksitin atmosfere gönderilmeden önce yakalanmasını, taşınmasını ve depolanmasını içermektedir. Karbondioksit yakalama işlemi, fosil yakıtların yanma öncesinde veya sonrasında uygulanabilecektir. Yanma sonrasında CO₂ diğer baca gazlarından ayrıştırılır veya fosil yakıtların yanma işlemi öncesinde kimyasal reaksiyon ve dönüşümlerle CO₂ ye ayrıştırılması şeklinde yapılabilmektedir.

Karbon taşıma işlemi, atmosfere salınımı öncesinde yakalanan CO₂, boru hatlarıyla veya tankerler ile uygun depolama alanlarına taşınmasıdır. Taşıma işlemi yüksek sıvı basınçlı CO₂ olarak gerçekleştirilir.

Karbon depolama işlemi, yakalanan CO₂ genellikle yer altında jeolojik formasyonlarda depolanmaktadır. Bu jeolojik formasyonlar; boş petrol, doğalgaz rezervuarları ve kömür yatakları olabilecektir. Kömür yataklarında depolanması durumunda metan gazı elde edilebilecektir.

Ancak; karbon yakalama teknolojisinin sera gazlarının atmosferdeki miktarlarının azalması konusunda önemli ve yenilikçi bir yöntem olmasının yanı sıra bu sistemlerin kurulumunun ve işletiminin oldukça pahalı olması, sistemin uygulanabilirliğinin ek enerji gerektirmesi ve depolama güvenliği gibi hususlar bu sistemin bazı dezavantajlarıdır.

Bu nedenle, bu uygulamanın güvenli ve verimli olarak hayata geçirilmesi başta ekonomik şartlar olmak üzere güvenlik önlemleri ve uygulama alanları gibi zorlukların aşılması en uygun ve optimum şartların oluşmasına bağlıdır.

4.5.2. Jeneratör Kullanımı Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri

İlgili tesiste ani elektrik kesintileri sırasında kullanılacak jeneratörler bulunmaktadır. Jeneratörlerin kullanımından kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde 6,5463 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Jeneratör kullanımından dolayı oluşan emisyon miktarının azaltılabileceği bazı yöntemler bulunmaktadır.

Yüksek verimlilikte çalışan jeneratörlerin tercihi daha az miktarda emisyon oluşumuna neden olacaktır. Çünkü, yüksek verimlilikte çalışan jeneratörler aynı miktardaki enerjiyi daha az yakıt ile üretebilecektir. Dizel gibi fosil yakıtların kullanımı yerine daha temiz yanan yakıtların (biyodizel, doğalgaz gibi) kullanılması emisyonları önemli ölçüde azaltabilecektir. Ayrıca; yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu (güneş panelleri rüzgar türbinleri gibi) fosil yakıt kullanımını azaltmaya yardımcı olacaktır. Fosil yakıt kullanımının azalması oluşan emisyon miktarını azaltacaktır.

Jeneratörlerin bakımının düzenli olarak yapılması, yalıtım gibi önlemlerin alınması, katalitik konvertör gibi emisyon kontrol cihazının kullanılması, mümkün olan durumlarda daha küçük jeneratörlerin tercih edilmesi gibi uygulamalar yakıtın daha verimli yanmasını sağlayacak dolayısıyla yakıt tüketimini ve emisyon oluşumunu azaltacaktır.

Bu uygulamalar ile jeneratör kullanımından kaynaklı oluşan emisyon miktarı azaltılarak daha temiz ve çevreci bir uygulamaya geçilmiş olur.

4.5.3. Şirket Araçları ve Off-Road Araç Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri

İşletmede benzin ve motorin kullanımının olduğu şirket araçlarından ve off road araçlardan (iş makinalarından, çim biçme makinası vb.) kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 182,84 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ile oluşan miktarının azalması sağlanabilecektir.

Daha yeni ve daha verimli araçların tercih edilmesi, GPS veya diğer rota yazılımlarının kullanılarak en kısa ve verimli yolların tercih edilmesi, aynı istikamet üzerindeki yolcu ve çalışanlar için araç paylaşım sistemlerinin uygulanması, (böylece bir seferde olabildiğince yolcu taşınabilecektir.) şoförlerin yakıt tasarrufu sağlayacak şekilde araç kullanmaları, ani fren ve hızlanmalardan kaçınmak gibi önlemler yakıt tüketim miktarını azaltacak dolayısıyla oluşan emisyon miktarında düşüşe sebep olacaktır.

Ayrıca; araçların düzenli olarak bakımlarının yapılması araçların verimliliğini, motor gücünü dolayısıyla yakıt tüketimini etkileyecektir. Bu gibi kontroller ile aracın, motorun ömrü uzatılmış olup, tüketilen yakıt miktarı da azaltılmış olur.

Daha çevreci ve sürdürülebilir bir yöntem olarak; şirket araçları için geleneksel yakıt türleri olan benzin ve dizel yerine biyodizel gibi düşük karbon yoğunluklu yakıtlar kullanmak, hibrit araçlara geçmek veya elektrikli araçların kullanılması ile fosil yakıt tüketimini ortadan kaldırmak kapsam 1 emisyon miktarını önemli ölçüde azaltacaktır.

Off- road araçlar için; araçların düzenli bakımının yapılması motor verimliliğini arttıracak, lastik basıncının doğru seviyede tutulması yakıt verimliliğini arttıracak ve araçlardaki gereksiz ağırlıkları azaltmak motorun daha az zorlanmasına neden olacaktır. Bu durumlar, gereksiz yakıt tüketimini önleyecek, dolayısıyla fosil yakıt tüketimi azalmış ve oluşan emisyon miktarı da düşmüş olacaktır.

Ayrıca daha çevreci bir seçenek olarak off-road araçların kullanımından kaynaklı oluşan emisyon miktarının azaltılması için; daha temiz yakıtlar tercih edilebilir. Dizel ve benzin yerine biyodizel gibi daha temiz alternatif yakıtlar kullanılabilir. Mümkünse, hibrit veya tamamen elektrikli off-road araçların tercih edilmesi fosil yakıt tüketimini dolayısıyla karbon ayak izini azaltacaktır.

4.5.4. Yangın Söndürücü Gazların Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri

İşletmede yangın söndürücülerin kullanımından kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 0,35 ton CO₂ olduğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ile oluşan emisyon miktarının azalması ve yangın söndürücü tüplerin üretimi sırasında daha çevreci seçeneklerin tercih edilmesi ile emisyon miktarının azalması sağlanabilecektir.

Yaygın olarak kullanılan halon bazlı yangın söndürücüler ozon tabakasına zarar vermektedir. Bu nedenle, çevre dostu gazlar (HFC-227ea yerine FK-5-1-12 gibi) kullanılarak karbon ayak izi miktarı azaltılabilir.

Yangın söndürücülerin yapımı sırasında geri dönüştürülebilir ve düşük karbon ayak izine sahip malzemeler kullanılabilir, metal içerik yerine geri dönüştürülmüş plastikler tercih edilebilir. Bu durum yangın söndürücülerin üretim sürecindeki çevresel etkilerinin azalmasına neden olacaktır.

Yangın söndürücülerin düzenli olarak bakımının, kontrolünün yapılması ve yeniden doldurulması atık oluşumunu ve yeni yangın tüplerinin üretimini azaltacaktır. Böylece, üretim faaliyetlerinden kaynaklı olumsuz çevresel etkiler ve bu sürede oluşacak olan emisyon miktarı azalmış olacaktır.

Ayrıca, kullanım süresi dolan yangın söndürücüler için geri dönüşüm programlarının geliştirilmesi, atık yönetiminin doğru şekilde uygulanması, yangın ve çevreye olan etkiler için güvenlik eğitimlerinin organize edilmesi oldukça önemlidir. Böylece, farkındalık artacak ve oluşabilecek yangınlar önlenerek yangın söndürücü tüplerin kullanımı ve oluşturduğu emisyon miktarı azalacaktır.

4.5.5. Soğutucu Gazların Kullanımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltım Yöntemleri

İşletmede soğutucu gazlardan kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 491,84 ton CO₂ olduğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ile tüketim ve emisyon miktarında azalma sağlanacaktır.

Geleneksel soğutucu gazlar, kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidroflorokarbonlar (HFC) yüksek küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, bu gazlar yerine düşük küresel ısınma potansiyelli gazlar ile doğal soğutucular kullanılarak karbon ayak izi miktarında azalma sağlanacaktır. Ayrıca, eski ve verimliliği düşük olan sistemlerin yeni ve verimliliği yüksek olan sistemlerle değiştirilmesi veya yenilikçi ve çevre dostu soğutma teknolojilerinin (manyetik soğutma gibi) tercih edilmesi geleneksel soğutucu gazların tüketim miktarını dolayısıyla oluşturduğu emisyon miktarını azaltacaktır.

Soğutma sistemlerinde sızıntıların önlenmesi atmosfere gazların karışmasını önler. Bu nedenle, kontrol ve bakımların düzenli olarak yapılması, sızıntı vb. eksikliklerin giderilmesi soğutucu gazların kullanım süresini arttıracak dolayısıyla oluşacak karbon ayak izi miktarını azaltacaktır.

Kullanım ömrü tamamlanmış soğutucu gazların geri dönüşüm sürecinin doğru yönetilmesi ve yeniden kullanımı yeni gaz üretim ihtiyacını ve oluşacak emisyon miktarını azaltacaktır.

4.6. Kapsam 2 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri

İşletmede kapsam 2 emisyon kapsamında elektrik tüketiminden kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 80.123 ton CO₂ olduğu gözlenmektedir. Elektrikğin üretilme yönteminde daha çevreci seçeneklerin tercih edilmesi ile emisyon miktarının azalması sağlanabilecektir.

Fosil yakıtların tüketimi ile elde edilen elektriki tüketmek yerine yenilebilir enerji kaynaklardan (güneş, rüzgar vb.) üretilen elektrigin kullanılması kapsam 2 emisyon miktarını önemli miktarda azaltacaktır. Elektrigin temin edildiği işletmeler ile yenilenebilir enerji anlaşmaları yapılabileceği gibi işletmeler kendi sahalarında güneş enerji panelleri kurarak elektrik tüketimini bu yolla sağlayabilecek ve karbon ayak izi miktarını azaltabilecektir.

Enerji tüketimini doğru bir şekilde yönetebilmek, çalışanların bu konuda farkındalığının artabilmesi için eğitimler organize etmek, LED aydınlatmaların tercih edilmesi, enerji tasarruflu cihazların kullanılması, binalarda yalıtımların artırılması, bina otomasyon sistemlerinin tercih edilmesi, enerji kullanım miktarlarının takip edilmesi, verilere göre gerekli önlemlerin alınması gibi uygulamalar ile elektrik tüketim miktarında azalma dolayısıyla karbon ayak izi miktarında azalma sağlanacaktır.

Faaliyet kapsamında oluşan kapsam 2 emisyonlarının azaltılabilmesi için, çimento fabrikasında üretim ve genel faaliyetler için gerekli olan enerji ihtiyacının yenilebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden karşılanması kapsamında senaryo oluşturulmuştur. Tesis içerisinde en uygun alanın seçilerek güneş panellerinin yerleştirilmesi planlanmıştır.

Senaryoya göre; paneller 17.000 m² lik alana kurulmaktadır. Alana kurulacak olan panel sayısı 4.012 adet ve bir güneş panelinin ölçüsü 1,65 m X 0, 992 m = 1,6368 m² olacak şekilde seçilmiştir. Panellerin ortalama güçleri 250 watt değerindedir. Paneller, yıllık %1 oranında verim kaybetmektedir ve ortalama ömürleri ortalama 20 yıl kadardır.

Tesisin kurulu gücü, panellerin eğimi, sistemin kaybı, yıllık alana düşen ışın miktarı gibi veriler kullanılarak AB Komisyonu Araştırma Merkezi Sitesinde yapılan hesaplama sonucu kurulması planlanan güneş enerji sistemi ile tesisin yılda yaklaşık 1.600.000 kw.saatt , 1.600 MWh üretim kapasitesinin olacağı hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sırasında; tesisin kurulu gücü (anlık en fazla ulaşabileceği değer) 999 kWp, sistem kaybı %9, panel eğimi %21 ve ışıma ile ilgili gerekli veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Elektrik Tüketiminden Kaynaklı Emisyon Miktarı = Faaliyet Verisi X Emisyon Faktörü (EF) formülü ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Emisyon Miktarı} = 1.600 \text{ MWh} \times 0,475 \text{ tCO}_2/\text{MWh} = 760 \text{ tCO}_2$$

Oluşturulan senaryoya göre; güneş enerji panelleri ile yılda yaklaşık 760 tCO₂ oluşumunun önlenebileceği öngörülmektedir.

Belirtilen değerlerde kurulan sistem kapasitesi normal ışıınım değerlerine göre belirlenmiştir. Öngörülen üretim kapasitesi; hava şartları, panellerin yüzey temizliği vb. durumlara göre değişkenlik gösterebilecektir.

4.7. Kapsam 3 Emisyonlarını Azaltım Yöntemleri

Şirketin, 2023 yılı içerisinde kapsam 3 başlığı altında oluşturduğu toplam emisyon miktarı, 138.042,87 ton CO₂ dir. Daha çevreci seçeneklerin ve çevre dostu uygulamaların tercih edilmesi ile oluşan emisyon miktarında azalma sağlanabilecektir.

4.7.1. Lojistik Faaliyetlerden Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

İşletmede lojistik faaliyetlerden kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 137.632,35 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ve çevre dostu tercihler ile oluşan emisyon miktarı azaltılabilecektir.

Malzemelerin/ürünlerin taşınmasından kaynaklı emisyonların azaltılması için nakliye süreçleri optimize edilebilecek ve DEFRA 2023 emisyon değerleri göz önünde bulundurularak tercih edilen ulaşım yollarında değişikliğe gidilebilecektir.

Faaliyet verileri belirlenirken, taşınan toplam miktar ve toplam kara/deniz km değerleri hesaba dahil edildiği için malzemelerin daha yakın noktalardan (yurt dışı yerine yurt içinden ve yakın lokasyonların tercih edilmesi gibi) temin edilmesi faaliyet veri miktarını (ton km değerini) azaltacaktır. Taşımalar/transfer sırasındaki hesaplama dahil edilen km değerlerinin azalması oluşan emisyon miktarını azaltacaktır.

4.7.2. İş Seyahatlerinden ve Otel Konaklamalarından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

İşletmede iş seyahatleri ve otel konaklamalarından kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 30,55 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ve yenilikçi tercihlerle oluşan emisyon miktarı azaltılabilecektir.

Kapsam 3 emisyonlarının bir diğer belirleyicisi de şirket çalışanlarının iş seyahatleri sırasında kullandıkları transfer araçlarının emisyon oluşumuna neden olmasıdır. Gelişen teknoloji ile çalışanların katılım sağlayacağı toplantılar ve görüşmeler uzaktan bağlantı programları ile yürütülebilecektir. Böylece, ulaşım araçları kullanılmamış olacak ve bu kapsamda oluşan (otel

konaklama vb.) emisyon miktarlarında da azalma görülecektir. İş seyahatleri kapsamında oluşan emisyonların telafisi için şirket, çevre kirliliğini azaltabilecek veya önleyebilecek girişimlerde bulunarak çeşitli çevresel yatırım projelerini hayata geçirebilecektir.

4.7.3. Ulaşımdan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

İşletmede ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 242,89 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ve yenilikçi tercihlerle oluşan emisyon miktarı azaltılabilecektir.

Daha yeni ve daha verimli araçların tercih edilmesi, GPS veya diğer rota yazılımlarının kullanılarak en kısa ve verimli yolların tercih edilmesi, aynı istikamet üzerindeki yolcu ve çalışanlar için araç paylaşım sistemlerinin uygulanması, (böylece bir seferde olabildiğince yolcu taşınabilecektir.) şoförlerin yakıt tasarrufu sağlayacak şekilde araç kullanmaları, ani fren ve hızlanmalardan kaçınmak gibi önlemler yakıt tüketim miktarını azaltacak dolayısıyla oluşan emisyon miktarında düşüşe sebep olacaktır.

Ayrıca; araç filosu yönetim süreci ile ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı emisyonlarda azalma gözlenebilecektir. Araç filosu yönetimi; işletmenin sahip olduğu otomobillerin, servis araçlarının, kamyonların vb. etkin olarak organize edilmesi, takip edilmesi ve bakım kontrol süreçlerini içermektedir. Bu yönetim sistemi; araçların şirket içerisinde kullanımını optimize etmeyi, maliyet giderlerini azaltmayı, bakım onarım süreçlerini kontrol altına almayı, yakıt tüketim takibini ve yasal uyum sürecini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yönetim sistemi manuel veya yazılım programları ile takip edilebilecektir.

Daha çevreci ve sürdürülebilir bir yöntem olarak; şirket araçları ve servisler için geleneksel yakıt türleri olan benzin ve dizel yerine biyodizel gibi düşük karbon yoğunluklu yakıtların, hibrit araçların veya elektrikli araçların kullanılması ile fosil yakıt tüketiminin azaltılması veya zaman içerisinde tercih edilmemesi kapsam 3 emisyon miktarını önemli ölçüde azaltacaktır.

4.7.4. Atık Oluşumundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

İşletmede atık oluşumundan kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 65,59 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar ile işletmede oluşan emisyon miktarı azaltılabilecektir.

Faaliyet kapsamında/üretim sürecinde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı oldukça önemli olup, oluşan atıkların miktarlarını en aza indirebilmek ve geri dönüşüm konusunda farkındalığı arttıracak teşvik edici yöndeki uygulamalar kapsam 3 emisyonlarını azaltmaya yardımcı olacaktır.

Ayrıca; çalışanlar için atık yönetimi ve sürdürülebilirlik konularında eğitimlerin organize edilmesi bu konuda farkındalığın ve bilincin artmasına neden olacaktır. Bu durumda, oluşan atık miktarında ve bu süreçten kaynaklı oluşan emisyon miktarında azalma görülecektir.

4.7.5. Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumundan Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltma Yöntemleri

İşletmede su kullanımı ve atıksu oluşumundan kaynaklı olarak 2023 yılı içerisinde, 71,50 ton CO₂ oluştuğu gözlenmektedir. Bazı uygulamalar, (tekrar kullanım vb.) çevreci ve sürdürülebilir tercihlerle oluşan emisyon miktarı azaltılabilecektir.

İşletmede bulunan arıtma tesisinde arıtılan sular, uygun ve ileri teknoloji içeren arıtma sistemleri sayesinde proses içerisinde tekrardan kullanılabilir. Bu döngü ile kullanılan ve oluşan su miktarlarında dolayısıyla bu kapsamda oluşan emisyon miktarında azalma görülecektir.

4.8. Sonuç ve Öneriler

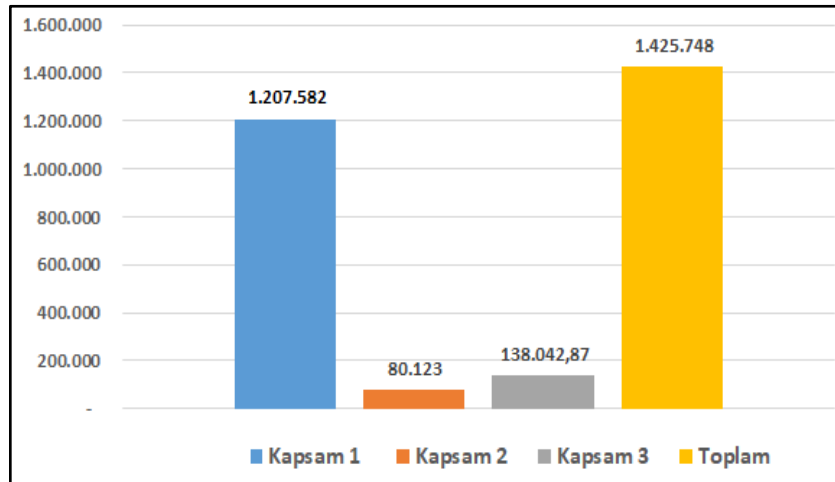
Bu tez kapsamında; çimento sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın 2023 yılı verileri kullanılarak Kapsam 1, 2 ve 3 emisyon miktarları hesaplanmıştır. Kapsam 1 için 1.207.582 ton CO₂, kapsam 2 için 80.123 ton CO₂ ve kapsam 3 için toplam 138.042,87 ton CO₂ oluştuğu hesaplanmıştır. Kapsam 1,2 ve 3 emisyon toplamının 1.425.748 ton CO₂ olduğu görülmektedir.

Oluşan emisyon verileri ve yüzdelik değerleri aşağıdaki tablo 16 da gösterilmektedir.

Tablo 16. Kapsam 1,2 ve 3 Emisyon Verileri ve Yüzdelik Değerler

2023	EMİSYON VERİLERİ				YÜZDE % DEĞERLERİ
	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	Toplam ton CO ₂	
KAPSAM 1	1.204.274	1.340	1.968	1.207.582	84,70%
KAPSAM 2	-	-	80.123	80.123	5,62%
KAPSAM 3	138.038,66	0,49	3,72	138.042,87	9,68%
TOPLAM	1.342.313	1.340,06	82.095	1.425.748	100%

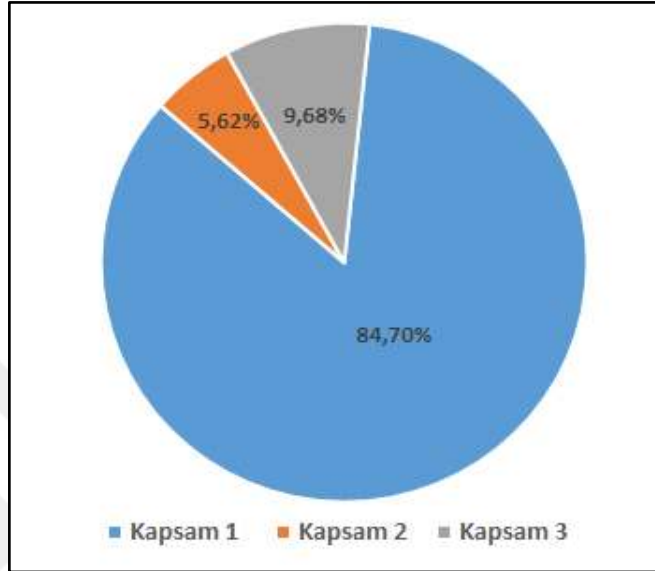
Kapsam 1, 2 ve 3 emisyon hesaplama sonuçlarının grafik şeklinde gösterimi grafik 3 de gösterilmiştir.



Grafik 3. Kapsam 1,2 ve 3 Emisyon Sonuçları Grafiği

Tablo 16 da görüldüğü gibi Kapsam 1, 2 ve 3'e dair yapılan hesaplamalar sonucunda; karbon ayak izi emisyon oluşumunun %84,70 lik oran ile Kapsam 1, %9,68 lik oran ile Kapsam 2 ve %5,62 lik oran ile Kapsam 3'e ait olduğu görülmektedir.

Kapsam 1, 2 ve 3 emisyon sonuçlarını gösteren yüzdeler grafik 4 de gösterilmektedir.



Grafik 4. Kapsam 1, 2 ve 3 Emisyon Sonuçları Yüzdelik Değer Grafiği

Hesaplama sonucuna bakılırsa, karbon ayak izinin en büyük payını Kapsam 1 in oluşturduğu görülmektedir. Emisyon sonuçlarının yüzdeler dağılımına bakıldığında; %84,70 kapsam 1, %5,62'i kapsam 2 ve %9,68 oranında kapsam 3 ün yer aldığı görülmektedir. Kapsam 1 in en büyük yüzdeler dilime sahip olmasının esas nedeni klinker üretimi sırasında kullanılan fosil yakıtlardır.

Kapsam 1 faaliyet veri tablosunda klinker üretimi sırasında fosil yakıt tüketiminin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Üretim sırasında petrol koku, kömür, doğalgaz vb. fosil yakıtların kullanımın çok fazla olması kapsam 1 emisyon sonucunun en büyük paya sahip olmasına neden olmuştur. Klinker üretimi sırasında oluşan emisyon miktarının azalması yönünde senaryolar oluşturulmuş ve bölüm 4'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çimento sektöründe; klinkerin üretimi için fırının sahip olması gereken optimum şartlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi döner fırında ortalama 875 kcal/kg klinker şartının sağlanmasıdır. 2023 yılı klinker üretim verisi ve fırının bu üretim miktarı için sahip olması gereken ortalama kalori değeri sabit tutularak, emisyon miktarını azaltacak yönde senaryolar oluşturulmuştur.

Senaryolar kapsamında emisyon miktarının azaltılabilmesi için; yüksek kalori değerine sahip kalite değeri yüksek olan atıklar tercih edilmiş, petrokok tüketim miktarı azaltılarak doğalgaz tüketim miktarı artırılmış, ATY'nin biyokütle içeriği artırılarak petrokok tüketiminin etkisinin azaltılması planlanmış ve ATY de biyokütle içeriğinin %100 olacağı şekilde mısır, pamuk buğday sapı gibi

biyokütle değeri %100 olan ATY lerin tercih edilmesi ile 2023 yılında oluşan emisyon miktarlarının azalabileceği hesaplanmıştır.

Kalori değeri yüksek atıkların kullanıldığı, petrokok tüketim miktarının azaldığı doğalgaz tüketim miktarının arttırıldığı senaryo 1 de; 17.927 ton CO₂ emisyonunun azaldığı, biyokütle içeriği olan ATY nin kullanıldığı senaryo 2 de; 204.622,92 ton CO₂ emisyonunun azaldığı, biyokütlenin kullanıldığı ve o oranda petrokok tüketiminin düşürüldüğü senaryo 3 te; 33.778,68 ton CO₂ emisyonunun azaldığı ve mısır sapı, pamuk sapı ve buğday sapının (biyokütle içeriği %100 olan) kullanımı ile fosil yakıt tüketim miktarının (petrokok) azaltıldığı senaryo 4 te; 56.296,87 ton CO₂ emisyonunun azaldığı hesaplanmıştır.

Senaryo verilerinden de anlaşılacağı üzere fosil yakıt tüketiminin azalması ve ATY de biyokütle içeriğinin arttırılması klinker üretimi sırasında oluşan emisyon miktarında önemli bir azalmaya neden olacaktır. Bu nedenle, fabrikaların fosil yakıtlardan uzaklaşarak, sürdürülebilirliği ve verimi düşünerek biyokütle içeriği yüksek atıkları veya tamamen temiz enerji kaynaklarını (yeşil hidrojen gibi) tercih etmesi gerekmektedir. Bu seçeneğin yaygınlaşması başta hava kirliliği olmak üzere birçok alanda çevresel kirliliğin azalmasına, karbon ayak izi emisyonlarının azalmasına bunlara ek olarak iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi önemli sorunlarda da iyileşme sağlanmasına neden olacaktır.

Ayrıca; karbon yakalama, taşıma ve depolama gibi yenilikçi seçeneklerin zaman içerisinde yaygınlaşması karbon ayak izi miktarının azalması yönünde önemli bir adımdır.

Kapsam 1 başlığı altında emisyon oluşturan diğer unsurlara bakıldığında; genel bakım ve kontrollerin zamanında ve düzenli yapılması (jeneratör, soğutucu gaz vb.), benzin ve dizel gibi geleneksel yakıtların yerine hibrit araçların veya elektrikli araçların kullanılması gibi önlemler ve yenilikler ile oluşan emisyon miktarı azalabilecek böylece daha temiz ve sürdürülebilir bir çevre mümkün olabilecektir.

Kapsam 2 emisyon sonucu incelendiğinde; 2023 yılı içerisinde elektrik tüketiminden kaynaklı olarak 80.123 ton CO₂ oluştuğu hesaplanmıştır. Fabrikada elektrik ihtiyacının yenilebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden karşılanması kapsamında senaryo oluşturulmuştur. Senaryo kapsamında yapılan hesaplama ile güneş panellerinin kullanımından kaynaklı olarak 760 tCO₂ emisyonunun azalabileceği hesaplanmıştır.

Fosil yakıtların tüketimi sonucunda üretilen elektriği tüketmek yerine yenilebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar vb.) ile üretilen elektriğin kullanılması, enerji tasarrufunu esas alan uygulamalara geçilmesi ve bu doğrultuda eğitimlerin düzenlenmesi kapsam 2 emisyonlarının azalmasına neden olacaktır.

Kapsam 3 emisyon sonuçları incelendiğinde; 2023 yılı içerisinde toplam 138.042,87 ton CO₂ emisyonunun oluştuğu hesaplanmıştır. Kapsam 3 başlıklarına bakıldığında en büyük emisyon kaynağının 137.632,35 ton CO₂ miktarı ile lojistik faaliyetler olduğu görülmektedir. Lojistik

faaliyetlerde çevreci ve sürdürülebilir önlemlerin alınması ve bu alanda emisyon miktarının düşürülmesi kapsam 3 emisyon miktarının da azalmasına neden olacaktır.

Lojistik faaliyetlerden kaynaklı emisyon miktarının azaltılabilmesi için; nakliye süreçlerinin optimize edilmesi, taşımalar ve transferler sırasında fosil yakıt tüketen araçlar yerine hibrit veya elektrikli araçların tercih edilmesi, malzemelerin daha yakın yerlerden tedarik edilmesi gibi önlemler lojistik faaliyetlerden kaynaklı emisyon miktarının azalmasına neden olacaktır.

Kapsam 3 başlığı altında emisyon oluşturan diğer unsurlara bakıldığında; genel bakım ve kontrollerin zamanında ve düzenli yapılması (araçlar vb.), benzin ve dizel gibi geleneksel yakıtların yerine hibrit araçların veya elektrikli araçların kullanılması, araç filo yönetim sisteminin uygulanması, iş toplantıları ve eğitimlerinin uzaktan bağlantı programları ile yürütülmesi, teması sürdürülebilirlik olan farkındalık eğitimlerinin düzenlenmesi, atık yönetimi ve su yönetimi kapsamındaki iyileştirme çalışmaları sonucunda kapsam 3 emisyon miktarı azalabilecektir.

Sonuç olarak; karbon ayak izinin azaltılması ve bazı alanlarda sıfırlanabilmesi için bireysel, toplumsal ve kurumsal düzeyde en uygun ve sürdürülebilir çevresel stratejilerin uygulanması gerekmektedir. Global düzeyde çevre dostu yatırımların yaygınlaşması ile emisyon miktarları kontrol altına alınabilecek ve azaltılabilecektir.



KAYNAKLAR

- Ağıralan, E., Sadioğlu, U., 2021. İklim Değişikliği Farkındalığı ve Toplum Bilinci: İstanbul Örneği. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 21(1), 627-624.
- Aksoy, S., 2023 Aksaray İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Altıntaş, H., 2013. Türkiye’de Birincil Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Eş Bütünleşme Ve Nedensellik Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 8(1), 263-294.
- Anonim 1: IPCC, <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/040.htm> [Son Erişim Tarihi: 31.03.2024]
- Anonim 2: <https://www.ipcc.ch/documentation/> [Son Erişim Tarihi: 27.04.2024]
- Anonim 3: <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992> [Son Erişim Tarihi: 28.04.2024]
- Anonim 4: <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> [Son Erişim Tarihi: 15.04.2024]
- Anonim 5: <https://iklim.gov.tr/kyoto-protokolu-i-35> [Son Erişim Tarihi: 15.04.2024]
- Anonim 6: <https://iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34> [Son Erişim Tarihi: 21.04.2024]
- Anonim 7: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakati> [Son Erişim Tarihi: 24.04.2024]
- Anonim 8: https://www.ab.gov.tr/avrupa-yesil-mutabakati_53729.html [Son Erişim Tarihi: 25.04.2024]
- Anonim 9: <https://www.ab.gov.tr/p.php?e=92> [Son Erişim Tarihi: 06.09.2024]
- Anonim 10: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakati> [Son Erişim Tarihi: 24.04.2024]
- Anonim 11: <https://www.turkcimento.org.tr/tr/bunlari-biliyor-muydunuz/turkiye-cimento-ihrac-eden-bir-ulke-midir> [Son Erişim Tarihi: 20.10.2024]
- Anonim 12: https://www.turkcimento.org.tr/tr/haber_detay/cimento-ve-klinker-istatistikleri [Son Erişim Tarihi: 20.10.2024]
- Anonim13: <https://ticaret.gov.tr/data/66040b6613b876cad0db94ae/Sekt%C3%B6rel%20D%C3%BCn%20C5%9F%C3%BCK%20Karbonlu%20Yol%20Haritalar%C4%B1%20Sunumu%2025.03.2024.pdf> [Son Erişim Tarihi: 20.10.2024]
- Atabey, T., 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Elazığ.
- Avcı, A. 2022., Şirketlerde Küresel İklim Değişikliği Farkındalığı Ve Karbon Ayak İzi Sıfırlama Uygulamalarının İncelemesi Üzerine. Journal Of Social, Humanities 69 and Administrative Sciences (Joshas), 8(5): 584-588.

- Balta, M. 2020., Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Enerji Verimliliği. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Bayraç, H.N., Emrah, D. 2016. Türkiye’de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 11(1), 23-48.
- Bozdemir, Y., 2010. Kyoto Protokolü ve AB Çevre Düzenlemelerinin Türkiye-AB İlişkilerine Yansımaları (Master's Thesis, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Change, C., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (Edited by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., and Miller, H. L.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Çelik, S., Bacanlı, H., Görgeç, H., 2008. Küresel İklim Değişikliği ve İnsan Sağlığına Etkileri. Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü, 1(1): 1-31.
- Çevirgen, M., S. 2009. İstanbul’da Denizyolu Ulaşımının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çokaygil, Z., Banar, M., 2005. Yaşam Döngüsü Analizi ve Standartlar Açısından Bir Değerlendirme. VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Demirbaş, F., 2018. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: İklim Değişikliği Özel İhtisas Raporu. 2532-548, 123.
- Dindar, G., 2021. Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzi Hesaplaması- Bursa İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Dulkadiroğlu, H., 2018. Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Emisyonları Açısından İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 67-74.
- Ekinci, F., 2022. Bursa İli Karayolundan Kaynaklanan Karbon Ayak İzi Miktarının Belirlenmesi ve Alınabilecek Önlemlerin Ortaya Konulması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Isparta.
- Engin, B., 2010. İklim Değişikliği ile Mücadelede Uluslararası İşbirliğinin Önemi. Sosyal Bilimler Dergisi, 0(2), 71-82.
- EPA, U., 2015. Climate Change Indicators: Global Greenhouse Gas Emissions. US EPA.
- Ersoy, A.E., 2017. Türkiye’nin Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Durumu Ve Biyogaz Enerjisi Potansiyeli.
- Guinee, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., Rydberg, T., 2011. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. Environmental Science Technology, 45, 90–96.

- Gürsoy, F.B., 2023 Erciyes Üniversitesi Kampüsünde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Erciyes Üniversitesi
- Houghton, J., 2005. Global Warming. Reports on Progress in Physics, 68(6), 1343.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.1007.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- James, K.L., 2003. Environmental Life Cycle Cost in The Australian Food Packaging Supply Chain. Doctoral Thesis, Victoria University, Faculty of Business and Law.
- Kaplan, İ., 2011. Karbon Yönetim Sistemi ve ISO 14064. İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi, 23-24 Aralık, İzmir.
- Karakaya, H., 2022 Mersin Üniversitesi Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplaması ve Değerlendirilmesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karakoç, A., 2022. Yerel Yönetimler İçin Karbon Ayak İzinin Hesaplanması; Kahramankazan Örneği. Necmettin Erbakan Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Kılıç, S., 2008. Küresel İklim Değişikliği Sürecinde Su Yönetimi. İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, (39), 161-186.
- Kurban, D., 2023. İklim Değişikliği Karşısında Kentlerin Eylem Planları: AB ve Türkiye Kentleri. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Küçükler, H., 2017. Sürdürülebilir Çevre Açısından Bir Çevresel Maliyet Unsuru Olan Karbon Maliyetlerin İncelenmesi: Çanakcılar Seramik Fabrikası Örneği. Bartın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, Bartın.
- Mavi, İ., 2021. Küresel İklim Değişikliği Bağlamında Yeni Toplumsal Hareket Örneği Olarak Küresel Çevreci Hareketler. Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(2), 116-126.
- Muslu, Y., 2000. Ekoloji ve Çevre Sorunları. Aktif Yayınevi.
- Muthu, S. S., 2015. The Carbon Footprint Handbook. CRC Press.
- Neale J., 2009. “Küresel Isınmayı Durduralım, Dünyayı Değiştirelim!”, Çev. Doğan Tarkan, İstanbul: Yordam Kitap
- Onat, A., İmal, M. ve İnan, A. T., 2004. Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 32-38.
- Öksüm, 2023 Tekstil Endüstrilerinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özlem, B., 2013. Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi (Doctoral Dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi).

- Özmen, M. T., 2009. Sera Gazı-Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi, Ankara, 42-46.
- Özyonar F. Gökkuş Ö., 2020. Kayseri İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Değişimi, 5. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
- Pekin, M.A., 2006, Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ripple, W. J., Smith, P., Haberl, H., Montzka, S. A., Mcalpine, C., ve Boucher, D. H., 2014. Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change*, 4(1),2-5.
- Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., Hughes, J. J., 2021. Climate change impacts on cultural heritage: a literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(4): E710
- Solarin, S. A., 2019. Convergence in CO2 Emissions, Carbon Footprint and Ecological Footprint: Evidence From Oecd Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(6): 6167-6181.
- Şahin, M. T., 2019. Karbon Ayak İzi Uygulamaları: Çimento Fabrikası Örneği (Doctoral dissertation, Gebze University
- Tolunay, D., 2011. İklim Değişikliği ve Peyzaj Mimarlığı. *Peyzaj Life*, 44-50.
- TÜRKER, A., 2020. Environmental Problems in Development Plans in Turkey.
- Türkeş, M., 2001. “Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma”, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205.
- Tüzer, M., Doğan, S., 2021. İklim Değişikliğinin Bilimsel Temelleri. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 10(3), 639–656. doi:10.3334/CDIAC/CLI.006
- United States Environmental Protection Agency. (2016). Climate Change Indicators: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases.
- Uzunçakmak, M., 2014. Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve iklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, 171s, Ankara
- Üreden, A., Özden, S., 2018, Kurumsal Karbon Ayak İzi Nasıl Hesaplanır: Teorik Bir Çalışma. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 98-108.
- Varol, N., Ayaz., M., 2012. Küresel İklim Değişikliği ve Zeytincilik. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1): 11-13.
- Vural, Ç., 2018. Küresel İklim Değişikliği ve Güvenlik. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 7(1): 57-85.
- Wackernagel, M., Kitzes, J. (2008). Ecological Footprint. *Encyclopedia Of Ecology*, 3, 1031-1037.

- Wintergreen, J., ve DELANEY, T., 2007. ISO 14064, International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification. In 16th Annual International Emissions Inventory Conference, Raleigh, NC.
- Yaşar, S., 2022, Endüstriyel Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Çimento Sanayi Örneği Giresun Üniversitesi
- Yılmaz, A., 2017, Yaşam Döngüsü Analizi, İstanbul, Türkiye, 3, ISBN: 1300-2414.





ÖZGEÇMİŞ

Kübra KAHRAMAN, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Lisans eğitimine 2011 yılında başladı, 2015 yılında tamamladı. İş Sağlığı ve Güvenliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine 2022 yılında başladı, 2023 yılında tamamladı. Çimento sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada Çevre Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

