

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KURUMSAL KARBON AYAK İZİ HESAPLAMA: EMÜLGATÖR
ÜRETİMİ YAPAN FABRİKA ÖRNEĞİ VE KURUMSAL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

GİZEM SABANCIOĞLU KARYAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF.DR. NİHAL BEKTAŞ

ŞUBAT 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KURUMSAL KARBON AYAK İZİ HESAPLAMA:
EMÜLGATÖR ÜRETİMİ YAPAN FABRİKA ÖRNEĞİ
VE KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

GİZEM SABANCIOĞLU KARYAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF.DR. NİHAL BEKTAŞ

ŞUBAT 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**CORPORATE CARBON FOOTPRINT CALCULATION:
THE EXAMPLE OF A FACTORY PRODUCING
EMULSIFIERS AND CORPORATE SUSTAINABILITY**

GİZEM SABANCIOĞLU KARYAĞ

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR: PROF.DR. NİHAL BEKTAŞ

FEBRUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/02/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gizem SABANCIOĞLU KARYAĞ'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE

: Prof. Dr. Pnar ERGENEKON

ÜYE

: Doç. Dr. Aliye Suna ERSES YAY

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

*Desteğini hiçbir zaman
benden esirgemeyen canım ailem,
her koşulda yanımda olan bir tanecik
eşim ve varlıklarıyla beni hayatta
tutan tüm patili canlarıma ithaf
ediyorum.*

ÖZET

Nüfusun artması doğal kaynaklara, enerjiye ve fosil yakıtlara olan talebi de artırmaktadır. Doğal yaşam döngülerinin bozulması ve atmosferdeki sera gazlarının yükselmesi gibi doğa üzerinde çeşitli olumsuz etkiler tüketimdeki artışın sonuçlarıdır. Bu sonuçlar, Dünya'daki yaşamı olumsuz etkileyen küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle iklim sistemleri değişmekte ve bu da doğal ekosistemler üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Dünya çapındaki birçok ülke, küresel ısınmanın etkisini değerlendirmek ve sonuçlarını azaltmak için iş birliği yapmaktadır. Yapılan bu iş birlikleri, enerji tüketen ve karbon emisyonuna neden olan faaliyetleri belirlemeyi, karbon çıktısını ölçmeyi ve iyileştirme girişimleri yürütmeyi kapsamaktadır. Sera gazı emisyonlarının etkisi, "karbon ayak izi"nin hesaplanması yoluyla değerlendirilebilir. Bu çalışmada, emülgatör üretimi yapan bir firmanın kurumsal karbon ayak izi hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar, GHG Protokolü ve ISO 14064-1 standartlarına uygun olarak yapılmış olup, emisyon faktörleri için IPCC ve GHG Protokolü kaynaklarından faydalanılmıştır. Çalışma kapsamında, 2024 yılının ilk altı aylık dönemi için hesaplamalar yapılmış olup Tier 1 yaklaşımı benimsenmiş, elektrik tüketimi hesaplamalarında ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı emisyon faktörlerine dayanılarak Tier 2 yaklaşımı kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda kurumun altı aylık sera gazı salınımı toplam 72,8 ton CO₂eş emisyon olarak belirlenmiştir. Bu emisyonun 10,83 ton CO₂eş'i kapsam 1 (doğrudan emisyonlar), 48 ton CO₂eş'i kapsam 2 (elektrik tüketimine bağlı emisyonlar) ve 13,96 ton CO₂eş'i kapsam 3 (dolaylı emisyonlar) olarak dağılım göstermektedir. Çalışma, emisyon kaynaklarının ayrıntılı şekilde analiz edilmesini ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kurumun iyileştirme çalışmaları yapmasını hedeflemektedir. Tezin son bölümünde, kurumun sürdürülebilirlik davranışları incelenmiş olup çeşitli iyileştirme önerileri sunulmuştur. Bu önerilerin, kurumun çevresel etkilerini azaltarak sera gazı emisyonunu düşürmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: GHG Protokolü, Iso 14064-1 Standartı, Emülgatör Üretimi, Karbon Ayak İzi, IPCC.

ABSTRACT

Population growth increases the demand for natural resources, energy and fossil fuels. Various negative impacts on nature, such as the disruption of natural life cycles and the rise of greenhouse gases in the atmosphere, are the consequences of increased consumption. These consequences lead to global warming, which negatively affects life on Earth. Climate systems are changing due to global warming, which has a negative impact on natural ecosystems. Many countries around the world are cooperating to assess the impact of global warming and mitigate its consequences. These collaborations involve identifying energy-consuming and carbon-emitting activities, measuring carbon output and implementing improvement initiatives. The impact of greenhouse gas emissions can be assessed by calculating the “carbon footprint”. In this study, a corporate carbon footprint calculation of an emulsifier manufacturing company was carried out. Calculations were made in accordance with the GHG Protocol and ISO 14064-1 standards, and IPCC and GHG Protocol sources were used for emission factors. Within the scope of the study, calculations were made for the first six months of 2024 and the Tier 1 approach was adopted, while the Tier 2 approach was used in electricity consumption calculations based on the emission factors published by the Ministry of Environment and Urbanization. As a result of the calculations, the institution's six-month greenhouse gas emission was determined as 72.8 tons of CO₂e emissions. Of this emission, 10.83 tons of CO₂e is scope 1 (direct emissions), 48 tons of CO₂e is scope 2 (emissions due to electricity consumption) and 13.96 tons of CO₂e is scope 3 (indirect emissions). The study aims to analyze emission sources in detail and to improve the organization in line with sustainability goals. In the final section of the thesis, the sustainability behaviors of the organization are examined, and various improvement suggestions are presented. These suggestions aim to reduce the environmental impact of the organization by lowering greenhouse gas emissions.

Keywords: GHG Protocol, Iso 14064-1 Standard, Emulsifier Production, Carbon Footprint, IPCC.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, tez konumun belirlenmesinden son aşamasına kadar bana yol gösteren, her adımda sabır ve özveriyle rehberlik eden değerli danışmanım Prof. Dr. Nihal Bektaş'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmam boyunca sağladıkları bilgi, destek ve katkılar için Aspek Kimya'ya gönülden minnettarım.

Okul hayatım boyunca maddi-manevi her anlamda yanımda olan, varlıklarıyla bana güç veren sevgili babam Murat Sabancıoğlu'na ve her koşulda desteğini esirgemeyen, sevgisiyle beni daima ayakta tutan canım annem Hülya Sabancıoğlu'na sonsuz teşekkür ederim. Tez sürecimde bana her zaman destek olan kıymetli kardeşim Ali Sabancıoğlu'na sevgisi ve yardımları için minnettarım. Ve canım ablama ,bana kattığı değerler ve hayata bakış açımda sağladığı farkındalık için sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana inanıp güvenen, varlığıyla güç veren sevgili eşim Mehmet Karyağ'a sonsuz minnettarım. Bu yolculuk boyunca sabrı, sevgisi ve desteğiyle her an yanımda oldu. Yorulduğumda bana güç veren, tereddüte düştüğümde inancımı hiç eksiltmeyen, en zor anlarımda bile beni cesaretlendiren varlığı, bu süreci benim için çok daha anlamlı kıldı. Onun koşulsuz desteği, fedakarlığı ve sevgisi olmasaydı, bu çalışmayı tamamlamak çok daha zor olurdu. Bana gösterdiği anlayış, sabır ve her daim hissettirdiği güven için ona yürekten teşekkür ediyorum.

Hayatımı renklendiren, saf sevgileriyle her an bana umut ve neşe veren, varlıklarıyla huzuru ve mutluluğu tattıran can dostlarım Carlos, Özgür,Fıstık, Oreo ve Boncuk'a sonsuz teşekkür ediyorum. Karşılıksız sevgileri, sadakatleri ve bana öğrettikleri her şey için minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	4
1.2. Tezin Amacı	6
1.3. Tezin İçeriği ve Katkısı	7
2. SERA GAZLARI	9
2.1. Sera Gazı Türleri	12
2.2. Sera Gazı Oluşma Nedenleri	14
2.3. Küresel İklim Anlaşmaları	18
2.3.1. Montreal Protokolü ,1987	19
2.3.2. BM İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi (UNFCCC,1982)	20
2.3.3. Kyoto Protokolü ,2005	20
2.3.4. Paris Anlaşması ,2015	21
2.3.5. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ,2016	21
2.3.6. Yeşil Mutabakat	22
3.KARBON AYAK İZİ DEĞERLENDİRMESİ	24
3.1. Scopes (Kapsamlar)	25
3.2. Değerlendirme Sınırları	27
3.2.1. Organizasyonel Sınırlar	27
3.2.2. Operasyonel Sınırlar	28
3.3. Küresel Isınma Potansiyeli ve Emisyon Faktörleri	28
3.4. ISO 14064 Standartları	30
3.4.1. ISO 14064-1 Kategorileri	33
3.5. IPCC Metodolojisi	36
3.6. DEFRA	37
4. EMÜLGATÖRLER VE GİDALARDAKİ ROLÜ	39
4.1. Emülgatörlerin Görevleri	39
4.2. Nişasta ve Emülgatör Etkileşimi	41
4.3. Protein ve Emülgatör Etkileşimi	42
5. MATERYAL VE METOD	46
5.1. Şirket Tanımı	46
5.2. Hesaplama Yöntemleri	48
5.3. Kullanılan Faaliyet Verileri	51
6. BULGULAR	54
6.1. Kapsam 1 SGE Hesaplamaları	54
6.2. Kapsam 2 SGE Hesaplamaları	56
6.3. Kapsam 3 SGE Hesaplamaları	57
7. TARTIŞMA ,SONUÇ VE ÖNERİLER	60

7.1. Tartışma ve Sonuç	60
7.2. Öneriler	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	71
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN SUNUM	72
EKLER	73



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CH ₄	: Metan
CO ₂ e	: Karbondioksit Eşdeğeri
G	: Gram
Gj	: Gigajoule
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
Kwh	: Kilowatt-saat
M	: Metre
N ₂ O	: Nitröz Oksit
Tj	: Terajoule
AB	: Avrupa Birliği
AR6	: Altıncı Değerlendirme Raporu
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BSI	: Britanya Standartlar Enstitüsü
CF	: Karbon Ayak İzi
COP	: Taraflar Konferansı
DEFRA	: Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Bakanlığı
EF	: Emisyon Faktörü
EGD	: Avrupa Yeşil Mutabakatı
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FV	: Faaliyet Verisi
GHG	: Sera Gazı
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KAİ	: Karbon Ayak İzi
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
KKAİ	: Kurumsal Karbon Ayak İzi
NCV	: Net Kalorifik Değer
NOAA	: Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
PAS	: Kamuya Açık Teknik Şartname
SGE	: Sera Gazı Emisyonu
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
UNGC	: Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler Sözleşmesi
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
WRI	: Dünya Kaynakları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Yıllık Ortalama Sıcaklık Artışı.	2
Şekil 2.1: Sektörlere göre sera gazı emisyon oranları.	12
Şekil 2.2: Gazlara göre sera gazı emisyon oranları.	14
Şekil 2.3: Sera Gazları ve Oluşma Nedenleri.	17
Şekil 2.4: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri.	22
Şekil 3.1: Kapsam ve Emisyonlara Genel Bakış.	26
Şekil 3.2: ISO 14064'ün Bölümleri Arasındaki İlişki.	31
Şekil 4.1: Emülgatör Çalışma Mekanizması.	40
Şekil 4.2: Nişasta ve Emülgatör Etkileşimi.	42
Şekil 5.1: Üretim İş Akış Şeması.	47
Şekil 7.1: Sera Gazı Emisyonlarının Kapsam Dağılımları.	60
Şekil 7.2: Kapsam 1 Emisyon Dağılımları.	61
Şekil 7.3: Kapsam 2 SGE Şube Dağılımları.	62
Şekil 7.4: Kapsam 3 SGE Dağılımları.	63

TABLÖLER DİZİNİ

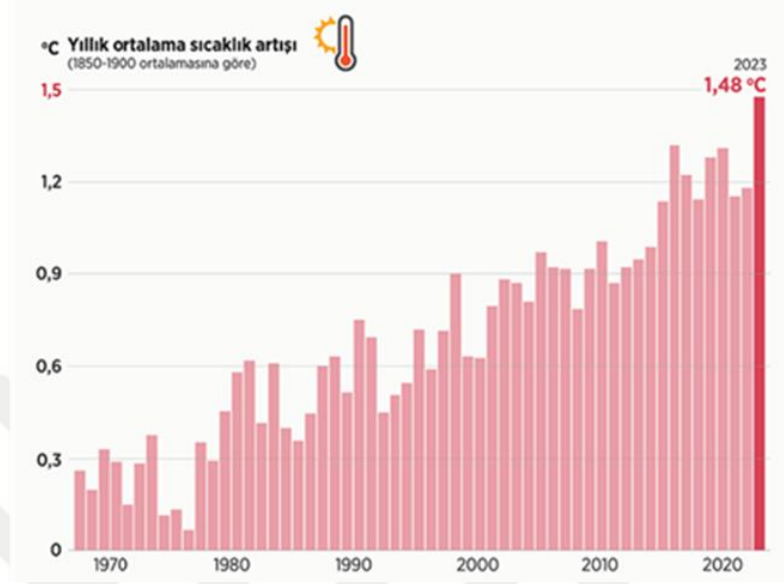
	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 : IPCC 6. Değerlendirme Raporuna Göre Sera Gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri GWP Değerleri.	10
Tablo 4.1 : Üretilen Emülgatörler ve Kullanım Alanları.	43
Tablo 5.1 : Sera Gazı Emisyon Kapsamları ve Kategorileri.	50
Tablo 5.2 : Faaliyet Verileri.	52
Tablo 5.3 : Küresel Isınma Potansiyelleri.	53
Tablo 6.1 : Sabit Yakma Kaynaklı SGE.	55
Tablo 6.2 : Hareketli Yakma Kaynaklı SGE.	55
Tablo 6.3 : Sızıntılardan Kaynaklanan SGE.	56
Tablo 6.4 : Hammaddelerin Nakliyesinden Kaynaklanan SGE.	57
Tablo 6.5 : Kiralık Araç Kaynaklı SGE.	58

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleri dünyanın doğal dengesini büyük ölçüde etkiler. Bu etkinin büyüklüğü "iklim değişikliği" adı verilen bir terimle açıklanabilir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim değişikliğini "ortalama ve/veya özelliklerinin değişkenliğindeki değişikliklerle tanımlanabilen ve genellikle on yıllar veya daha uzun süre devam eden iklim durumundaki bir değişiklik" olarak tanımlar. Doğal değişkenlik veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan iklimdeki herhangi bir değişikliği ifade eder [IPCC , 2006]. Öte yandan, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), iklim değişikliğini "küresel atmosferin bileşimini değiştiren ve karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlemlenen doğal iklim değişkenliğine ek olarak doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetine atfedilen bir iklim değişikliği" olarak adlandırır [Birleşmiş Milletler, 1992]. Her iki tanım da antropolojik faaliyetlerin doğrudan veya dolaylı etkileri konusunda tutarlıdır. İklim değişikliği ve bunun yeryüzüne etkileri, endüstriyel faaliyetlerin hızla artması nedeniyle 1950'lerden sonra daha belirgin hale geldi. Çoğu iklim bilimci, iklim değişikliğinin temel parametresinin havadaki sera gazı konsantrasyonunun artan miktarı olduğu konusunda hemfikirdir. Solomon ve arkadaşları, karbondioksit emisyonu şimdi durdurulsa bile, iklim üzerindeki etkilerin 1000 yıl içinde tersine dönebileceğini iddia ettiler [Solomon vd., 2009]. Başka bir bilim insanı grubu, sera gazı emisyonu miktarlarındaki değişikliklerin ekonomik hasara yol açmasıyla bir neden-sonuç zincirinin tetiklendiğini savundu [Shine K. vd., 2005]. NASA istatistiklerine göre, “atmosferdeki karbondioksit, metan ve nitroz oksit konsantrasyonları uzun yıllar boyunca artmış ve karbondioksit konsantrasyonu 1956'da 315,71 ppm'den 2014'te 398,78 ppm'ye ulaşırken 2024 yılında 424 ppm'e yükselmiştir. Okyanus asitlenmesi, okyanuslarda yayılan antropojenik karbondioksitin %30'unun emilmesinden kaynaklanmaktadır” [Web 1, 2015].

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artışı, küresel sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır. İklim Kuruluşu Berkeley Earth verilerine göre 2023 yılı ,1850 yılına kadar uzanan küresel sıcaklık veri kayıtlarında en sıcak takvim yılı olmuştur. Bu küresel sıcaklık ortalamasında ilk kez 1,5 °C kritik eşiği aşılmıştır. 1970 yılından 2023'e kadar aylık küresel yüzey sıcaklığı anormallikleri (°C) **Şekil 1.1'de**

gösterilmiştir. İnsan kaynaklı küresel ısınmadan dolayı daha yüksek sıcaklıklara uzun vadeli eğilim vardır. İnsan yapımı faktörlerle 2023'te ortaya çıkan El Niño olayı birleşerek rekor kıran sıcak bir yıl yaratmıştır [Web 2 ,2023].



Şekil 1.1: Yıllık Ortalama Sıcaklık Artışı [Web 3,2023].

Tüm bu kanıtlar, sera gazı emisyonlarının hızla artmasında insan faktörünün önemli faktörlerden biri olduğunu kanıtlamıştır. Ek olarak, sera gazı emisyon miktarları artmaya devam ettikçe, iklim değişikliği tüm iklim sisteminde bir değişikliğe neden olacaktır. Sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınması veya en azından bu emisyonların takibinin sağlanması, iklim değişikliğinin etkileri daha belirgin hale geldikçe giderek daha kritik bir hale gelmektedir. Karbon, Atmosferde karbondioksit (%2), kara bitkilerinde ve topraklarda biyokütle (%5), çeşitli jeolojik rezervuarlarda fosil yakıtlar (%8) ve okyanusta iyon topluluğu (%85) olarak depolanmış halde bulunabilir [Desa vd., 2009]. İnsan faaliyetleri sonucu yayılan en büyük sera gazı %54,7 ile karbondioksittir, bunu %30 ile metan, %9,8 ile diğer gazlar, %4,9 ile azot oksit ve %0,6 ile florlu gazlar takip eder [IPCC,2007]. IPCC 4. Değerlendirme Raporunda belirtildiği gibi, “CO₂ konsantrasyonlarındaki artış, ulaşım, ısıtma ve soğutma, imalat ve diğer endüstriyel faaliyetler için fosil yakıt kullanımı gibi insanlığın doğrudan ve dolaylı faaliyetleriyle açıklanabilir. Ormansızlaşma ve ürün ekimi gibi arazi yönetiminde diğer önemli insan faaliyetleri gözlemlenebilir.” İnsan

faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit emisyonları, iklim değişikliğine katkıda bulunan en büyük antropojenik faktör olarak kabul edilir **[IPCC, 2007]**.

Sera gazlarının en yaygın türü olan karbondioksit emisyonları, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini ölçmek için kullanılan 'karbon ayak izi' kavramıyla değerlendirilebilir ve hesaplanabilir.

Karbon ayak izinin hesaplanmasının karmaşıklığı, birçok araştırmacıyı karbon ayak izinin tahminiyle ilgilenmeye yöneltmektedir. Ulaşım, elektrik tüketimi, gıda tüketimi, imalat, kâğıt kullanımı, temizlik kimyasalları gibi örgütsel faaliyetler CO₂ gazları yayar **[Wiedmann T. ve Minx J., 2008]**. Karmaşıklığı nedeniyle faaliyetlerin ve emisyon faktörlerinin seçimi karbon muhasebesi için önemli kararlardır.

Küresel ısınma, yalnızca çevresel bir problem değil, aynı zamanda politika, ekonomi, teknoloji ve toplum gibi birçok alanda geniş kapsamlı etkiler yaratan bir küresel krizdir. İnsanlık, bu sorunun yol açtığı karmaşık zorluklarla yüzleşmek zorunda kalırken, uluslararası toplulukta giderek artan bir endişe ve farkındalık oluşmaktadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992), Kyoto Protokolü (1997), Bali Yol Haritası (2007) ve Kopenhag Mutabakatı (2009) gibi çeşitli uluslararası düzenlemeler kabul edilmiştir. Bu düzenlemeler, küresel ısınmaya karşı uluslararası toplumun taahhütlerini ve mücadelesini ortaya koymaktadır. Uzlaşya göre, ülkeler emisyon azaltımları ve eylem planları konusunda taahhütlerde bulunmuştur. Böylece, düşük karbonlu ekonomi, düşük karbonlu şehir, düşük karbonlu yaşam, karbon ticareti, karbon vergisi ve karbon emisyonlarını azaltma araçları gibi yenilikçi kavramlar tüm dünyanın önemli bir kalkınma stratejisi haline gelmiştir. Hükümetler, kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından ekonomik, sosyal ve diğer yönler üzerinde ilgili araştırma çalışmaları yürütülmüş ve tüm paydaşlar düşük karbonlu bir kalkınma yolu bulmaya çalışmaktadır. Düşük karbon ekonomisine geçişin zorluklarına rağmen, emisyon muhasebesi ve azaltımı, karbon emisyon ticareti platformları, karbon vergisi ve karbon emisyon politikası gibi inovatif çözümlerle çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme arasındaki dengeyi sağlamaya yönelik çabalar hız kazanmaktadır. Karbon ayak izi ve değerlendirme standartları, düşük karbon araştırmalarındaki en temel ve kritik araştırmalardan biridir. Çeşitli kuruluşlar ve organizasyonlar tarafından hesaplama standartları geliştirilip sürekli olarak güncellenmektedir. Bu standartlar, sera gazı emisyonlarının doğru bir şekilde izlenmesi ve raporlanması için temel ilkeleri

içerir. Bu hesaplama yöntemleri genellikle sektöre özgü verileri, faaliyet türlerini ve kullanılan enerji kaynaklarını dikkate alır.

Bu tez kapsamında, gıda emülgatörleri üreten bir fabrikanın sera gazı emisyonları hesaplanacak, emisyon seviyelerini belirleyen temel parametrelerin etkisi değerlendirilecek ve şirketin kurumsal sürdürülebilirliği analiz edilecektir.

1.1. Literatür Özeti

Karbon ayak izi, ekolojik ayak izi kavramından türetilmiş olup, insan faaliyetlerinin Dünya ekosistemleri üzerindeki etkisini ölçen bir göstergedir. Bu kavram, gezegenin ekolojik olarak kendini yenileme kapasitesiyle karşılaştırılabilir doğal kaynak talebinin standart bir ölçüsünü sunar. Karbon ayak izi, belirli bir nüfusun tükettiği kaynakları sağlamak ve ortaya çıkan atıkları doğanın absorbe edebilmesi için gereken biyolojik olarak üretken kara ve deniz alanının miktarını ifade eder. Bu yöntem sayesinde, belirli bir yaşam tarzının benimsenmesi durumunda, insanlığın sürdürülebilir şekilde varlığını sürdürebilmesi için kaç gezegen büyüklüğünde bir alanın gerekli olduğu tahmin edilebilir [Kim vd., 2015].

Ancak, şu anda karbon ayak izinin yaygın olarak kabul görmüş ve somut bir tanımı yoktur. Ancak ayak izinin ne olduğu kavramı vardır. Çoğunlukla kabul görmüş bir kavram Wiedmann ve diğerleri tarafından önerilmiştir: Karbon ayak izi, bir faaliyetin doğrudan veya dolaylı olarak yol açtığı ya da bir ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan toplam karbondioksit emisyonunun bir göstergesidir. Aynı zamanda, karbon ayak izi atmosferdeki karbondioksit salınımının ölçülmesine yönelik bir kriter olarak da kullanılmaktadır [Sweetapple vd., 2013].

İklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olan karbon ayak izi, bireylerden ürünlere, işletmelerden şehirlere ve hatta ülkelere kadar geniş bir yelpazede, farklı düzeylerde oluşan sera gazı emisyonlarının miktarını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Kişisel karbon ayak izi, bireylerin günlük yaşamlarında gerçekleştirdiği giyim, beslenme, barınma ve ulaşım gibi faaliyetler sonucunda ortaya çıkan karbondioksit emisyonlarını ifade eder. Ürünlerin karbon ayak izi ise hammaddelerin çıkarılmasından üretim, kullanım ve nihai bertaraf süreçlerine kadar tüm yaşam döngüsü boyunca oluşan sera gazı (GHG) emisyonlarının toplamını kapsar. Kurumsal karbon ayak izi, bir işletmenin faaliyetleri kapsamında enerji kullanımı, endüstriyel

Üretim süreçleri ve ŗirket araçlarının neden olduğu sera gazı salınımlarını içerir. Ulusal karbon ayak izi ise bir ülkenin genel malzeme ve enerji tüketimi, bitki örtüsünün karbon tutma kapasitesi, ithalat ve ihracat gibi süreçlerden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı emisyonlarını değerlendirerek ülke genelindeki toplam karbon salınımını analiz eder.

İklim deėiŗikliėiyle mücadelede önemli bir araç olan karbon ayak izi, bireylerden ürünlere, iŗletmelerden ŗehirlere ve hatta ülkelere kadar geniŗ bir yelpazede, farklı düzeylerde oluŗan sera gazı emisyonlarının miktarını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Kiŗisel karbon ayak izi, bireylerin günlük yaŗamlarında gerekleŗtirdiėi giyim, beslenme, barınma ve ulaŗım gibi faaliyetler sonucunda ortaya çıkan karbondioksit emisyonlarını ifade eder. rnlerin karbon ayak izi ise hammaddelerin çıkarılmasından üretim, kullanım ve nihai bertaraf süreçlerine kadar tüm yaŗam döngüsü boyunca oluŗan sera gazı (GHG) emisyonlarının toplamını kapsar. Kurumsal karbon ayak izi, bir iŗletmenin faaliyetleri kapsamında enerji kullanımı, endüstriyel üretim süreçleri ve ŗirket araçlarının neden olduğu sera gazı salınımlarını içerir. Ulusal karbon ayak izi ise bir ülkenin genel malzeme ve enerji tüketimi, bitki örtüsünün karbon tutma kapasitesi, ithalat ve ihracat gibi süreçlerden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı emisyonlarını değerlendirerek ülke genelindeki toplam karbon salınımını analiz eder.

Karbon ayak izi, kiŗisel, ürün, organizasyonel ve ülke bazında ölçülür. Kiŗisel ayak izi bireylerin yaŗam tarzından kaynaklanırken, ürün ayak izi ürünün üretim ve kullanım süreçlerinden ortaya çıkar. Organizasyonel ayak izi, ŗirketlerin faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonları içerir, ülke bazındaki ayak izi ise bir ülkenin toplam tüketimi ve ekonomik faaliyetleriyle ilgili emisyonları değerlendirir.

Farklı ihtiyaç ve ölçeklere göre karbon ayak izi hesaplamasında kullanılan yöntemler eŗitlilik gösterir. Üç ana yaklaŗım n plandadır. Girdi-ıktı (G) analizi, ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini inceleyip, değerlendirme üretim sürecinde kullanılan girdilere dayalıdır [Sinden, 2009].

Bir hizmetin veya ürünün hammadde çıkarımından atık yönetimine kadar olan aŗamalarındaki karbon emisyonlarını analiz etmek için ise Yaŗam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) kullanılabilir. LCA metodu tüm yaŗam döngüsünü kapsar.

GÇ-LCA ise bu iki yöntemi kombine ederek hem ekonomik hem de süreç tabanlı verilerle daha geniş bir bakış açısı sağlar.

Kamuya Açık Teknik Şartname (PAS) 2050 ve ISO 14067 standartları, bir ürünün karbon ayak izini hesaplamak için kullanılan iki önemli kılavuzdur. İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) tarafından geliştirilen PAS 2050, bir ürünün beşiğinden mezarına kadar geçen tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını detaylı bir şekilde inceleyerek, çevresel etkilerini bütünsel bir perspektifte değerlendirir. Uluslararası standartlar örgütü ISO tarafından yayınlanan ISO 14067 ise, karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan yöntemleri ve raporlama süreçlerini daha detaylı bir şekilde açıklayarak, şirketlerin ürün kaynaklı emisyonlarını şeffaf bir şekilde yönetmelerine yardımcı olur. Her iki standart da "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi" temel alınmaktadır.

Emisyon kaynaklarını daha net bir şekilde tespit etmek için saha çalışmalarıyla doğrudan veriler elde edilir. Üretim süreçlerindeki her adımda ortaya çıkan emisyonları daha detaylı bir şekilde incelemek için ise proses tabanlı analizler kullanılır. GHG Protokolü ve ISO 14064 gibi uluslararası standartlar sayesinde kurumlar karbon ayak izlerini güvenilir ve tutarlı bir şekilde hesaplayabilir. Hesaplama da kullanılacak yöntem analiz yapılacak konunun ölçeği, kapsamı ve ulaşılabilen verilere bağlı olarak seçilmelidir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez gıda emülgatörleri üreten bir fabrikanın karbon ayak izi miktarını hesaplayacaktır. Karbon salınımını en çok etkileyen faktörleri belirleyip, karbon salınımı azaltımı için neler yapılabileceğini inceleyecektir. Türkiye'de emülgatör sektöründe karbon ayak izi analizi eksikliği bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, bu boşluğu doldurarak sektörde bir ilke imza atmak ve emülgatör üretimi sürecinin çevresel etkilerini nicel olarak belirlemektir. Ayrıca, çalışmanın bir diğer hedefi, şirketin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmektir.

1.3. Tezin İçeriği ve Katkısı

Tezde sera gazı kavramı, karbon ayak izi hesaplama yöntemleri, kullanılan veriler ve hesaplamaların nasıl yapıldığı detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Hesaplanan karbon ayak izi değerleri ve en büyük emisyon kaynakları sunulacaktır. Çalışmanın genel sonuçları özetlenip şirket için iyileştirme önerileri sunulacaktır.

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamanın şirketlere çeşitli katkıları vardır. Kuruluşlar, rekabet avantajı elde edebilmek için iklim değişikliği üzerindeki etkilerini değerlendirmeli ve buna yönelik stratejiler geliştirmelidir. Şirketlerin, ulusal ve uluslararası iklim politikalarını yakından takip ederek sera gazı risklerini etkin şekilde yönetmeleri gerekmektedir. Sera gazı emisyonlarını hesaplamayan işletmeler, gelecekte yürürlüğe girebilecek yasal düzenlemeler nedeniyle çeşitli yaptırımlarla karşılaşabilir. Bu çalışma, kurumun sürdürülebilirlik vizyonunu güçlendirmesine, çevre dostu kimliğini ön plana çıkarmasına, sera gazı emisyonlarının hesaplanması konusunda sektörde öncü bir rol üstlenmesine, emisyon azaltım fırsatlarını belirlemesine ve sera gazı yönetim planı oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tezde, çevre ve sürdürülebilirlik kavramları kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve karbon emisyonlarına ilişkin ayrıntılar verilmiştir. Emülgatör üretim endüstrisinde yer alan hammaddeler ve operasyonlar dikkate alınarak değerlendirilen, seçilen tesisten kaynaklanan emisyon kaynakları belirlenmiş ve karbon ayak izi (CF) hesaplanmıştır. Tesisin CF'sini azaltmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Sürdürülebilir kalkınma için kritik bir çevresel faktör olarak karbon emisyonlarını incelerken, tez üç ana bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın odak noktaları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- İlk bölüm çevresel sürdürülebilirlik kavramını ele alırken aynı zamanda iklim değişikliği, sera gazları ve küresel ısınma potansiyelini kavramsal olarak inceleyerek bunların dünya, Türkiye ve canlı organizmalar üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. İklim değişikliği ve CF arasındaki ilişki neden-sonuç çerçevesinde analiz edilmiştir.
- İkinci bölüm çevresel maliyetleri değerlendirir ve üretim süreçleri sırasında işletmelerden kaynaklanan karbon emisyonlarının kaynaklarını, farklı karbon

ayak izi hesaplama metotlarını ve CF ile ilgili ulusal ve uluslararası araştırmaların bir incelemesini yapar.

- Son bölüm emülgatör üretimi yapan bir fabrikayla ilişkili karbon emisyonlarını araştırmaktadır. Emülgatör üretimi yapan fabrikanın CF'si hesaplanmış ve emisyon kaynaklarını en aza indirmek için öneriler sunulmuştur.



2. SERA GAZLARI

Güneş ışığı, doğal sera etkisi süreciyle dünyayı yaşanabilir hale getirir. Dünyamıza ulaşan güneş enerjisinin (güneşten gelen ışık ve ısı) yaklaşık %30'u uzaya geri yansıtılırken, geri kalanı atmosfer veya dünyanın yüzeyi tarafından emilir. Dünya genelinde sürekli gerçekleşen bu süreç gezegeni ısıtır. Bu ısı daha sonra görünmez kızılötesi radyasyon şeklinde geri yayılır. Bu kızılötesi ışığın bir kısmı uzaya doğru devam ederken, büyük çoğunluğu sera gazları olarak bilinen atmosferik gazlar tarafından emilir ve daha fazla ısınmaya neden olur.

Sera gazlarının özellikle karbondioksit (CO_2) gibi gazların yüksek konsantrasyonları, atmosferde fazla ısının birikmesine ve küresel sıcaklıkların artmasına yol açmaktadır. İnsanlığın varlığına göre çok daha uzun bir süreyi kapsayan son 800.000 yılda, atmosferdeki CO_2 seviyeleri genellikle milyonda 200 ile 280 arasında dalgalanıyordu. Başka bir deyişle, her milyon hava molekülünden 200 ile 280 molekülü CO_2 'ydi. Ancak, son yüzyılda bu konsantrasyon hızla yükselmiştir. 2013 yılı itibarıyla fosil yakıtların kullanımındaki artış ve ormansızlaşmanın etkisiyle, Dünya atmosferindeki CO_2 konsantrasyonu milyonda 400'ü geçmiştir; bu, gezegen tarihinde benzeri görülmemiş bir seviyedir. 2023 yılı itibarıyla ise bu rakam, sanayi öncesi seviyelere göre yaklaşık yüzde 50 artarak milyonda 420'ye ulaşmıştır [Web 4, 2023].

Sera gazları, Dünya atmosferinde ısıyı tutarak gezegenin ısınmasına yol açar. Sera etkisinde başlıca rol oynayan gazlar arasında karbondioksit, metan, nitroz oksit ve su buharı yer alır. Bunların yanı sıra, sentetik florlu gazlar da sera gazları arasında sayılabilir. Her sera gazı farklı kimyasal özelliklere sahiptir ve atmosferden farklı yollarla uzaklaştırılır. Örneğin, karbondioksit, ormanlar, okyanuslar ve toprak gibi doğal karbon depoları tarafından emilir. Florlu gazlar ise yalnızca atmosferin üst katmanlarında, güneş ışınlarının etkisiyle yok olur.

Bir sera gazının küresel ısınmaya etkisi, üç ana faktöre bağlıdır:

1. **Gazın atmosferdeki yoğunluğu:** Bu, gazın atmosferdeki miktarını belirtir ve genellikle milyonda bir parça (ppm), milyarda bir parça (ppb) veya trilyonda bir parça (ppt) olarak ifade edilir. Örneğin, 1 ppm, her bir milyon hava molekülünden birinin o gazın molekülü olduğunu gösterir.

2. **Gazın atmosferdeki kalma süresi (ömrü):** Bu, gazın atmosferde ne kadar süreyle var olmaya devam edeceğini belirler.
3. **Gazın ısı tutma kapasitesi:** Bu, gazın küresel ısınma potansiyeli (GWP) olarak adlandırılır. GWP, belirli bir zaman diliminde (genellikle 100 yıl) 1 ton karbondioksit emisyonunun karşılığı olarak gazın emdiği toplam enerjiyi gösterir. **Tablo 2.1'de**, sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri verilmiştir.

Tablo 2.1: “IPCC 6. Değerlendirme Raporu’na Göre Sera Gazlarının Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) Değerleri”[GHG Protokol,2024].

Sera Gazı	Kimyasal Formül	GWP (100 Yıl)	Açıklama
Karbondioksit	CO ₂	1	Referans gaz, diğer gazlar bununla karşılaştırılır.
Fosil Kaynaklı Metan	CH ₄ (Fosil)	29.8	Fosil yakıt üretimi ve taşınmasından kaynaklanan metan.
Fosil Olmayan Metan	CH ₄ (Biyolojik)	27.0	Tarım, çöp sahaları ve bataklıklardan kaynaklanan metan.
Dinitrojen Oksit	N ₂ O	273	Tarım ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanır.
Azot Triflorür	NF ₃	17,400	Elektronik ve yarı iletken üretiminde kullanılır.
Kükürt Heksaflorür	SF ₆	24,300	Elektrik ekipmanlarında kullanılan çok güçlü bir sera gazıdır.

Sera etkisi, Dünya'nın sıcaklığını koruyan önemli bir mekanizmadır. Atmosferdeki sera gazları, gezegenin ısısının bir kısmını tutarak uzaya kaçmasını engeller. Sera etkisi olmadan, Dünya'nın ortalama sıcaklığı çok daha düşük olurdu ve bu durum, yaşamın var olmasını imkansız hale getirebilirdi. Küresel ısınma ve sera gazlarının etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu etkileşimin gezegenimiz için ne denli kritik olduğunu ortaya koymaktadır **[GHG Protocol, 2015]**.

Karbondioksit ve diğer sera gazları, atmosferdeki ısının bir kısmını tutarak gezegenin sıcaklığını dengeler ve uzaya yayılmasını engeller. Bu, Dünya'nın atmosferinin ve yüzeyinin ısınmasına yol açarak küresel ısınma sürecinin temelini oluşturur. Ayrıca, bazı sera gazları güneş ışığını geçirebilirken, Dünya'dan yayılan enerjiyi tutma yeteneğine sahip olup, bu özellikleri atmosfer bilimlerinde önemli bir fenomen olarak kabul edilmektedir. Sera etkisi, Dünya'nın yaşam için uygun sıcaklık seviyesinde kalmasını sağlayarak gezegenin sürdürülebilirliğine katkı sağlar.

İnsan faaliyetleri ve iklim değişikliğiyle ilişkili sera gazı salınımı, genellikle 'sera gazı emisyonları' veya 'iklim kirliliği' olarak adlandırılmaktadır. Sanayi Devrimi'yle birlikte kömürle çalışan buhar makinelerinin kullanıma girmesi, atmosferdeki sera gazlarının yoğunluğunu artırmaya neden olmuştur. 1750 ile 2019 yılları arasında, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu %47, metan konsantrasyonu %156 ve nitroz oksit konsantrasyonu ise %23 oranında artmıştır. Ayrıca, 1920'lerin sonlarına doğru insan yapımı florlu gazlar gibi yeni sera gazları da atmosferi etkileyen unsurlar arasında yer almaya başlamıştır.

Son yıllarda, karbondioksit emisyonlarındaki artış hızlanmıştır. İnsan kaynaklı tüm karbondioksit emisyonlarının yaklaşık yarısı son 30 yıl içinde üretilmiştir. Küresel sera gazı emisyonları, zaman zaman duraksama veya düşüşler yaşasa da, örneğin COVID-19 pandemisi sırasında küresel seyahat ve üretimdeki azalma ile karbondioksit emisyonlarında yüzde 6'lık bir düşüş gözlemlense de, genel eğilim yeniden hızlanmaktadır. **[Lee vd., 2023]**.

Aşağıdaki **Şekil 2.1**'de 1990-2021 yılları arasında sektörlere göre sera gazı emisyon miktarları gösterilmiştir.

Sektörlere göre sera gazı emisyonları, 1990-2021

											(Milyon ton CO ₂ eşd.)	
	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	1990-2021 değişim (%)	2020-2021 değişim (%)
Toplam emisyon	219,5	298,9	398,8	475,0	501,1	528,6	523,1	508,7	524,0	564,4	157,1	7,7
Enerji	139,5	216,0	287,9	342,0	361,7	382,4	373,4	365,6	366,6	402,5	188,4	9,8
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	22,9	26,2	49,1	59,7	63,8	66,6	67,7	59,0	68,0	75,1	228,7	10,6
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	73,2	72,1	56,5	-1,5
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,3	14,7	32,6	-9,9

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Şekil 2.1: Sektörlere göre sera gazı emisyonları [Web 5,2023].

2.1. Sera Gazı Türleri

Sera etkisiyle küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlar şunlardır [Hämäläinen, 2022]:

- **Karbondioksit**

Küresel insan kaynaklı emisyonların neredeyse yüzde 80'ini oluşturan karbondioksit oldukça uzun bir süre atmosferde kalır. Atmosfere salındıktan sonra, yüzde 40'ı 100 yıl sonra, yüzde 20'si 1.000 yıl sonra ve yüzde 10'u 10.000 yıl sonra bile atmosferde kalır. (Karbondioksitin ömrü tek bir değerle temsil edilemez çünkü gaz zamanla yok olmaz, bunun yerine okyanusun, atmosferin ve karaların farklı kısımları arasında hareket eder. Bir miktar karbondioksit hızla emilir, ancak bir kısmı binlerce yıl boyunca atmosferde kalır.)

- **Metan**

Metan (CH₄) atmosferde yaklaşık 12 yıl kalır, bu karbondioksitten daha kısa bir süredir, ancak sera etkisi açısından çok daha güçlüdür. Aslında, pound başına, küresel ısınma etkisi 100 yıllık bir süre boyunca karbondioksitinkinden neredeyse 30 kat daha fazladır. ABD Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre, ABD'de metan, 2021'de insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının yüzde 12'sinden fazlasını oluşturdu. Metan, sulak alanlar gibi doğal kaynaklardan gelebilse de tüm küresel metan emisyonlarının

yarısından fazlası doğal gaz üretimi ve hayvancılığa dayalı tarım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

- **Nitroz oksit**

Nitröz oksit (N_2O) güçlü bir sera gazıdır: EPA'ya göre, 100 yıllık bir zaman ölçeğinde karbondioksitin yaklaşık 270 katı olan bir GWP'ye sahiptir ve atmosferde ortalama olarak bir asırdan biraz daha uzun süre kalır. EPA, tarımda kullanılan gübreler gibi kaynaklardan, ABD'deki insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %6'sını oluşturduğunu tahmin ediyor.

- **Florlu gazlar**

Çeşitli üretim ve endüstriyel süreçlerden yayılan florlu gazlar insan yapımıdır. Dört ana kategori vardır: hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), kükürt hekzaflorür (SF_6) ve nitrojen triflorür (NF_3).

Florlu gazlar diğer sera gazlarından daha az miktarda salınsa da (EPA'ya göre ABD emisyonlarının %3'ünü oluştururlar), önemli ölçüde daha fazla ısıyı hapsederler. Gerçekten de bu gazların GWP'si binlerce ila on binlerce arasında olabilir ve bazı durumlarda on binlerce yıl süren uzun atmosferik ömürleri vardır.

- **Hidroflorokarbon (HFC'ler)**

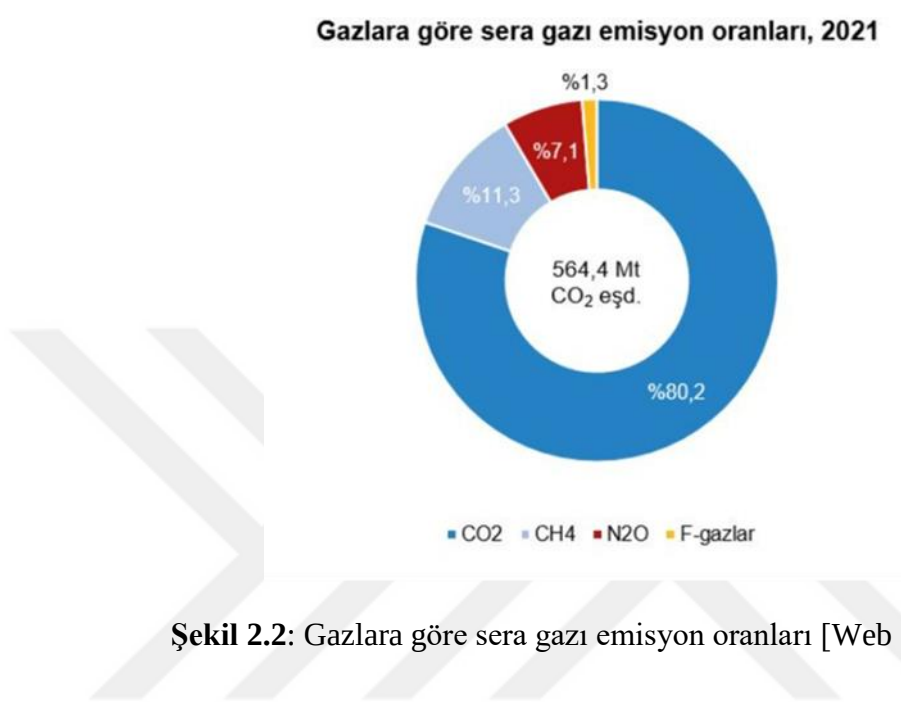
HFC'ler, genellikle klimalarda ve buzdolaplarında ozon tüketen kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFC'ler) yerine kullanılır, ancak bazıları

Yüksek GWP'leri nedeniyle aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmaktadır. Bu HFC'leri değiştirmek ve bunları uygun şekilde bertaraf etmek, dünyanın alabileceği en önemli iklim eylemlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

- **Su buharı**

Genel olarak en bol bulunan sera gazı olan su buharı, atmosferik konsantrasyonlarındaki değişikliklerin doğrudan insan faaliyetleriyle değil, yaydığımız diğer sera gazlarından kaynaklanan ısınmayla bağlantılı olması bakımından diğer sera gazlarından farklıdır. Daha sıcak hava daha fazla su tutar. Ve su buharı bir sera gazı olduğundan, daha fazla su daha fazla ısı emer, daha da fazla ısınmaya neden olur ve pozitif bir geri bildirim döngüsünü sürdürür.

Su buharı, atmosferde geçici olarak bulunur ve sürekli olarak yoğunlaşarak suya dönüşür veya buharlaşır. Diğer sera gazları ise, atmosferde daha uzun süre kalabilir ve birikerek uzun vadeli iklim etkileri yaratabilir. Aşağıdaki **Şekil 2.2**'de sera gazlarının emisyon oranı gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Gazlara göre sera gazı emisyon oranları [Web 5,2023].

2.2. Sera Gazı Oluşma Nedenleri

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, elektrik ve ulaşım için fosil yakıtların yakılması, arazi kullanım şekilleri, tarım ve endüstriyel süreçler, insan kaynaklı veya antropojenik sera gazı emisyonlarının neredeyse tamamını oluşturuyor [Kokko, 2016].

- **Elektrik ve Isı Üretimi**

IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'na göre, kömür, petrol ve gazın elektrik ve ısı üretiminde yakılması, dünya genelindeki insan kaynaklı emisyonların dörtte birini oluşturarak bu alandaki en büyük tek kaynak haline gelmiştir. ABD'de, EPA verilerine göre, ulaşımın ardından ikinci en büyük kaynak olup, 2021'de ABD emisyonlarının yaklaşık %28'inden sorumludur ve birincil gaz olarak karbondioksit, az miktarda metan ve nitroz oksit salınır.

- **Arazi ve Tarım Kullanımı**

IPCC'ye göre, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte biri, tarım ve ormansızlaşma gibi arazi kullanım faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. ABD'de ise, 2021 yılında tarım sektörü, özellikle hayvancılık ve gıda üretimi için yapılan tarımsal faaliyetler, toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %10'unu oluşturmuştur. Bu emisyonların büyük bir kısmı, gübrelerin ayrışması ve sığır ile süt ineklerinin geğirme ve gaz salınımı gibi süreçlerden kaynaklanan metan gazı ile, azotlu gübrelerin kullanımından salınan azot oksit gazlarından oluşmaktadır.

Ağaçlar, bitkiler ve toprak, atmosferdeki karbondioksiti emme kapasitesine sahiptir. Bitkiler ve ağaçlar, fotosentez süreciyle havadaki karbondioksiti, büyümeleri için ihtiyaç duydukları şekerlere dönüştürürken, toprak ise karbonu bağlayan mikroorganizmalara ev sahipliği yapar. Bu bağlamda, ormansızlaşma, yeniden ormanlaştırma (mevcut ormanlara yeniden ağaç dikilmesi) ve ormanlaştırma (yeni orman alanlarının oluşturulması) gibi tarım dışı arazi kullanım değişiklikleri, atmosferdeki karbondioksit seviyelerini etkileyebilir. Ormansızlaşma, atmosfere daha fazla karbondioksit salınımına yol açarken, ormanlaştırma ve yeniden ormanlandırma gibi uygulamalar, atmosferdeki karbon emilimini artırarak karbondioksit seviyelerinin düşmesine neden olabilir. Ağaçlar ve bitkiler kesildiğinde, karbondioksit emilim kapasitesi kaybolur ve biyokütle, yakıldığında veya ayrıştığında atmosfere geri salınan karbondioksiti artırır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde arazi kullanım faaliyetleri, şu anda net bir karbon emici rolü üstlenerek atmosfere salınan karbondioksitten daha fazla karbondioksit emmektedir.

- **Endüstri**

IPCC verilerine göre, küresel insan kaynaklı emisyonların yaklaşık %20'si, çimento ve çelik üretimi gibi malzeme imalatı, gıda işleme ve inşaat sektörlerinde gerçekleşen endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. 2021'de endüstri, ABD'deki insan kaynaklı emisyonların %23'ünü oluşturuyordu ve bunların çoğunluğu karbondioksitti, ancak metan, nitröz oksit ve florlu gazlar da salındı.

- **Taşımacılık**

IPCC'nin Beşinci Değerlendirme Raporu'na göre, dünya çapında taşımacılık sistemlerine enerji sağlamak için kullanılan petrol bazlı yakıtların (benzin ve dizel) yanması, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise taşımacılık sektörü, sera gazı emisyonlarına en fazla katkı sağlayan sektör olup, 2021 yılında ülke emisyonlarının %28'ini meydana getirmiştir. Bu emisyonlar çoğunlukla karbondioksit (CO₂) şeklinde olsa da, yakıt yanması sırasında küçük miktarlarda metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) da salınmaktadır. Ayrıca, araç klimaları ve soğutmalı taşımacılık sırasında florlu gazlar da atmosfere salınmaktadır.

Ülke genelindeki ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarının büyük bir kısmı, özellikle otomobiller ve kamyonlar tarafından üretilmektedir. Bu iki taşıma aracı, toplam emisyonların yarısından fazlasından sorumludur.

- **Binalar**

IPCC'ye göre, faaliyet gösteren binalar küresel sera gazlarının %6,4'ünü üretiyor. ABD'de evler ve işletmeler ısınma emisyonlarının yaklaşık %13'ünü oluşturuyor, diyor EPA. Çoğunlukla karbondioksit ve metandan oluşan bu emisyonlar, öncelikle ısıtma ve yemek pişirme için doğal gaz ve petrol yakılmasından kaynaklanıyor, ancak diğer kaynaklar arasında klima ve soğutma sistemlerinden sızan soğutucular (florlu gazlar) ve atık ve atık su yönetimi yer alıyor. (Bu doğrudan emisyonlar, yukarıda tartışılan dolaylı emisyonları, örneğin elektrikle bağlantılı olanları (soğutma, aydınlatma, çalışan cihazlar ve daha fazlası için güç) ve bina inşaatından kaynaklanan emisyonları içermiyor.)

- **Diğer kaynaklar**

Söz konusu kategori, fosil yakıtların çıkarılması, rafine edilmesi, işlenmesi ve taşınması gibi enerji üretimiyle ilgili faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları kapsamaktadır. IPCC'ye göre, bu sektör küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %9,6'sını oluşturmaktadır. **Şekil 2.3.**'de başlıca sera gazları ve oluşma nedenleri özetlenmiştir.



Şekil 2.3: Sera Gazları ve Oluşma Nedenleri [United Nations ,1992].

Sanayi Devrimi'nin 1800'lerin başında başlamasından itibaren, kömür, petrol ve benzin gibi fosil yakıtların yanması, atmosferdeki sera gazlarının, özellikle karbondioksit (CO₂) seviyelerinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'ne (NOAA) göre, bu süreç küresel sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağını oluşturmaktadır. Ayrıca, ormansızlaşma, atmosferdeki karbondioksit seviyesinin yükselmesine katkıda bulunan ikinci en büyük insan kaynaklı faktör olup, toplam emisyonların %6 ila %17'sinden sorumlu olduğu belirtilmektedir [Usva vd., 2023].

Fosil yakıtların üretimi ve kullanımı, tarımda kimyasal maddelerin uygulanması, çalı yakma, atık yakma işlemleri ve diğer endüstriyel faaliyetler gibi bazı insan faaliyetleri, atmosferdeki sera gazlarının (GHG) yoğunluğunu artırmakta, özellikle karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksitlerin (N₂O) seviyelerini yükselterek çevresel etkiler yaratmaktadır [Usva vd, 2023].

Atmosferdeki sera gazı (GHG) konsantrasyonundaki artış, iklim değişikliği ve küresel ısınma etkilerini tetiklemiş, bu durum Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması ve sera etkisinin olumsuz sonuçlarını sınırlamaya yönelik diğer uluslararası girişimlerin hayata geçirilmesini teşvik etmiştir. Bir sera gazının küresel ısınmaya etkisi, genellikle küresel ısınma potansiyeli (GWP) ile ölçülür. Bu değer, belirli bir gazın küresel ısınma

üzerindeki etkisini referans gaz olan karbondioksit (CO₂) ile karşılaştırarak ifade eder [Usva vd., 2023].

Sanayi Devrimi'nin başlangıcından bu yana atmosferdeki karbondioksit (CO₂) yoğunluğu %40'tan fazla artış göstermiştir. 1800'lü yıllarda yaklaşık 280 ppm (milyonda bir parça) olan CO₂ seviyesi, günümüzde 400 ppm'yi aşmıştır. Kaliforniya Üniversitesi, San Diego'ya bağlı Scripps Oşinografi Enstitüsü'ne göre, Dünya atmosferindeki CO₂ konsantrasyonunun bu seviyeye en son ulaştığı dönem, yaklaşık 5 ila 3 milyon yıl önce gerçekleşen Pliyosen Dönemi'dir.

Bilim insanları arasında geniş çapta kabul gören bir görüşe göre, sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, küresel ısınmayı tetiklemekte ve sera etkisinin önemli çevresel ve iklimsel sonuçlar doğurmasına neden olmaktadır [Usva vd., 2023].

NASA, Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve diğer bilimsel ve hükümet kuruluşlarına göre, küresel ısınma engellenmeden devam ederse, kayda değer iklim değişikliğine, deniz seviyelerinde artışa, artan okyanus asitlenmesine, yaşamı tehdit eden hava olaylarına ve diğer ciddi, doğal ve toplumsal etkilere neden olacaktır. Buzulların giderek hızla erimesi, özellikle kıyı bölgelerini sular altında bırakabilir ve toprak kaymalarını artırabilir. Kutuplardaki buz kütlelerinin kaybı, okyanus seviyelerinin yükselmesine neden olurken, kuraklık ve çölleşme birçok bölgede hayatı zorlaştırabilir. Aynı zamanda, kasırgalar ve seller gibi aşırı hava olayları daha sık ve şiddetli hale gelebilir. Mevsimlerin dengesi bozulurken kışlar sıcak geçebilir, ilkbahar erken gelir ve sonbahar gecikebilir. Hayvanların göç takvimleri karışarak birçok türün hayatta kalmasını zorlaştırabilir. Sıcaklıkların artışı, su kaynaklarının azalmasına ve büyük çaplı orman yangınlarının çoğalmasına yol açabilir. Bu etkiler hem doğal ekosistemler hem de insan yaşamı üzerinde geri dönüşmesi zor sonuçlar doğuracaktır.

2.3. Küresel İklim Anlaşmaları

İklim değişikliği, yalnızca bir ülkeyi ya da bölgeyi değil, tüm dünyayı etkileyen küresel bir sorundur. Atmosferde biriken sera gazları, sınır tanımadan tüm gezegeni tehdit ederken, bireysel veya ulusal çabalar yetersiz kalmaktadır. Gezegenimizin karşı karşıya olduğu bu krizle başa çıkmak için tüm ülkeler birlikte hareket etmelidir. Ülkelerin birlikte atacağı adımlar, sadece çevresel etkileri değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal zorlukları da hafifletme potansiyeline sahiptir.

Ülkeleri ortak hedefler doğrultusunda bir araya getiren en etkili mekanizmalardan biri küresel iklim anlaşmalarıdır. Bu anlaşmalar sayesinde sera gazı emisyonları azaltılırken, aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğine uyum sağlamasına yardımcı olması da amaçlanmaktadır. Ülkeler arasındaki sorumluluk paylaşımını dengelemek, bu anlaşmaların temel taşlarından biridir. Ayrıca, bu tür uluslararası taahhütlerin, hükümetleri daha sürdürülebilir politikalar geliştirmeye teşvik ederek, çevresel zararların önlenmesi adına güçlü bir zemin oluşturması beklenmektedir. İklim krizinin karmaşıklığı göz önüne alındığında, bu anlaşmalar küresel dayanışmanın en somut örneklerindendir.

Uluslararası iklim müzakereleri, 1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde düzenlenen Dünya Zirvesi ile önemli bir ivme kazandı. Bu zirvede kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, iklim değişikliği konusunda küresel iş birliği sağlamak adına atılmış ilk büyük adımdı. 1997'de imzalanan Kyoto Protokolü, özellikle gelişmiş ülkeler için emisyon azaltımı hedefleri belirlemişti. Ancak, protokolün sınırlı kapsamı ve uygulanabilirliğindeki eksiklikler, daha kapsayıcı bir anlaşma ihtiyacını gündeme getirdi. Bu gereksinim, 2015 yılında Paris Anlaşması'nın kabul edilmesiyle karşılanmış oldu. Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin altında tutmayı hedeflerken, 1,5°C sınırını aşmamak için çaba göstermeyi vurgulamaktadır. Günümüzde bu anlaşmaların uygulanması, iklim kriziyle mücadelede kritik bir dayanak oluşturmaktadır.

2.3.1. Montreal Protokolü, 1987

1987 yılında kabul edilen Montreal Protokolü, çevresel sorunlarla mücadelede küresel iş birliğinin önemli bir adımıdır. Ancak, bu protokolün odak noktası doğrudan küresel ısınma değil, ozon tabakasının incilmesi olmuştur. Protokolün başlıca amacı, ozon tabakasını zayıflatan kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve benzeri zararlı kimyasalların üretim ve kullanımını kısıtlamaktır. Ozon tabakası, Dünya'yı ultraviyole ışınlarının zararlı etkilerinden koruyan bir bariyer görevi gördüğü için, bu protokol sağlık ve ekosistemler üzerinde önemli bir iyileştirici etki yaratmıştır. CFC'ler, ozon tabakasına zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda güçlü sera gazlarıdır. Bu nedenle, Montreal Protokolü'nün uygulanması, küresel ısınmayı engelleme konusunda da katkı sağlamıştır.

İklim değışikliğıyle mücadele etmek için tasarlanmamış olsa da Montreal Protokolü , konuyla ilgili gelecekteki diplomasi için bir model haline gelen tarihi bir çevre anlaşmasıydı. Dünyadaki her ülke sonunda, kloroflorokarbonlar (CFC'ler) gibi ozon tabakasına zarar veren maddeleri üretmeyi bırakmalarını gerektiren anlaşmayı onayladı. Protokol, bu ozon tabakasını incelten maddelerin neredeyse yüzde 99'unu ortadan kaldırmayı başardı. 2016'da taraflar, Kigali Değışikliği aracılığıyla iklim değışikliğine katkıda bulunan güçlü sera gazları olan hidroflorokarbonların (HFC'ler) üretimini de azaltmayı kabul ettiler .

2.3.2. BM İklim Değışikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), 1992

1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde düzenlenen Rio Dünya Zirvesi sırasında kabul edilmiştir. UNFCCC, iklim değışikliğini önlemek ve etkilerini azaltmak amacıyla ülkeler arasında iş birliğini teşvik ederken, gelişmiş ülkelere daha fazla sorumluluk yüklemeyi hedefler. Bu sözleşmenin ana hedefi, sera gazı salınımlarını kontrol altına almak, iklim değışikliğinin etkilerini azaltmak ve dünya çapında çevresel sürdürülebilirliği sağlamak olarak belirlenmiştir. UNFCCC, ülkeler arasında iklim değışikliğı konusunda bilgi paylaşımını teşvik eder ve teknolojik iş birliğini destekler. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelere iklim değışikliğı ile mücadele edebilmeleri için finansal ve teknik destek sağlamak amacıyla çeşitli fonlar oluşturur. ABD dâhil 197 ülke tarafından onaylanan bu çıkır açıcı anlaşma, iklim değışikliğini doğrudan ele alan ilk küresel düzenleme olma niteliğı taşımaktadır. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını dengelemeyi hedefleyen uluslararası müzakereler için Taraflar Konferansı (COP) adı verilen yıllık bir forum oluşturmuştur. Bu toplantılar, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi önemli çevresel düzenlemelerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

2.3.3. Kyoto Protokolü, 2005

1997 yılında kabul edilip 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, sera gazı emisyonlarını sınırlamaya yönelik yasal olarak bağlayıcı ilk uluslararası anlaşmadır. Protokol, gelişmiş ülkelerin emisyonlarını 1990 seviyelerine kıyasla ortalama %5 oranında azaltmalarını ve ilerlemelerini takip edebilmek için bir izleme mekanizması oluşturulmasını şart koştur. Ancak, yüksek emisyon oranlarına sahip Çin ve

Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler için herhangi bir bağlayıcı yükümlülük getirmemiştir. Amerika Birleşik Devletleri 1998'de protokolü imzalamış ancak onaylamamış, daha sonra ise anlaşmadan resmen çekilmiştir [Kaya, 2020].

2.3.4. Paris Anlaşması, 2015

Paris Anlaşması 21.Taraflar Konferansı (COP21) sırasında imzalanmıştır. Bugüne kadarki en önemli küresel iklim anlaşması olan Paris Anlaşması, tüm ülkelerin emisyon azaltma taahhütleri belirlemesini gerektirir. Hükümetler, küresel ortalama sıcaklığın sanayi öncesi seviyelerin 2°C (3,6°F) üzerine çıkmasını önleme ve bunu 1,5°C'nin (2,7°F) altında tutma çabalarını sürdürme hedefleriyle ulusal olarak belirlenen katkılar (NDC'ler) olarak bilinen hedefler belirler. Ayrıca yüzyılın ikinci yarısında, yayılan sera gazı miktarının atmosferden uzaklaştırılan miktara eşit olduğu küresel net sıfır emisyonu ulaşmayı hedefler. (Bu, iklim nötr veya karbon nötr olmak olarak da bilinir.) [Kaya , 2020].

2.3.5. Sürdürülebilirlik Kalkınma Hedefleri, 2016

25 Eylül 2015 tarihinde Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu'nda, BM üyesi 193 ülkenin temsilcileri tarafından oybirliğiyle kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), küresel ölçekte sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınmayı teşvik etmeyi hedefleyen kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır. 17 ana hedef ve 169 alt hedeften oluşan bu çerçeve, yoksulluğun ortadan kaldırılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, ekonomik büyümenin desteklenmesi ve toplumsal eşitliğin güçlendirilmesi gibi temel meselelere odaklanmaktadır. Küresel ölçekte barış, refah ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan bu program, 2030 yılına kadar tamamlanması planlanan somut politikalar ve uygulamalar içermektedir. SKA, uluslararası iş birliğini teşvik ederek devletler, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve bireyler arasında ortak sorumluluk bilinci oluşturmayı hedeflemektedir [Web 6,2023]. Sürdürülebilir kalkınma için belirlenmiş 17 ana hedef Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri [Web 6,2023].

2.3.6. Yeşil Mutabakat

Avrupa Birliği, Paris İklim Anlaşması'nın öngördüğü yeşil dönüşüm sürecini desteklemek amacıyla Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı (EGD) hayata geçirmiştir. 11 Aralık 2019'da Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula von der Leyen tarafından duyurulan bu girişim, AB'nin 2050 yılına kadar net sıfır sera gazı emisyonuna ulaşarak dünyanın ilk iklim nötr kıtası olmasını hedeflemektedir. Sürdürülebilir büyüme modeli temelinde şekillenen EGD, enerji, sanayi, ulaşım, tarım ve biyoçeşitlilik gibi çeşitli sektörlerde kapsamlı dönüşümler öngörerek çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik kalkınmayı entegre etmeyi amaçlamaktadır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, daha sürdürülebilir ve kaynakları daha verimli kullanan bir ekonomiye dönüşümü teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu süreç, enerji, ulaşım, tarım ve sanayi gibi hemen hemen tüm ekonomik sektörlerde kapsamlı önlemleri içermektedir. Avrupa Komisyonu, bu geçişin finansmanını desteklemek amacıyla Avrupa Yeşil Mutabakat Yatırım Planı çerçevesinde, Avrupa Birliği (AB) bütçesinden iklimle ilgili harcamaları artırmayı ve ekstra kamu ve özel finansman sağlayarak 2021-2030 yılları arasında 1 trilyon avro tutarında sürdürülebilir yatırımı harekete geçirmeyi hedeflemektedir. Bu plan, AB'nin iklim hedeflerine ulaşmasına önemli ölçüde katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

EGD doğrultusunda, enerji sistemlerinin karbon salınımından arındırılması, sürdürülebilir ulaşım altyapılarının kurulması, döngüsel ekonomi modelinin benimsenmesi, ticaret ve sanayi politikalarında yapılan iyileştirmeler, sürdürülebilir tarım ve gıda tedarik zincirlerinin güçlendirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik pek çok önemli strateji, politika değışikliği ve mevzuat yürürlüğe girmiştir. Bu adımlar, EGD'nin belirlediği çevresel hedeflere ulaşılmasını sağlamak ve kıtanın gelecekteki sürdürülebilir kalkınma yolunda önemli bir ilerleme kaydedilmesine olanak tanımaktadır.



3. KARBON AYAK İZİ DEĞERLENDİRMESİ

Karbon ayak izi değerlendirmesi, emisyon miktarlarını ve kaynaklarını belirleyerek bir şirketin çevresel sorumluluğunu geliştirmede önemli bir rol oynar. Değerlendirmenin sonuçları şeffaflık yaratır ve müşteriler için yeşil aklama riskini azaltır. Ayrıca, emisyonların azaltılabileceği alanları belirlemeyi mümkün kılarken şirketin kaynak verimliliğine de katkıda bulunur ve böylece önemli olan alanlara kaynak tahsisinin verimliliğini artırır. Kaynak verimliliği doğrudan finansal performansla bağlantılıdır. İyileştirilmiş enerji verimliliği uygulamaları ve atık azaltma, operasyonel maliyetleri önemli ölçüde düşürebilir.

ISO 14000 standart serisi ve Sera Gazı (GHG) Protokolü gibi çeşitli standartlar, sera gazlarının haritalanmasına ve raporlanmasına rehberlik eder. GHG Protokolü, organizasyonel düzeyde karbon ayak izinin hesaplanması için en yaygın kullanılan çerçevedir ve bu çalışma da GHG Protokolü hesaplama yöntemine dayanmaktadır. GHG Protokolü, Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi tarafından geliştirilmiştir. Hesaplamalar Kyoto Protokolü tarafından belirlenen sera gazlarını kapsar: Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PCF'ler), kükürt hekzaflorür (SF₆) ve azot triflorür (NF₃).

GHG Protokolü, sera gazı emisyonlarını üç ana kategoriye ayırarak hesaplama ve raporlama işlemini düzenler. **Kapsam 1**, organizasyonun doğrudan kontrolündeki faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları ifade eder. **Kapsam 2** ise, dışarıdan temin edilen enerjinin kullanımından kaynaklanan dolaylı emisyonları kapsar. **Kapsam 3** ise, organizasyonun doğrudan denetiminde olmayan ancak faaliyetleriyle ilişkili olan diğer dolaylı emisyonları içerir. Bu üç kategori, bir organizasyonun çevresel etkilerini daha geniş bir çerçevede anlamasına ve şeffaf bir şekilde raporlama yapmasına olanak tanır [GHG Protokolü, 2011].

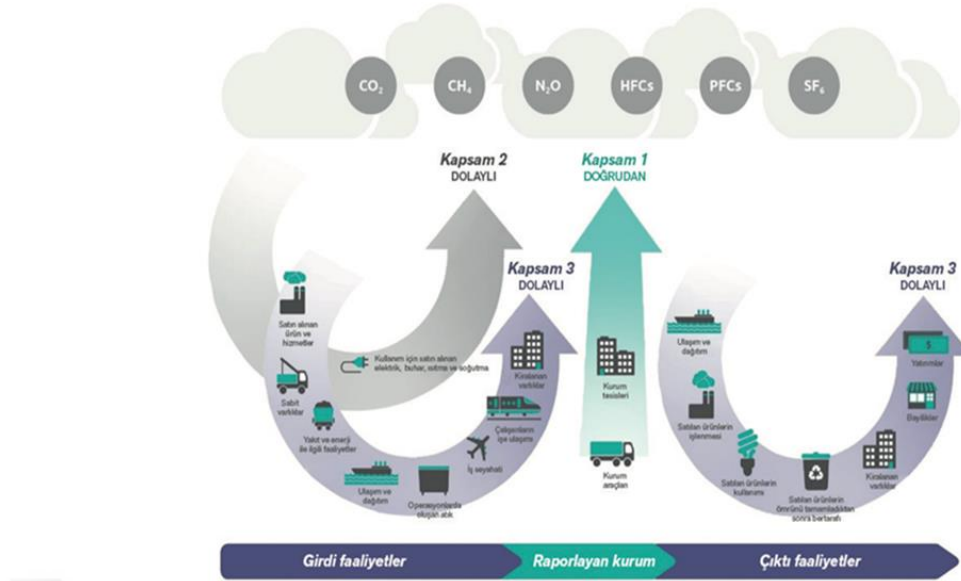
Sera gazı emisyonlarını hesaplamak için genel olarak şu formül kullanılmaktadır:

$$\text{Toplam Emisyon (CO}_2\text{e)} = (\text{Aktivite Verisi} * \text{Emisyon Faktörü}) \quad (3.1)$$

- **Toplam Emisyon (CO₂e):** Bu, hesaplanan sera gazı emisyonlarının toplamını ifade eder. Genellikle karbon dioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden raporlanır ve tüm sera gazı türlerinin tek bir ölçü biriminde değerlendirilmesini sağlar.
- **Aktivite Verisi:** Bu veri, emisyon kaynağından elde edilen ölçümlerle ilişkilidir. Enerji tüketimi (kWh), yakıt tüketimi (litre veya ton) veya taşımacılık mesafesi (kilometre) gibi parametrelerle ifade edilir.
- **Emisyon Faktörü:** Bu, belirli bir faaliyet türünden kaynaklanan sera gazı salınımını ölçen katsayıdır. Her bir faaliyet için farklı emisyon faktörleri kullanılır ve bu faktörler, IPCC veya DEFRA gibi kuruluşlar tarafından sağlanan kılavuzlar ve verilerle belirlenir.

3.1. Scopes (Kapsamlar)

Sera gazı emisyonları, GHG Protokolü'ne göre üç ana kategoriye ayrılmaktadır: Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3. Bu kategoriler, organizasyonların doğrudan ve dolaylı emisyonlarını sınıflandırmaya olanak tanır. Şekil 3.1, GHG Protokolü çerçevesinde, her bir Kapsamın kapsamını ve değer zincirindeki emisyonların dağılımını görsel olarak açıklamaktadır. Kapsam 1, organizasyonun doğrudan emisyonlarını içerirken; Kapsam 2, enerji kullanımı nedeniyle ortaya çıkan dolaylı emisyonları ele alır ve Kapsam 3, tedarik zinciri ile diğer faaliyetlerden kaynaklanan dolaylı emisyonları kapsar. **Şekil 3.1** 'de kapsamlar ve faaliyetler gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kapsam ve emisyonlara genel bakış [GHG Protokolü, 2011].

Kapsam 1, raporlama şirketinin sahip olduğu ve yönettiği kaynaklardan kaynaklanan tüm emisyonları kapsar. Örnek verilecek olursa, şirketin sahip olduğu araçlar veya tesislerinde kullanılan enerji ve endüstriyel süreçlerden çıkan emisyonlar bu kategoriye dahildir. **Kapsam 2**, satın alınan elektrik, buhar, ısıtma veya soğutmadan kaynaklanan dolaylı emisyonları kapsar. Kapsam 3 emisyonları, Kapsam 1 ve Kapsam 2'dekilerin ötesinde, raporlama şirketi tarafından yürütülen ancak doğrudan kontrol edilmeyen faaliyetlerden kaynaklanan ek dolaylı emisyonları ifade eder [GHG Protokolü, 2004]. **Kapsam 3**, satın alınan ürünler ve hizmetler, ürünlerin taşınması ve dağıtımını, operasyonlardan kaynaklanan atıklar, iş seyahatleri ve ürünlerin bertarafı vb. dahil olmak üzere emisyon değer zincirlerine derinlemesine iner.

Kapsam 3, dolaylı sera gazı emisyonlarının 15 farklı alt kategorisi (yukarı ve aşağı akış faaliyetleri) ile en geniş olanıdır. Yukarı akış emisyonları, üretim sürecinden önce veya sırasında oluşan dolaylı emisyonlar dahil olmak üzere mal ve hizmet tedarikiyle ilişkili emisyonları ifade eder. Ancak, aşağı akış emisyonları, ürün üretildikten ve üretim tesisinden ayrıldıktan sonra oluşan dolaylı emisyonları ifade eder [GHG Protokolü, 2011].

Kurumsal karbon ayak izinin hesaplanmasında **Kapsam 3**'ün dahil edilmesi, GHG Protokolü'ne göre **zorunlu değildir**, ancak **önerilen bir uygulamadır**. Kapsam 3'ün

raporlanması **isteğe bağlı** olup, organizasyonun hedefleri ve ihtiyaçları doğrultusunda karar verilir. Ancak, şirketler çevresel etkilerini daha tam bir şekilde değerlendirmek ve sürdürülebilirlik konusunda şeffaflık sağlamak istediklerinde, **Kapsam 3'ün de hesaba katılması önerilir**. Özellikle tedarik zinciri, ürün yaşam döngüsü gibi alanlarda geniş emisyon verisi sağlamak isteyen organizasyonlar, bu kapsamı dahil ederek daha kapsamlı bir raporlama yapabilir.

3.2. Değerlendirme Sınırları

GHG Protokolü, bir organizasyonun sera gazı emisyonlarını hesaplamak için belirli sınırların çizilmesi gerektiğini söyler. Bu sınırlar sayesinde kurumun hangi operasyonlarının ve faaliyetlerinin raporlama sürecine dahil edileceği belirlenmektedir. Organizasyonlar, emisyon hesaplamalarını doğru bir şekilde yapabilmek için organizasyonel sınırlar ve operasyonel sınırlardan faydalanır.

3.2.1. Organizasyonel Sınırlar

Bir organizasyonun hangi faaliyetlerinin sera gazı emisyonları hesaplamasına dahil edileceğini tanımlar. Şirketin sahiplik oranları ve operasyonel kontrol düzeyi temel alınarak sınırlar belirlenir. GHG Protokolü, organizasyonel sınırları iki ana yaklaşımla tanımlamaktadır:

- **Eşitlik Yaklaşımı (Equity Share Approach):** Bu yaklaşım, kurumların, ortaklıklarında sahip oldukları sermaye payına oranla emisyonlarını raporlamaları gerektiğini belirtmektedir. Bu yaklaşıma göre yalnızca sermaye paylarına düşen emisyonlar raporlama kapsamına alınır.
- **Kontrol Yaklaşımı (Control Approach):** Bu yöntem ile şirketler sadece doğrudan kontrol ettikleri faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları raporlamaktadır. Finansal kontrol, şirketin finansal olarak yönetiminde olan faaliyetleri kapsarken, operasyonel kontrol ise doğrudan yönetim ve denetim altında olan faaliyetleri ifade eder.

Eğer bir organizasyon, tüm operasyonları üzerinde tam kontrole sahipse, hangi yaklaşım seçilirse seçilsin, organizasyonel sınırlar benzer şekilde belirlenir. Ancak,

paylaşılan kontrol ve ortaklıklar söz konusu olduğunda, kullanılan yaklaşım organizasyonel sınırları etkileyebilir.

3.2.2. Operasyonel Sınırlar

Bir organizasyonun emisyon hesaplamalarında hangi faaliyetlerin ve operasyonların dahil edileceği operasyonel sınırlar ile tanımlanmaktadır. Şirketin çevresel etkilerini hangi düzeyde incelemek istediğine bağlı olarak bu sınırlar daraltılabilir veya genişletilebilir. GHG Protokolü, organizasyonların operasyonel sınırlarını belirlerken iki ana yaklaşımdan bahseder.

- **Tam Kontrol Yaklaşımı (Full Control Approach):** Yalnızca kurumun tamamen kontrol ettiği operasyonlardan kaynaklanan emisyonlar bu yaklaşımda raporlanır.
- **Kapsayıcı Yaklaşım (Inclusive Approach):** Bu yöntem ile şirketin doğrudan kontrolü altındaki tüm operasyonlar ve bu operasyonların dolaylı etkilerini de göz önünde bulundurarak emisyonların geniş bir çerçeveden değerlendirilmesi sağlanır.

Operasyonel sınırların belirlenmesi, kurumun çevresel hedefleri, sürdürülebilirlik stratejileri ve raporlama gereksinimlerine bağlı olarak esnek bir şekilde yapılabilir. Böylece, organizasyonlar daha ayrıntılı raporlama yaparak emisyonlarını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirebilir veya daha basit bir düzeyde raporlama yapabilir.

Her iki sınır türü de bir organizasyonun emisyonlarının doğru bir biçimde hesaplanması ve raporlanması için oldukça önemlidir. Organizasyonel sınırlar, hangi operasyonların sorumluluğa dahil edileceğini belirlerken, operasyonel sınırlar bu emisyonların nasıl ölçüleceği ve hangi düzeyde raporlanacağı konusunda yol gösterir. Bu sınırların doğru bir şekilde tanımlanması, şirketlerin çevresel etkilerini etkili bir biçimde değerlendirmelerine ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur [GHG Protokolü , 2011].

3.3. Küresel Isınma Potansiyeli ve Emisyon Faktörleri

Sera gazları (GHG'ler), ısı enerjisini hapsederek ve uzaya yayılma hızını azaltarak Dünya'nın ısınmasına katkıda bulunur. Her GHG'nin farklı radyatif verimliliği, enerjiyi emme kapasitesi ve parçacıkların atmosferde kalma süresi olan atmosferik

kalıcılığı vardır. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) kavramı, çeşitli gazların karşılaştırmalı iklim etkilerinin değerlendirilmesini kolaylaştırmak için formüle edilmiştir. Esasen, belirli bir zaman dilimi içinde belirli bir gazın 1 ton emisyonunun emdiği ısı enerjisi miktarını, 1 ton karbondioksit (CO₂) emisyonlarına göre niceliksel olarak ifade eder. Daha yüksek bir GWP, o süre boyunca bir gazın CO₂'ye kıyasla daha büyük bir ısınma etkisine sahip olduğunu gösterir. Genellikle, GWP'ler kirleticinin uzun vadeli etkisini gösteren 100 yıllık bir zaman dilimi boyunca değerlendirilir [EPA, 2024].

Emisyon faktörleri (EF'ler), karbon ayak izi değerlendirmesinin temelini oluşturur. EF, atmosfere salınan belirli bir kirleticinin miktarı ile salınımından sorumlu belirli eylem veya süreç arasında bir korelasyon kurmayı amaçlayan standartlaştırılmış bir ölçü görevi görür. Faktörler, değer zincirinin her aşamasından ve parçasından gelen çevresel etkiyi tahmin etmeyi kolaylaştırır ve bu nedenle karbon ayak izini hesaplamanın ayrılmaz parçalarıdır. EF'leri belirlemek için bir kirleticinin ağırlığı, kirleticiyi yayan aktivitenin birim ağırlığına, hacmine, mesafesine veya süresine bölünür [EPA, 2024]. Örneğin, emisyon faktörleri, kullanılan kilovatsaat doğal gaz başına yayılan karbondioksit eşdeğeri (CO_{2e}) kilogram sayısı olarak ifade edilir (kg CO_{2e}/kWh). Emisyon hesaplamalarında tüm önemli sera gazlarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için emisyonlar genellikle karbondioksit eşdeğerlerine dönüştürülür. Bu dönüştürme, karbondioksiti temel birim olarak kullanarak emisyonları standartlaştırır ve diğer tüm sera gazlarının etkilerini ilgili Küresel Isınma Potansiyelleri (GWP'ler) ile içerir [Web 7, 2023].

Emisyon faktörlerinin doğru seçilmesi, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında kritik bir rol oynar ve bu seçim, faaliyetlerin türüne, kullanılan enerji kaynaklarına, coğrafi farklara ve sektöre özgü gerekliliklere göre yapılmalıdır. Her bir faaliyet için belirlenen emisyon faktörleri, ilgili faaliyetlerin çevresel etkilerini yansıtan katsayılardır. İlk olarak faaliyet türü ve enerji kaynağı seçim sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, elektrik tüketimi, fosil yakıt kullanımı gibi farklı faaliyetlerin her biri için farklı emisyon faktörleri kullanılır. Ayrıca, her bölgenin enerji üretim karışımının farklı olması, elektrik emisyon faktörlerini etkileyebilir, bu yüzden coğrafi faktörler de dikkate alınmalıdır. Emisyon faktörleri genellikle, ulusal çevre ajansları, uluslararası kuruluşlar (IPCC, WRI gibi) ve sektörel standartlar gibi güvenilir kaynaklardan elde edilir. GHG Protokolü ve ISO 14064 gibi standartlar da

bu seçimde rehberlik edebilir. Bu faktörlerin doğru şekilde seçilmesi, emisyon hesaplamalarının doğruluğunu sağlayarak, çevresel etkilerin etkin bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılar.

3.4. ISO 14064 Standartları

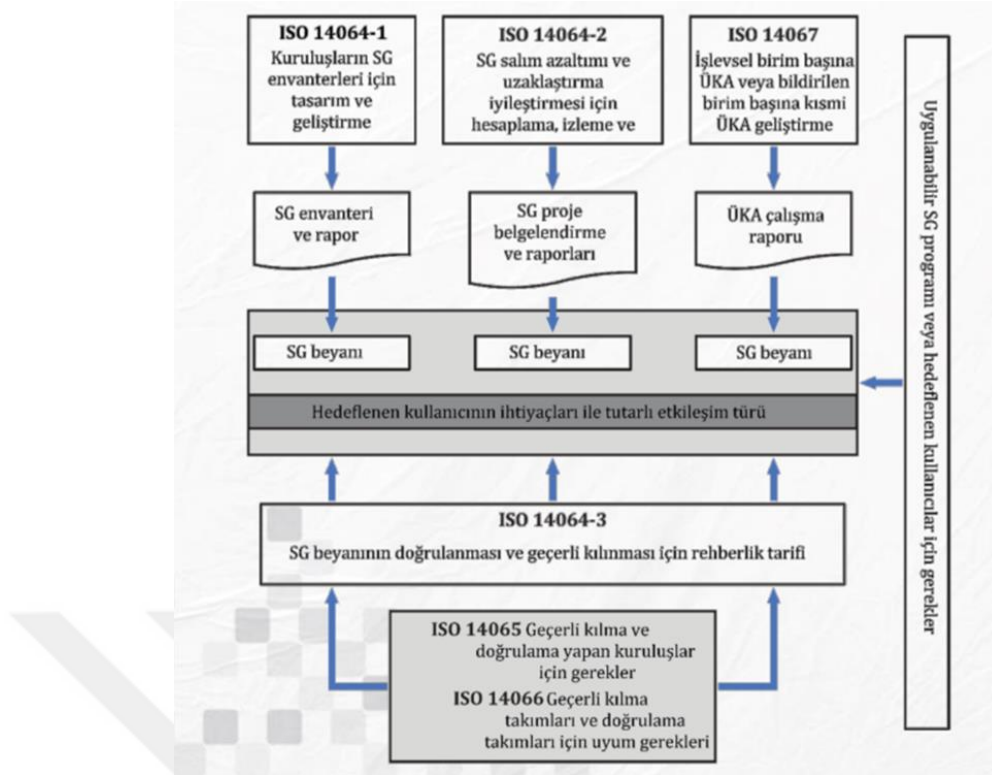
ISO 14064 Standardı, sera gazlarının yönetimini sistematik bir şekilde ele almak için geliştirilmiş bir çerçeve sunmaktadır. ISO 14064 serisi, üç ana bölümden oluşmakta olup, her biri belirli bir alanda uygulamalı rehberlik sağlamaktadır.

ISO 14064-1, ISO/T.C. 207 Çevre Yönetimi Teknik Komitesi tarafından hazırlanmış olup, sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının tespit edilmesi ve raporlanması konusunda kuruluşlar için temel bir rehberlik sunmaktadır. Bu bölüm, kuruluşların sera gazı emisyonlarını izlemeleri ve raporlamaları için gerekli prosedürleri belirler.

ISO 14064-2, sera gazı emisyonlarının azaltılması veya uzaklaştırılması amacıyla yapılan projelerin izlenmesi ve raporlanması sürecinde kullanılacak yöntemleri açıklar. Bu bölüm, özellikle proje bazında sera gazı iyileştirmelerinin değerlendirilmesi için gerekli ölçüm ve raporlama kriterlerini sunmaktadır.

ISO 14064-3 ise, sera gazı iddialarının doğrulanması ve denetlenmesi için rehberlik sağlamaktadır. Bu bölüm, sera gazı emisyonlarının doğruluğunu teyit etmek ve doğrulama sürecini yönetmek için gerekli yöntemleri sunar.

Bu üç bölüm, sera gazı yönetimi için etkin bir sistem oluşturmak amacıyla bir araya gelir ve ilgili kuruluşların sera gazı performanslarını izleyerek sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur. **Şekil 3.2** 'de ISO 14064'ün bölümleri arasındaki ilişki verilmiştir. [Türk Standartları Enstitüsü , 2019].



Şekil 3.2: ISO 14064'ün bölümleri arasındaki ilişki.

ISO 14064-1 standardı, kuruluş veya şirket düzeyinde sera gazı (GHG) envanterlerinin tasarlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması için gerekli ilkeleri ve gereksinimleri ayrıntılı bir şekilde sunmaktadır. Bu bölüm, GHG emisyon sınırlarının belirlenmesini, bir kuruluşun GHG emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının sayısal olarak hesaplanmasını ve GHG yönetimini iyileştirmeye yönelik belirli şirket eylemleri veya faaliyetlerinin tanımlanmasını içerir. Ayrıca, envanter kalite yönetimi, raporlama, iç denetim ve kuruluşun doğrulama faaliyetlerine ilişkin sorumlulukları belirten gereksinimler ve rehberlik sağlar. Bu sayede, organizasyonların sera gazı emisyonlarını etkin bir şekilde yönetmesi ve raporlaması sağlanır.

ISO 14064-2, sera gazı emisyonlarını azaltmaya veya sera gazı giderimini artırmaya yönelik özel olarak tasarlanmış projelere veya proje tabanlı faaliyetlere odaklanır. Bu bölüm, proje temel senaryolarının belirlenmesi, proje performansının temel senaryo ile karşılaştırılarak izlenmesi, ölçülmesi ve raporlanmasına yönelik ilkeler ve gereklilikler sunar. Ayrıca, sera gazı projelerinin doğrulanması ve doğrulama süreçleri için temel sağlayarak, bu projelerin etkinliğini ve doğruluğunu güvence altına almayı amaçlar. Bu sayede, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik projelerin izlenebilirliği ve şeffaflığı sağlanır.

ISO 14064-3, sera gazı envanterlerinin doğruluğunu ve sera gazı projelerinin geçerliliğini doğrulamak için gerekli olan ilkeleri ve gereklilikleri ayrıntılı olarak sunar. Bu standart, sera gazı doğrulama süreçlerinin planlanması, değerlendirilmesi ve uygulamaya konulması için rehberlik sağlar. Ayrıca, doğrulama ve geçerlilik değerlendirme süreçlerine dair prosedürleri, kurallar ve gereklilikleri belirtir. ISO 14064-3, sera gazı emisyonlarına dair iddiaların doğruluğunu güvence altına almak için bağımsız doğrulama kuruluşları veya ilgili kuruluşlar tarafından kullanılabilir.

ISO 14064, sera gazı envanterlerini ve projelerini niceliklendirme, izleme, raporlama ve doğrulama süreçlerinde netlik ve tutarlılık sağlamak amacıyla dünya genelindeki kuruluşlar, hükümetler, proje sahipleri ve diğer paydaşlar için önemli faydalar sunması beklenmektedir. Bu standart, özellikle şu alanlarda katkı sağlayabilir:

- Sera gazı ölçüm süreçlerinin çevresel doğruluğunu artırabilir,
- Sera gazı ölçümü, izleme ve raporlama süreçlerinin güvenilirliğini, tutarlılığını ve şeffaflığını geliştirerek, emisyon azaltımları ve giderim iyileştirmelerinin daha etkin izlenmesini sağlayabilir,
- Kuruluşların sera gazı yönetim stratejilerinin ve planlarının geliştirilmesi ile uygulanmasını daha verimli hale getirebilir,
- Sera gazı projelerinin tasarlanması ve uygulanmasında etkinliği artırabilir,
- Sera gazı emisyonlarının azaltılması veya giderim iyileştirmelerindeki ilerleme ve performans izlemeyi kolaylaştırabilir,
- Sera gazı emisyon azaltımlarının ve giderim iyileştirmelerinin kredilendirilmesi ve ticaretini daha verimli hale getirebilir.

ISO 14064 kullanıcıları, aşağıdaki uygulamalardan bazılarına fayda sağlayabilir:

a) Kurumsal risk yönetimi: Bu, organizasyonların sera gazı (GHG) emisyonlarıyla ilgili riskleri ve fırsatları belirlemeleri ve yönetmeleri sürecinde yardımcı olabilir. Ayrıca, GHG emisyonlarının etkilerini ve bu emisyonların azaltılması için alınacak önlemleri yönetmeyi kolaylaştırır.

b) Gönüllü girişimler: Gönüllü olarak katılım sağlanan GHG kayıt defterine dahil olma veya gönüllü raporlama programlarına katılma gibi uygulamalarda faydalı olabilir. Bu tür girişimler, kuruluşların çevresel sorumluluklarını yerine getirmelerini ve şeffaflıklarını artırmalarını sağlar.

c) GHG piyasaları: ISO 14064, sera gazı ödeneklerinin veya kredilerinin alım satımı yoluyla, karbon ticaret piyasasında etkin bir şekilde faaliyet gösterilmesine olanak tanır. Bu, kuruluşların karbon kredisi ticaretinden faydalanmalarını ve emisyon azaltımını ekonomik bir şekilde teşvik eder.

d) Düzenleyici/devlet raporlaması: Kuruluşlar, erken eylem ödülleri, müzakereci anlaşmalar veya ulusal raporlama programları gibi devletle ilgili raporlama süreçlerinde ISO 14064'ü kullanabilir. Bu, düzenleyici gerekliliklere uyum sağlama ve karbon kredisi kazanma fırsatlarını artırır.

3.4.1. ISO 14064-1 Kategorileri

ISO 14064-1 Standardına göre kurumsal karbon ayak izi hesaplanırken **uygunluk, bütünlük, tutarlılık, şeffaflık ve doğruluk ilkeleri taahhüt edilmelidir**. ISO 14064-1:2018 standardı, sera gazı emisyonlarını GHG Protokolünden farklı olarak **6 ana kategori** altında sınıflandırır:

Kategori 1: Doğrudan Sera Gazı salımları ve uzaklaştırmalar

Birinci kategori, kurumun doğrudan kontrol ettiği ve sahip olduğu kaynaklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını içermektedir. Organizasyonun kendi faaliyetleri sırasında doğrudan meydana gelen salımlar bu kategoride belirtilir. Organizasyonun sera gazlarını uzaklaştırmaya yönelik çalışmaları da burada değerlendirilir. Kuruma ait araçlar ve iklimlendirme gazları gibi emisyonlar da bu kategoriye dahildir.

Örnekler:

- **Fosil yakıt kullanımı:** Bir üretim tesisinin enerji sağlamak amacıyla kullandığı kömür veya doğal gazdan kaynaklanan emisyonlar.
- **Endüstriyel üretim:** Kimya veya çimento üretim süreçlerinden kaynaklanan doğrudan emisyonlar.
- **Araçlar:** Şirketin sahip olduğu kamyonlar, arabalar veya forkliftlerden kaynaklanan karbon salımları.
- **İklimlendirme gazları:** Ofislerdeki klima ve soğutma sistemlerinden çıkan florlu gazlar (HFC'ler vb.), bu emisyonlar güçlü sera gazlarıdır.
- **Karbon uzaklaştırma:** Orman alanlarının korunması gibi sera gazı yutakları faaliyetler ile sera gazlarının atmosferden uzaklaştırılması.

Kategori 2: İthal edilen enerjiden kaynaklanan dolaylı Sera Gazı salımları

İkinci kategori, organizasyonun doğrudan kullanmadığı ancak dışarıdan temin ettiği enerji kaynaklarından (elektrik, buhar, ısı vb.) kaynaklanan dolaylı emisyonları ifade eder. Enerji tedarikçilerinin üretim süreçlerinden kaynaklanan bu emisyonlar, organizasyonun doğrudan kontrolünde olmayıp, kurumun faaliyetleri ile ilişkilidir.

Örnekler:

- **Elektrik tüketimi:** Ofis binalarının veya fabrikaların dışarıdan sağlanan elektrik enerjisi ile çalıştırılmasından kaynaklanan dolaylı emisyonlar.
- **Isı ve buhar kullanımı:** Dışarıdan temin edilen ısı veya buharın kullanımından doğan emisyonlar.

Kategori 3: Ulaşımdan kaynaklanan dolaylı Sera Gazı salımları

Ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan dolaylı emisyonlar bu kategoride yer alır. Bu emisyonlar, organizasyonun dışarıdan sağlanan taşıma hizmetlerinden veya çalışanlarının seyahatlerinden kaynaklanmaktadır.

Örnekler:

- **Taşıma:** Tedarikçilerden veya müşterilerden gelen ve giden malzeme taşımacılığı yapan araçlardan kaynaklanan emisyonlar.
- **Çalışan seyahatleri:** Çalışanların iş amaçlı uçak, tren veya araba ile gerçekleştirdiği seyahatler sırasında ortaya çıkan emisyonlar.

Kategori 4: Kuruluş tarafından kullanılan ürünlerden kaynaklanan dolaylı Sera Gazı salımları

Kuruluş tarafından kullanılan ürünlerin üretimi, taşınması ve işlenmesi sırasında, kuruluş sınırlarının dışında meydana gelen dolaylı sera gazı (SG) salımları dördüncü kategoriye dahildir. Bu salımlar, organizasyonun doğrudan kontrolü altında olmayan, fakat kullandığı malzemelerin yaşam döngüsü boyunca oluşan emisyonları içermektedir.

Bu kategoriye ait olan SG salımları, çoğunlukla “beşikten tedarikçiye kapısına” yaklaşımı çerçevesinde aşağıdaki aşamalardan kaynaklanır:

- **Hammaddelerin Çıkarılması ve Tarımsal Faaliyetler:**

Örnek: Metal üretimi için maden çıkarılması, tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi sırasında oluşan emisyonlar.

- **Tedarikçiler Arasında Hammadde/Ürün Nakliyesi:**

Örnek: Hammaddelerin kuruluşa taşınması için kullanılan lojistik süreçlerden kaynaklanan salımlar.

- **Hammaddelerin Üretimi ve İşlenmesi:**

Örnek: Kimyasal veya endüstriyel süreçlerde hammaddelerin işlenmesi sırasında oluşan salımlar.

Kuruluş tarafından satın alınan ulaşım ve hizmetlerden kaynaklanan dolaylı sera gazı salımları gibi diğer kategorilerle çift sayım yapılmamasına dikkat edilmelidir. Bu kategori yalnızca ürünlerin organizasyon tarafından kullanımı öncesindeki aşamalarda oluşan emisyonları kapsamaktadır.

Kategori 5: Kuruluşa ait ürünlerin kullanımıyla bağlantılı dolaylı Sera Gazı salımları

Organizasyonun ürettiği ve satışını gerçekleştirdiği ürünlerin kullanım aşamasında oluşan dolaylı emisyonları bu kategoriye dahildir. Ürünlerin yaşam döngüsü boyunca karşılaşılabilecek durumların dikkatlice analiz edilmesi ve değerlendirme sürecinde şeffaf bir şekilde sunulması önerilmektedir.

Kategori 6: Diğer kaynaklardan dolaylı Sera Gazı salımları

Bu sınıf, diğer sınıflar kapsamında raporlanamayan, yalnızca ilgili kuruluşa özgü olan sera gazı salımlarını veya uzaklaştırmalarını kapsamak amacıyla oluşturulmuştur. Bu nedenle, bu sınıfa dahil edilecek içeriklerin tanımlanması tamamen kuruluşun inisiyatifine ve sorumluluğuna bırakılmıştır.

Bu altı kategori, kurumların sera gazı emisyonlarını daha ayrıntılı bir şekilde takip etmelerini ve raporlamalarını sağlayarak, sera gazı yönetiminde daha etkili bir yaklaşım sunar [Türk Standartları Enstitüsü,2019].

3.5. IPCC Metodolojisi

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), sera gazı (SG) emisyonlarının ve karbon uzaklaştırma süreçlerinin hesaplanması için kullanılan standart bir çerçeve sunar. Ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ulusal sera gazı envanterlerini oluşturmalarına bu metodoloji rehberlik eder ve küresel ölçekte veri karşılaştırılabilirliğini mümkün kılar.

1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ortaklığında IPCC kurulmuştur. İlk metodolojik rehberini 1996 yılında yayımlayan IPCC, bu süreçte bilimsel ve sektörel gelişmeleri dikkate alarak metodolojiyi sürekli güncellemiş ve iyileştirmiştir. IPCC'nin son kapsamlı güncellemesi, 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories adlı dokümanla gerçekleştirilmiştir. 2006 rehberine ek olarak daha gelişmiş veri analitiği, yeni hesaplama teknikleri ve ayrıntılı sektörel bilgileri bu güncellemede bulunmaktadır.

IPCC Kılavuzu, ulusal sera gazı envanterlerinin hazırlanmasına rehberlik eden bir dizi dokümandan oluşur. Bu dokümanlar, verilerin hangi yöntemlerle toplanacağını, bu verilerle nasıl bir analiz yapılacağını ve sonuçların hangi formatta raporlanması gerektiğini detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Raporlama sürecinde kullanılacak tabloları, hesaplama yöntemlerini gösteren çalışma kitaplarını ve metodolojilerin uygulanmasını kolaylaştıran rehberleri de içerir.

Bu kılavuz, ülkelerin kendi altyapılarıyla erişemediği verilere alternatif olarak kullanılabilecek ortalama değerleri de sağlamaktadır. Enerji, sanayi süreçleri, solvent ve diğer ürün kullanımları, tarım, arazi kullanımı ve ormanlar, atık yönetimi, genel rehberlik ve raporlama prosedürleri sera gazı envanter hesaplamaları IPCC tarafından ele alınan ana başlıklardır.

IPCC metodolojisi, emisyon hesaplamaları için **Tier 1, Tier 2 ve Tier 3** olmak üzere üç farklı seviye tanımlamaktadır. Hesaplama detayları ve veri hassasiyeti açısından bu seviyeler birbirinden farklıdır [IPCC,2006].

- **Tier 1**

Tier 1 yöntemi, IPCC'nin sunduğu genel emisyon faktörleri ve standart parametreler kullanılarak yapılan en temel düzeyde bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem, basit bir

yapıya sahiptir ve sınırlı veri mevcut olduğunda tercih edilir. Gereken verilen şunlardır: Enerji tüketim miktarı ve IPCC kılavuzunda verilen standart emisyon faktörleri [IPCC,2006].

Ulusal ya da bölgesel verilere ihtiyaç duyulmaz, veri eksikliğinin olduğu durumlarda kullanılabilecek bir yöntemdir.

- **Tier 2**

Tier 2 yöntemi, Tier 1 ile benzer bir yaklaşımı izler, ancak emisyon faktörleri ülkelerin enerji sistemleri ve yerel koşullarına göre özelleştirilmiştir. Bu yöntem, daha yüksek doğruluk sağlar ve ülkeler arasında enerji tüketimindeki farklılıkları dikkate alır. Gerekli veriler ise şunlardır: Enerji tüketim miktarları, her enerji türü için ülkeye özgü emisyon faktörleri.

Ülkeler arası değişkenliklere uyum sağlanarak emisyon hesaplaması yapılır, daha hassas sonuçlar sunar ve yerel veri gereksinimi daha yüksektir.

- **Tier 3**

Tier 3 yöntemi, en detaylı ve kapsamlı hesaplama yöntemidir. Bu yöntem, emisyon hesaplamaları için ileri düzey modelleme, sahadan doğrudan ölçüm ve kuruma özel veriler kullanır. Karmaşıklığı ve veri ihtiyacı diğer yöntemlere göre daha fazladır. Gerekli veriler ise şunlardır: kullanılan yakıtın türü ve yakma teknolojisi, çalışma koşulları, cihazların bakım düzeyleri, kontrol teknolojisi ve yakıt tüketen ekipmanların yaşı (**IPCC,2006**)

Daha fazla veri ve detay içermesi nedeniyle hesaplamalar daha karmaşıktır.

Bu yöntemler, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında esneklik sağlar ve veri erişimi ile ihtiyaçlara bağlı olarak kullanılabilir.

3.6. DEFRA

İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (DEFRA), çevrenin korunması, sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi ve doğal kaynakların yönetiminin sağlanması amacıyla çalışmalar yürüten bir kurumdur. DEFRA, özellikle küresel ısınma ve sera gazı salımlarıyla mücadeleye odaklanmakta ve bu alanda sürdürülebilirlik odaklı projeler geliştirmektedir. Bu amaç doğrultusunda, her yıl emisyon gazları, ulaşım

araçları, enerji tüketimi ve gıda tüketimi gibi birçok farklı alanda karbon emisyon katsayılarını düzenli olarak yayımlar. DEFRA'nın yayımladığı bu katsayılar, karbon ayak izinin hesaplanmasında önemli bir referans olarak kullanılır ve sürdürülebilirlik çalışmalarında rehberlik sağlar **[Yavuz, 2020]**.



4. EMÜLGATÖRLER VE GIDALARDAKİ ROLÜ

Bir kabın içerisine yağ ve su konulup kuvvetlice çalkalandığında, yağ içinde su damlacıkları ve su içinde yağ damlacıkları oluşur. Bu iki faz çalkalama işlemi sona erdiğinde ayrılmaya başlar. Küçük su damlaları kabın dibine çökerken, yağ damlacıkları yukarı doğru yükselir. Benzer damlalar birbiriyle temas ettikçe birleşerek emülsiyon hızla bozulur. Ancak sisteme bir emülgatör ekleyerek bu durumu tamamen değiştirmek mümkündür.

Emülgatörler, karışmayan iki fazın (örneğin su ve yağ) karışmasına yardımcı olan, arayüzey aktif kimyasallardır. Bu maddeler, yağ/su, su/yağ veya hava/su yüzeyleri arasında tutunarak karışımın homojen olmasını sağlar. Emülgatörlerin yapısında bir hidrofilik baş (su çekici) ve bir hidrofobik kuyruk (su itici) bulunur. Bu özellikleri sayesinde emülgatörler fazların birbirinden ayrılmasını önler ve karışımın stabilitesini artırır. Emülgatörler, genel olarak dört ana gruba ayrılır:

1. Anyonik
2. Katyonik
3. Amfoterik
4. Noniyonik

Kullanılacak emülgatörün seçimi, üretilecek gıdanın amacına ve yapısına göre değişiklik göstermektedir.

4.1. Emülgatörlerin Görevleri

Emülgatörler, sadece fazların karışmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gıda ürünlerinin stabilitesini korumak gibi önemli bir role sahiptir. Bu sayede ürün, günler boyunca aynı formunu ve kalitesini muhafaza edebilir.

1. **Stabilite Sağlama:** Emülgatörler, gıdanın homojen yapısını koruyarak raf ömrünü uzatır. Örneğin, kek ve pandispanya gibi ürünlerde pişirme sırasında hacim artışı sağlar, bu da ürünün yumuşak ve gözenekli bir yapıya sahip olmasına katkıda bulunur.

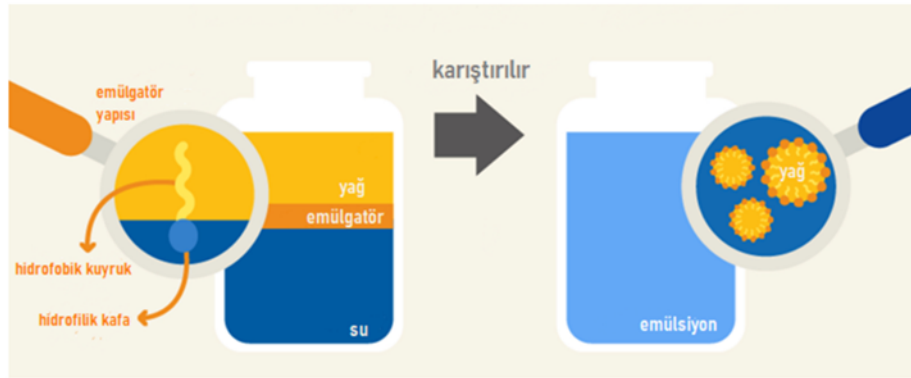
2. **Kırıntı Yumuşatma:** Ekmek gibi unlu mamullerde kırıntı yumuşatıcı olarak görev yapar ve bayatlama sürecini yavaşlatarak gıda israfını azaltır.
3. **Havalandırma Ajanı Olarak Kullanımı:** Tatlıcılık ürünlerinde, emülgatörler karışıma hava katarak hacim kazandırır.

Bu özellikler sayesinde emülgatörler, farklı gıda türlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Emülgatörler, zaman zaman katkı maddeleri ile karıştırılsa da bu iki kategorinin işlevleri birbirinden farklıdır. Katkı maddeleri genellikle gıdanın korunması amacıyla kullanılırken, emülgatörler gıdanın karışımı ve yapısı üzerinde etkilidir. Ayrıca emülgatörlerin, ürünlere stabilite ve hacim kazandırma gibi ek faydaları da bulunmaktadır.

Emülgatörlerin gıdalardaki rolünü daha iyi anlayabilmek için iki temel etkileşim üzerinde durulabilir:

1. **Nişasta/Emülgatör Etkileşimi:** Emülgatörler, nişastanın yapısını stabilize ederek bayatlama sürecini yavaşlatır ve ürün kalitesini artırır.
2. **Protein/Emülgatör Etkileşimi:** Bu etkileşim, özellikle süt ve süt ürünlerinde önemli olup, homojen bir yapı sağlanmasına yardımcı olur.

Bu etkileşimler, emülgatörlerin gıdalardaki işlevlerini ve önemini ortaya koyar. **Şekil 4.1**'de emülgatörlerin çalışma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Emülgatör Çalışma Mekanizması [Web 8 ,2022].

4.2. Nişasta ve Emülgatör Etkileşimi

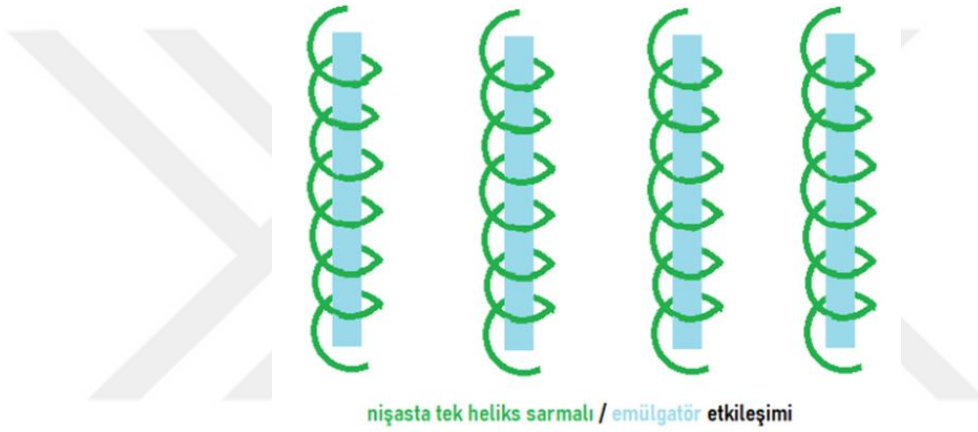
Ham nişasta granülleri (amiloz ve amilopektin) doğal halleriyle suda çözünmez bir özellik gösterir. Nişastanın karışımlarda kullanılabilir işlevsel özelliklerini ortaya çıkarmak için en sık tercih edilen yöntem pişirme işlemidir. Pişirme sırasında nişasta granülleri su alarak şişer ve jelatinizasyon süreci başlar. Bu süreçte moleküller, emülgatörler veya yağ gibi bileşenlerle etkileşime girerek lipid kompleksleri oluşturabilir. Özellikle amilozun heliks formu, eklenen bileşenleri çevreleyerek sarmal bir yapı oluşturur ve dış moleküllerle olası etkileşimleri sınırlar. Bu, oluşan komplekslerin stabilitesini artırır ve bozulma sürecini yavaşlatır. Bu tür kompleksler, gıdalarda tekstür, stabilite ve saklama koşulları üzerinde çeşitli etkiler gösterebilir.

Nişastanın yapısal dönüşümü, moleküler düzeyde yeniden düzenlenme sürecini başlatır. Retrogradasyon olarak bilinen bu olayda, nişasta molekülleri zamanla yeniden kristalleşerek daha kararlı bir yapıya dönme eğilimi gösterir. Ancak bu durum, gıdalarda sertleşme, bayatlama gibi istenmeyen sonuçlara yol açar. Retrogradasyon hızı; sıcaklık, nem, depolama koşulları ve gıdadaki bileşenlerin türü gibi faktörlerden etkilenir. Raf ömrünü uzatmak ve kaliteyi korumak için bu sürecin kontrol altında tutulması gereklidir.

Soslar, pudinger ve et suları gibi gıda ürünlerinde, nişastanın fazla suyu bağlama ve istenilen düzeyde viskozite sağlama yeteneği oldukça önemlidir. Bu tür uygulamalarda nişastanın kristal yapısının ısı etkisiyle bozulması ve suyla etkileşim sonucu şişerek kıvamlı bir yapı oluşturması, jelatinizasyon olarak adlandırılır. Ancak jelatinize nişasta, yapısal bağlarının zayıflaması nedeniyle kırılgan bir hale gelir ve mekanik karıştırma gibi işlemler sırasında granüller kolayca parçalanabilir. Bu durum, granül boyutu, nişasta türü (örneğin, amiloz oranı) ve işlem sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Nişasta stabilitesini artırmak ve parçalanmayı en aza indirmek için emülgatörlerin kullanımı önemli bir stratejidir. Emülgatörler, nişasta granülleri çevresinde koruyucu bir katman oluşturarak, jelatinizasyon sıcaklığının üzerindeki koşullarda dahi granüllerin yapısal bütünlüğünü korumaya yardımcı olur. Ayrıca, emülgatörler, nişastanın mekanik işlemler sırasında disintegrasyon hızını yavaşlatır ve ürünün genel stabilitesini artırır.

Nişasta ve emũlgatũr arasındaki etkileşim, emũlgatũrũn lipid zincirinin uzunluğu, yağ asidi zincirinin doymamışlık derecesi, polar baş grubunun yapısı gibi faktũrlere bağlı olarak değişir. Doymamış yağ asidi zincirleri, daha esnek yapılar oluşturarak emũlgatũrlerin nişastayı daha verimli bir şekilde bağlamasına olanak tanırken, doymuş yağ asidi zincirleri daha sert yapılar oluşturur ve bağlama kapasitesini etkileyebilir. Bu faktũrler, emũlgatũrlerin nişasta ile olan işlevsel performansını ve stabilitesini belirler. Ayrıca, nişastanın elde edildiği kaynak da bu etkileşimi önemli ölçũde etkiler. Örneğin, mısır, buğday veya patates gibi farklı nişasta kaynaklarının molekũler yapıları, emũlgatũrle nasıl etkileşime gireceklerini ve ortaya çıkan işlevsel özellikleri değiştirebilir.



şekil 4.2: Nişasta ve Emũlgatũr Etkileşimi.

4.3. Protein ve Emũlgatũr Etkileşimi

Emũlgatũrler ve proteinler arasındaki etkileşimler, gıda emũlsiyonları ve kũpũklerinin stabilitesinde kritik bir rol oynar. Bu etkileşimler genellikle elektrostatik çekim ve hidrofobik bağlanma mekanizmalarıyla sağlanır. İyonik emũlgatũrler, proteinlerle daha güçlü bağlar kurarak düşük konsantrasyonlarda bile protein stabilizasyonunu artırabilir. Emũlgatũrlerin lipid zinciri uzunluğu, yağ asidi zincirinin doymamışlık derecesi ve polar baş grubunun yapısı gibi faktũrler, bu etkileşimlerin doğasını etkiler. Doymamış yağ asidi zincirleri, daha esnek yapılar oluştururken, doymuş yağ asidi zincirleri daha sert yapılar meydana getirir ve bu da emũlgatũrlerin proteinleri bağlama kapasitesini belirler. Ayrıca, nişasta kaynaklarının yapısı da bu etkileşimleri etkileyebilir, çünkü farklı kaynaklardan elde edilen nişastaların molekũler yapıları,

emülgatörlerle etkileşimde farklılıklar yaratabilir. Bu mekanizmalar, gıda emülsiyonlarının ve köpüklerinin stabilitesini artırırken, ürünlerin uzun süre dayanmasına yardımcı olur.

Emülgatörler ve proteinler, özellikle hava/su ve yağ/su arayüzlerinde etkileşime girerek, gıda emülsiyonlarının ve köpüklerinin koalesans (damlacıkların birleşmesi) karşısındaki stabilitesini doğrudan etkiler. Bu etkileşimler, ürünlerin genel dokusunu, kıvamını ve raf ömrünü belirleyen önemli faktörlerdir. Özellikle emülsiyon damlacıklarının yüzeylerinde proteinlerin oluşturduğu güçlü yapılar, emülgatörlerin bu damlacıkları birbirinden uzak tutmasına ve emülsiyonun ayrılmasını engellemeye yardımcı olur. Bu, emülsiyonun kararlılığını ve viskozitesini artırır, dolayısıyla ürünün daha uzun süre dayanmasını sağlar. Yağ/su arayüzlerinde, hidrofobik (su itici) gruplar, yağ moleküllerinin birbirine yakın durmasına yardımcı olur, böylece emülsiyonun stabilitesini sağlar. Öte yandan, köpüklerin stabilitesinde, yüzey viskoelastik özellikler büyük rol oynar. Yüzey gerilmesi ve elastikiyet, köpüğün çökmesini veya birleşmesini engeller ve ürünün yoğunluğunu ve dokusunu korur. Bu etkileşimlerin doğru yönetilmesi, gıda ürünlerinin hem işlevsel hem de estetik açıdan tatmin edici özellikler sunmasını sağlar [Hasenhuettl ve Hartel, 2016].

Sera gazı emisyonu hesaplaması yapılan fabrikanın ürettiği emülgatörler ve kullanım alanları **Tablo 4.1**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Üretilen Emülgatörler ve Kullanım Alanları.

Ürünün Tam Adı	Ürün Adı	Ürün Kodu	Kullanım alanı
Yağ Asitlerinin Sodyum, Potasyum ve Kalsiyum Tuzları	PS	E470a	Kek emülgatörü (pasta, pandispanya), Krema, Soslar
Yağ Asitlerinin Mono ve Digliserid Esterleri	GMS	E471	Ekmek ve çeşitleri, Kek margarinleri, Düşük yağlı sürülebilir margarinler, Kahve beyazlatıcılar, Pasta üretimleri, Kremalar, Şanti bazları, Karameller, Fıstık ezmesi, Granür patates üretimi

Tablo 4.1: Devam.

Mono ve Digliseridlerin Asetik Asit Esterleri	ACETEM	E472a	Pasta-kek, Şanti baz-kremalar, Et ürünleri, Ekmek ve çeşitleri, Dondurma, Sakız
Mono ve Digliseridlerin Laktik Asit Esterleri	LACTEM	E472b	Kek toz miksleri, Şanti toz karışımları, Süt ve süt ürünleri, Krema, Dondurma, Ekmek ve çeşitleri, Margarin
Mono ve Digliseridlerin Sitrik Asit Esterleri	CITREM	E472c	Pişirme yağları (margarinler), Unlar, Antioksidanlarla birlikte, Salata sosları, Çikolata, Dondurma
Mono ve Digliseridlerin Tartarik Asit Esterleri	TATEM	E472d	Ekmek ve çeşitleri, Unlar, Pasta ve kekler
Mono ve Digliseridlerin Diasetil Tartarik Asit Esterleri	DATEM	E472e	Un çeşitleri, Ekmek ve çeşitleri, Bisküviler, Özel peynirler, Soslar, Evcil hayvan gıdaları, Sıvı içecekler
Yağ Asitlerinin Mono ve Digliseridlerinin Asetik ve Tartarik Asit Karışımlarının Esterleri	MATEM	E472f	Unlar, Ekmek çeşitleri
Yağ Asitlerinin Poligliserol Esterleri	PGE	E475	Pasta kek üretimi, Unlu mamuller, Margarinler, Süt ürünleri, Krema karışımları, Dondurma
Poligliserol Polirisinoleat	PGPR	E476	Çikolata, Sürülebilir yağlar, Kakao bazlı şekerlemeler, Soslar, Bazı soft dondurmalar, Yağ emulsiyonları, Unlu mamuller
Yağ Asitlerinin Propilen Glikol Esterleri	PGME	E477	Pasta-kek, Krema, Unlu mamuller, Sağlıklı gıdalar, Toppingler (şanti toz), Yenilebilir buzlar

Tablo 4.1: Devam.

Sodyum Stearoil Laktilat	SSL	E481	Ekmek ve çeşitleri, Unlu mamuller, Soslar, Sıcak toz içecekler, Kremalar, Sağlıklı gıdalar, Evcil hayvan mamaları, Yağ emulsiyonları
Kalsiyum Stearoil Laktilat	CSL	E482	Ekmek ve çeşitleri, Unlu mamuller, Soslar, Sıcak toz içecekler, Tahıl ve patates bazlı atıştırmalıklar, Kremalar, Sağlıklı gıdalar, Evcil hayvan mamaları, Yağ emulsiyonları
Sorbitan Monostearat	SMS	E491	Kuru maya, Unlu mamuller, Süsleme ve kaplama, Yağ emulsiyonları, Kremalar, Jöle marmelat, Çikolata, Gıda takviyeleri
Sorbitan Tristearat	STS	E492	Kuru maya, Unlu mamuller, Süsleme ve kaplama, Yağ emulsiyonları, Kremalar, Jöle marmelat, Çikolata, Gıda takviyeleri
Sorbitan Monolaurat	SML	E493	Jöle- marmelat-şekerlemeler, Dondurma, Sakız, Kuru maya, Soslar, Süt ve krema karışımları, Çikolata, Yağ emulsiyonları
Sorbitan Monooleat	SMO	E494	Jöle- marmelat-şekerlemeler, Dondurma, Sakız, Kuru maya, Soslar, Süt ve krema karışımları, Çikolata, Yağ emulsiyonları
Sorbitan Monopalmitat	SMP	E495	Jöle- marmelat-şekerlemeler, Dondurma, Sakız, Kuru maya, Soslar, Süt ve krema karışımları, Çikolata, Yağ emulsiyonları
Cake Gel	Kek jel	AS-8750	Kek emülgatörü (pasta, pandispanya)

5. MATERYAL VE METOD

Gıda emülgatörleri üreten kurumun karbon ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. KKAİ, şirketin faaliyetlerinden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarının (SGE) toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu hesaplamalar, kurumun çevresel etkilerini izleme ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yönünde atılan ilk adımlardan biridir. Şirketin emisyon kaynaklarını ve bunların azaltılması için alınacak önlemleri belirlemek amacıyla yapılan bu analiz, çevresel sorumluluklarını yerine getirme noktasında önemli bir veri sunmaktadır. Kapsam 1’de IPCC kılavuzunda yayınlanan emisyon faktörleri kullanılmış olup kapsam 2’de ülkeye özgü emisyon verileri kullanılmıştır. Kapsam 3’te ise GHG protokolündeki güncel emisyon faktörleri kullanılmıştır.

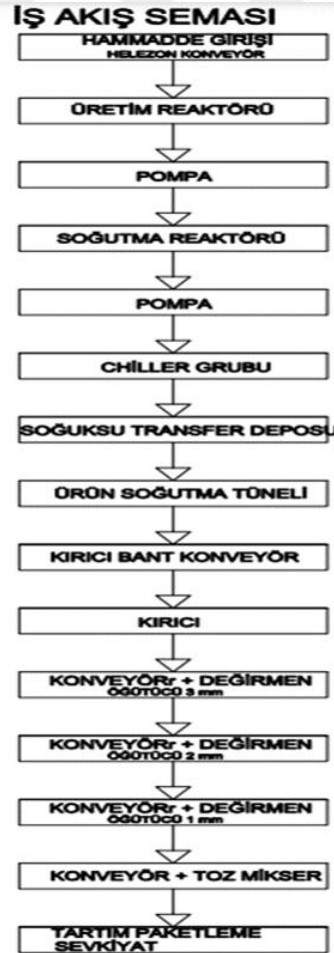
5.1. Şirket Tanımı

- Kurumsal karbon ayak izi hesaplaması yapılacak kuruma ait 2 adet fabrika bulunmaktadır. Merkez fabrika İstanbul’un Silivri ilçesinde olup 3000 m² alana sahiptir. Bu fabrikada üretim alanı, AR&GE laboratuvarı, Uygulama laboratuvarı, ofisler ve depolama alanı bulunmaktadır. Hesaplama 2024 yılının ilk 6 ayı için yapılmıştır. Merkez fabrikanın üretim alanı revize aşamasında olduğu için hesaplama döneminde sadece deneme üretimleri yapılmıştır. Kızgın yağ kazanları, endüstriyel reaktörlerin dolaylı yoldan ısıtılmasında kullanılan verimli bir sistemdir. Bu sistemde, termal yağ adı verilen bir ısı transfer sıvısı kazanda doğalgaz kullanılarak 250-350°C gibi yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılır. Isıtılan yağ, bir pompa yardımıyla borular aracılığıyla reaktöre veya ısıtılması gereken ekipmana taşınır. Reaktörde termal yağ, ceket veya ısı eşanjörü içerisinde dolaşarak ısınısını reaktör ortamına aktarır. ısınısını kaybeden yağ yeniden kazana döner ve tekrar ısıtılarak sürekli bir döngü sağlanır. Doğalgaz kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonu Kapsam 1’de hesaplanmaktadır. Doğalgaz sadece kızgın yağ kazanında kullanılmakta olup, kurum klimalarla ısıtılmaktadır.
- Üretimde 1 adet chiller grubu soğutucu bulunmaktadır. Üretimde kullanılan reaktörler elektrikli olup, kızgın yağ kazanından gelen ısıl işlem yağı ile

ısınmaktadır. Silivri’de bulunan fabrikaya ait 1 adet şirket servisi, 1 adet şirket aracı ve 1 adet kiralık forklift bulunmaktadır. Fabrikada 17 çalışan bulunmaktadır. Üretimde 9 adet 6 kg’lık yangın tüpleri, üretimde ise 6 adet 6 kg’lık yangın tüpleri ve 1 adet 50 kg’lık yangın tüpü mevcuttur.

- Kuruma ait şube İstanbul’un Başakşehir ilçesinde bulunmakta olup 500 m² depolama ve üretim alanına sahiptir. Şubede doğalgaz bulunmamaktadır. Üretim 4 adet elektrikle çalışan reaktörlerle yapılmaktadır. Fabrikada 7 çalışan bulunmaktadır. 7 adet 6 kg’lık yangın söndürme tüpü bulunmaktadır. 3 adet aspiratör mevcut olup klima bulunmamaktadır. 1 adet benzinli şirket aracı mevcuttur.

Kurum yılda yaklaşık 300 gün çift vardiya çalışmaktadır. Fabrika Türkiye’de üretilmeyen yaklaşık 20 çeşit gıda emülgatörleri üretiyor ve yurt dışına ihraç ediyor. Yılda yaklaşık 4 bin- 5 bin ton arası üretim yapılmaktadır. **Şekil 5.1.**’de fabrikanın iş akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Üretim İş Akış Şeması.

5.2. Hesaplama Yöntemi

Hesaplamalarda kullanılan yöntem ve yaklaşımlar şu şekildedir:

- Emisyonlar hesaplama temelli metodoloji kullanılarak tanımlanmıştır. Faaliyet verisi (FV) ve Emisyon faktörünün (EF) çarpımı ile hesaplamalar yapılmaktadır.

$$SG = FV \times EF \quad (5.1)$$

- Hesaplanan sera gazı emisyonları, Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) ile çarpılarak CO₂e cinsine dönüştürülmektedir.

$$SG = FV \times EF \times KIP \quad ton \ CO_2e \quad (5.2)$$

- Hesaplamalarda, IPCC'nin aşama (tier) tabanlı yöntemi benimsenmiştir. Bu yaklaşımda üç farklı aşama (tier-1, tier-2, tier-3) yer almaktadır. Tier seviyesine göre, kullanılan veriler daha genel bir düzeyden, daha spesifik süreçlere doğru kayar ve verinin karmaşıklığı artar. Bu çalışmada, elektrik için Türkiye elektrik şebekesi emisyon faktörlerine dayanan Tier-2 yöntemi, diğer kategoriler için ise uluslararası geçerliliği olan standartlar ve veri tabanlarına dayalı Tier-1 yöntemi tercih edilmiştir.
- Bu çalışmada, ISO 14064-1 standardında belirtilen tamlik, tutarlılık, doğruluk, uygunluk ve şeffaflık prensiplerine uygun olarak veri toplama ve hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.
- Yapılan hesaplamalar GHG Protokolünü temel alarak kategorize edilmiştir. Protokol, sera gazı emisyonlarını doğrudan (Scope 1), dolaylı enerji kaynaklarından (Scope 2) ve diğer dolaylı emisyonlardan (Scope 3) ayırarak şeffaf ve tutarlı bir raporlama sağlar. Bu metodoloji, uluslararası geçerliliği olan bir standart olup, çevresel düzenlemelere uyum sağlamada önemli bir rol oynar.
- Kurumun 2024 yılının ilk 6 ayı faaliyet verileri kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

- Hesaplama sistem sınırları operasyonel kontrol yaklaşımı kullanılarak belirlenmiştir.
- Doğalgaz, elektrik ve su faaliyet verileri faturalardan elde edilmiştir. Şirkete ait araçlarda kullanılan yakıt miktarı araç tanıma sistemlerindeki veri kayıtlarından alınmıştır. Atık su miktarları İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne yapılan beyanlardan elde edilmiştir.
- İklimlendirme gazlarındaki sızıntıların hesaplanmasında klimalar, dondurucular, su sebilleri ve chiller soğutma sisteminin üzerindeki etiketlerden kontrol edilip soğutucu gaz cinsi ve miktarları elde edilmiştir. Hesaplama yapabilmek için öncelikle iklimlendirme sistemlerinin üzerlerindeki etiket kontrol edilmiştir. Gaz kapasitesi ve gaz cinsi bilgileri cihazların etiketinden elde edilmiş olup sızıntı miktarı %1 olarak varsayılmıştır. Faaliyet verileri küresel ısınma potansiyelleri ile çarpılarak sera gazı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Antropojenik sistemlerden kaynaklanan sızıntı emisyonlarında emisyon faktörü kullanılmaz çünkü emisyon faktörleri genellikle yakıt tüketimi veya enerji üretimi gibi süreçlere dayalı dolaylı emisyonları hesaplamak için tasarlanmıştır. Ancak iklimlendirme sisteminde sızıntılar, doğrudan sistemdeki soğutucu gazın atmosfere kaçmasından kaynaklanır ve bu gazların küresel ısınma potansiyeli (GWP) gibi özellikleri doğrudan etkili olur. Bu nedenle, doğru bir hesaplama için kaçak miktarı GWP ile çarpılmıştır.
- Hesaplama yapılırken, ondalık kısmı belirtmek için nokta (.) ve binlik ayırıcı için virgül (,) kullanılmıştır.

Hesaplanan sera gazları kapsamaları, kategorileri ve faaliyet verileri **Tablo 5.1**'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1: Sera Gazı Emisyon Kapsamları ve Kategorileri.

Kapsam (Scope)	Kategori	Faaliyetler
Scope 1 (Doğrudan Emisyonlar)	Sabit Yanma Kaynakları	Kullanılan Doğalgaz
	Hareketli Yanma Kaynakları	Şirketin on-road ve off-road araçlarında kullanılan benzin ve motorin
	Antropojenik Sistemlerde Kaçak /Sızıntı Emisyonları	Soğutucular ,İklimlendirme ,Su Sebilleri,Chiller
Scope 2 (Dolaylı Enerji Emisyonları)	Elektrik Tüketimi	Şirketin faaliyetleri için kullanılan ithal edilen elektrik
Scope 3 (Diğer Dolaylı Emisyonlar)	İş Seyahatleri	Çalışanların iş seyahatlerinde uçak ,tren ,otobüs vb taşıma araçlarından kaynaklanan emisyonlar
	Kiralık Araçlar	Şirkete ait olmayan kiralık forklift
	Su Tüketimi	Kuruluştaki temizlik ve içme suyu kullanımı,soğutma sistemlerinde ve kimyasal süreçlerde kullanımı
	Atık Su	Üretimde kullanılan makine ve ekipmanların temizliği sonucu ortaya çıkan su
	Hammaddelerin Taşınması	Üretilen emülgatörlerde kullanılan hammaddelerin fabrikaya taşınması

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında Kapsam 1 ve Kapsam 2 verileri eksiksiz olmalıdır. Bu iki kapsamda eksik veriler olması halinde hesaplama yapılamaz. Kapsam 3'ü hesaplamak zorunlu olmamakla birlikte hesaplandığında daha doğru sonuçlar vermektedir. Kapsam 3 elde edilebilen, şirket bünyesinde kaydı tutulmuş verilere göre hesaplanmıştır.

5.3. Kullanılan Faaliyet Verileri

Gıda emülgatörleri üretimi yapan firmanın karbon ayak izi hesaplanırken kullanılan faaliyet birimleri ve birimleri **Tablo 5.2'de** sunulmuştur. Karbon ayak izi hesaplanırken birimlere dikkat edilmiştir. Doğalgaz ,elektrik ve su verileri faturalardan elde edilmiştir. Şirket araçlarında kullanılan benzin ve motorin verileri araç tanıma sisteminden elde edilmiştir.

Üretim süreçlerinde kullanılan hammaddelere ilişkin faaliyet verileri, cari hesap hareketlerinden analiz edilerek elde edilmiştir. Bu veriler, taşınan hammadde miktarı ile taşımacılık mesafesinin çarpımı yoluyla hesaplanmıştır. Taşımacılıktan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında, GHG Protokolü tarafından sağlanan emisyon faktörlerinden yararlanılmıştır. Uygun emisyon faktörlerinin seçimi sırasında taşıma aracının teknik özellikleri, doluluk oranı ve taşınan yükün kütlesi gibi değişkenler dikkate alınmıştır. Atık su bilgisi ise İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (İski) yapılan beyandan elde edilmiştir.

Tablo 5.2: Faaliyet Verileri.

Sera Gazı Kaynağı	Kullanım Yeri	Birim	Faaliyet Verisi
Doğalgaz	Kızgın Yağ Kazanı	Sm ³	1107
Motorin	Şirket Servisi	L	1800
Benzin	Şirket Aracı	L	800
Motorin	Şirket Aracı	L	420
R407C Gazı	Chiller	Kg	0.15
R32 Gazı	Klimalar (16 adet)	Kg	0.015
R410A Gazı	Klima (2 adet)	Kg	0.032
R404A Gazı	Derin Dondurucu	Kg	0.00204
R134A Gazı	Buzdolabı	Kg	0.00268
R134A Gazı	Su Sebili (2 adet)	Kg	0.00025
Elektrik	Elektrik tüketimi	kWh	Başakşehir :77969 Silivri :29853.88
Havayolu Seyahatleri	İş seyahati için yapılan havayolu ulaşım verisi	Yolcu.km	3040
Kiralık Araçlar	Forklift	L	375
Su Tüketimi	Tüketilen toplam su miktarı	m ³	332
Atık Su	Ekipman temizliği	L	30
Karayolu Taşımacılığı	Hammaddelerin değişik doluluk oranlarına sahip kamyon ve tırla taşınması	Ton.km	80217.625

Klimalar, chiller, derin dondurucu, buzdolabı ve sebillerin yıllık sızıntı miktarı %1 olarak alınmış olup faaliyet verileri cihazların içerisinde bulunan gaz kapasiteleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Cihazlar yeni olup, hesaplama yapılan dönem içerisinde herhangi bir gaz şarj edilmemiştir. Yangın söndürme tüpleri kuru kimyevi tozlu olup içerisinde itici gaz olarak N₂ gazı bulunmaktadır. Azot gazı inert bir gaz olduğu ve sera gazı emisyonuna bir etkisi olmadığı için hesaplamaya dahil edilmemiştir. Hesaplamalarda kullanılan 100 yıllık Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) faktörleri, IPCC' nin altıncı değerlendirme raporu (AR6) sentez raporundan alınmış olup, ilgili değerler **Tablo 5.3'de** gösterilmiştir.

Tablo 5.3: Küresel Isınma Potansiyelleri [IPCC,2021].

Sera Gazı	Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)
CO ₂	1
CH ₄	27.9
N ₂ O	273
R134A	1530
R404A	4728
R410A	2255.5
R407C	1907.93
R32	771

6. BULGULAR

6.1. Kapsam 1 SGE Hesaplamaları

Kurumun sabit yakmadan kaynaklı SGE, hareketli yakmadan kaynaklı SGE ve antropojenik sızıntı kaynaklı SGE bu kapsamda hesaplanmıştır.

Sabit yakmadan kaynaklı SGE hesaplamalarında kızgın yağ kazanında kullanılan doğalgaz hesaplanmıştır.

$$\text{Yakıt Tüketimi} = v \times d \quad (6.1)$$

$$\text{FV} = \text{NCV} \times \text{Yakıt Tüketimi} \quad (6.2)$$

Bu çalışmada kullanılan formülde, **v** hacmi (m³ veya L), **d** yoğunluğu (kg/m³) ve **FV** ise faaliyet verisini temsil etmektedir. Faaliyet verisi elde edildikten sonra denklem (5.1) ve (5.2) uygulanır ve bütün sera gazları toplanır. Yakıt tüketimi hesaplanırken kütle kg'dan Gg birimine dönüştürülür. Hesaplamalar boyunca birim çevirmeleri büyük önem taşır. Hesaplamalar, CO₂, CH₄ ve N₂O sera gazları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş, her bir gazın Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) faktörü ile çarpılarak CO₂e birimine dönüştürülmüştür. Net Kalorifik Değer, EF ve KIP değerleri IPCC'nin 6.raporundan elde edilmiş olup, doğalgaz yoğunluğu 0,75 kg/m³ olarak alınmıştır. Kurumda kullanılan doğalgaz kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonu **Tablo 6.1**'de gösterilmiştir.

$$1107 \text{m}^3 \times 0.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10^{-6} \text{Gg}}{1 \text{kg}} = 8.3025 \times 10^{-4} \text{Gg}$$

$$8.3025 \times 10^{-4} \text{Gg} \times 48 \frac{\text{Tj}}{\text{Gg}} = 0.039852 \text{Tj}$$

$$56100 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{Tj}} \times 0.039852 \text{Tj} = 2235.7 \text{kgCO}_2$$

$$1 \frac{\text{kgCH}_4}{\text{Tj}} \times 0.039852 \text{Tj} = 0.039852 \text{kgCH}_4$$

$$0.1 \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{Tj}} \times 0.039852 \text{Tj} = 0.0039852 \text{kgN}_2\text{O}$$

$$2235.7 \text{kgCO}_2 \times 1 = 2235.7 \text{kgCO}_2 \text{eş}$$

$$0.039852 \text{ kgCH}_4 \times 27.9 = 1.11 \text{ kgCO}_2 \text{eş}$$

$$0.0039852 \text{ kgN}_2\text{O} \times 273 = 1.09 \text{ kgCO}_2 \text{eş}$$

$$2235.7 + 1.11 + 1.09 = 2237.9 \text{ kgCO}_2 \text{eş} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 2.238 \text{ tonCO}_2 \text{eş}$$

Tablo 6.1: Sabit yakma kaynaklı SGE.

SGE Kaynağı	FV(Tj)	NKD(Tj/Gg)	EF CO ₂ (kgCO ₂ /TJ)	EF CH ₄ (kgCH ₄ /TJ)	EF N ₂ O (kgN ₂ O/TJ)	Toplam SGE (tCO ₂ e)
Doğalgaz	0.039852	48	56100	1	0.1	2.238

Şirkete ait on-road araçların sera gazı salımları hesaplanmıştır. Öncelikle Denklem (6.1) kullanılıp yakıt tüketimi kg'dan Gg birimine çevrilmiştir. Daha sonra (6.2) denklemini kullanılıp faaliyet verisi Tj biriminden hesaplanmıştır. Faaliyet verisi elde edildikten sonra denklem (5.1) ve (5.2) uygulanır. CO₂, CH₄ ve N₂O için ayrı ayrı hesaplamalar yapıp ilgili kaynağın küresel ısınma faktörü ile çarpılarak CO₂e dönüşümü sağlanmıştır. Şirkete ait araçların sebep olduğu sera gazı emisyonu **Tablo 6.2**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2: Hareketli yakma kaynaklı SGE.

SGE Kaynağı	FV(Tj)	NKD(Tj/Gg)	EF CO ₂ (kgCO ₂ /TJ)	EF CH ₄ (kgCH ₄ /TJ)	EF N ₂ O (kgN ₂ O/TJ)	Toplam SGE (tCO ₂ e)
Motorin	0.064	43	74100	25	8	4.93
Benzin	0.026	44.3	69300	3.9	3.9	1.88
Motorin	0.015	43	74100	25	8	1.15

Kurum içerisinde kullanılan iklimlendirme sistemlerinde sızıntılardan kaynaklanan sera gazı emisyonu **Tablo 6.3**'te gösterilmiştir. Şirkette kullanılan klimalar, buzdolapları, sebiller, derin dondurucu ve üretimde kullanılan chiller hesaba dahil edilmiştir.

Tablo 6.3: Sızıntılardan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları.

Gaz Türü	Faaliyet Verisi (kg)	Adet	KIP(kgCO ₂ e/kg)	Toplam SGE (tCO ₂ e)
R407C	0.15	1	1907.93	0.286
R32	0.015	16	771	0.185
R410A	0.032	2	2255.5	0.144
R404A	0.00204	1	4728	0.00965
R134A	0.00268	1	1530	0.00410
R134A	0.00025	2	1530	0.000765

Kapsam 1'deki sera gazı emisyon miktarı **10.828** ton CO₂e olarak bulunmuştur.

6.2. Kapsam 2 SGE Hesaplamaları

Kurumun üretim ve operasyonel faaliyetlerinde tüketilen elektrik kaynaklı oluşan SGE hesaplamaları IPCC'nin Tier 2 yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Emisyon faktörü 2024 yılı için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 0.445 t CO₂/MWh olarak yayınlanmıştır. Başakşehir şubesi için SGE 34.7 tCO₂, Silivri için 13.3 tCO₂ olarak hesaplanmıştır. İthal edilen elektrik kaynaklı SGE toplam **48 ton CO₂-eşd** olarak bulunmuştur.

$$77969\text{kWh} \times 0.445 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \times \frac{1\text{MWh}}{1000\text{kWh}} = 34.70 \text{ tCO}_2 \quad (6.3)$$

$$29853.88 \text{ kWh} \times 0.445 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \times \frac{1\text{MWh}}{1000\text{kWh}} = 13.3 \text{ tCO}_2 \quad (6.4)$$

6.3. Kapsam 3 SGE Hesaplamaları

- **Hammaddelerin Nakliyesinden Kaynaklanan Emisyonlar**

Hammaddelerin fabrikaya gelmesi sonucu oluşan sera gazı emisyon hesaplamaları **Tablo 6.4**'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Hammaddelerin Nakliyesinden Kaynaklanan SGE.

Hammadde	Taşıt Türü	FV (ton.km)	EF (kg CO₂e/ton.km)	Toplam SGE (tCO₂e)
Asetik asit	Sabit Kasa Kamyon %50 doluluk	62	0.26206	0.016
Gliserol	Sabit Kasa Kamyon %100 doluluk	108	0.11824	0.013
Mısır Nişastası	Mafsallı Tır %100 doluluk	59,010	0.06701	3.95
Trialsiyum Fosfat	Sabit Kasa Kamyon Değişken Doluluk	54	0.38023	0.021
Guargam	Sabit Kasa Kamyon Değişken Doluluk	59.625	0.38023	0.023
Hint Yağı	Sabit Kasa Kamyon Değişken Doluluk	52.9	0.38023	0.020
Sorbitol	1.Sınıf Kamyonet (1.305 tona kadar)	3	0.085353	0.000256
Kalsiyum Karbonat	Sabit Kasa Tır %100 doluluk	18,840	0.11824	2.228

Tablo 6.4: Devam.

Laktik Asit	1.sınıf Kamyonet (1.305 tona kadar)	2.5	0.85353	0.00213
Tartarik Asit	Mafsallı Tır %100 doluluk	630	0.05789	0.0036
Stearik Asit	Mafsallı Tır %100 doluluk	105,350	0.05789	6.1
Monopropilen glikol	3.sınıf Kamyonet (1.74-3.5 ton)	10.6	0.61363	0.00650

Hammaddelerin taşınması sonucu oluşan SGE **12.38 ton CO₂** olarak bulunmuştur.

- **Kiralık Araç Kaynaklı SGE**

Şirkete ait olmayan, kiralanan araçların sera gazı emisyonları Kapsam 3’hesaplanmaktadır. Şirketin kiraladığı off-road forkliftin sera gazı hesaplamaları (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak yapılmış olup motorin yoğunluğu 0,83 kg/lt olarak alınmıştır. Emisyon faktörleri off-road araçlara göre seçilmiştir. CO₂, CH₄ ve N₂O için ayrı ayrı hesaplamalar yapıp ilgili kaynağın küresel ısınma faktörü ile çarpılarak CO_{2e} dönüşümü sağlanmıştır. **Tablo 6.5’te** net kalorifik değer ve emisyon faktörleri verilmiştir. Toplam SGE **1.09 tCO_{2e}** çıkmıştır.

Tablo 6.5 Kiralık Araç Kaynaklı SGE.

SGE Kaynağı	FV(Tj)	NKD(Tj/Gg)	EF CO ₂ (kgCO ₂ /TJ)	EF CH ₄ (kgCH ₄ /TJ)	EF N ₂ O (kgN ₂ O/TJ)	Toplam SGE (tCO _{2e})
Forklift	0.0134	43	74100	4.15	28.6	1.09

- **İş Seyahatleri Kaynaklı SGE**

Ocak ayında 3 günlük Almanya seyahati olmuştur ve mesafe bilgisi 3040 km. yolcu olarak iletilmiştir. 6 aylık hesaplama döneminde başka bir iş seyahati

gerçekleşmemiştir. Emisyon faktörü GHG protokolünden uluslararası ekonomi sınıf uçuşlar için 0.13465 kg CO₂e seçilmiş olup SGE 0.41 ton CO₂e çıkmıştır. İş seyahatlerinde yapılan konaklamalardan kaynaklanan SGE faaliyet verisi 2 (oda/gece)'dir. Emisyon faktörü 13,2 kg CO₂e olup SGE 0.03 ton CO₂e çıkmıştır. İş seyahatleri sırasında açığa çıkan toplam SGE miktarı **0.44 ton CO₂e** olarak bulunmuştur.

- **Su Tüketimi Kaynaklı SGE**

Kurumun içme ve kullanım suyu miktarı 332 m³ olarak kaydedilmiştir. Gelen su faturaları ve kuruma alınan içme sularıda hesaba katılmıştır. Formül (5.1) kullanılarak hesaplama yapılmış olup GHG protokolünden emisyon faktörü 0.15311 kg CO₂e/m³ olarak alınmıştır. Su tüketimi kaynaklı SGE **0.05 ton CO₂e** olarak bulunmuştur.

- **Atık Su Kaynaklı SGE**

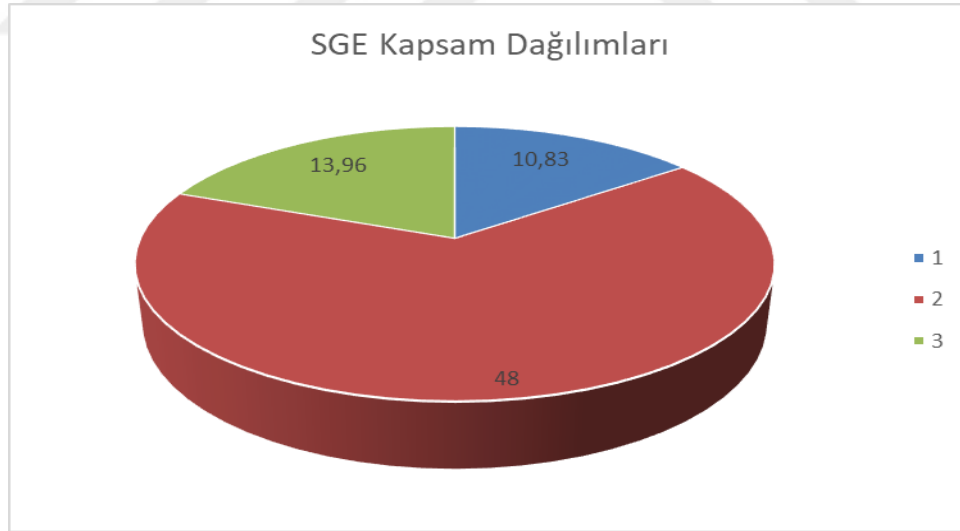
6 aylık periyotta cihazların temizliği nedeniyle elde edilen atık su miktarı 30 litredir. Litre m³ e çevrilerek faaliyet verisi 0.03 m³ elde edilmiştir. Formül (5.1) kullanılarak hesaplama yapılmış olup GHG protokolünden emisyon faktörü 0.18574 kg CO₂e/m³ olarak alınmıştır. Su tüketimi kaynaklı SGE 6×10^{-6} ton CO₂e olarak bulunmuştur. Kullanılan emisyon faktörü değerleri EK-11'de verilmiştir.

Kapsam 3 SGE miktarları toplam **13.96 ton CO₂e**ş olarak bulunmuştur. Hesaplamalar kuruma ait Silivri ve Başakşehir şubeleri için yapılmış olup 6 aylık verilerle hesaplama gerçekleştirilmiştir.

7. TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma ve Sonuçlar

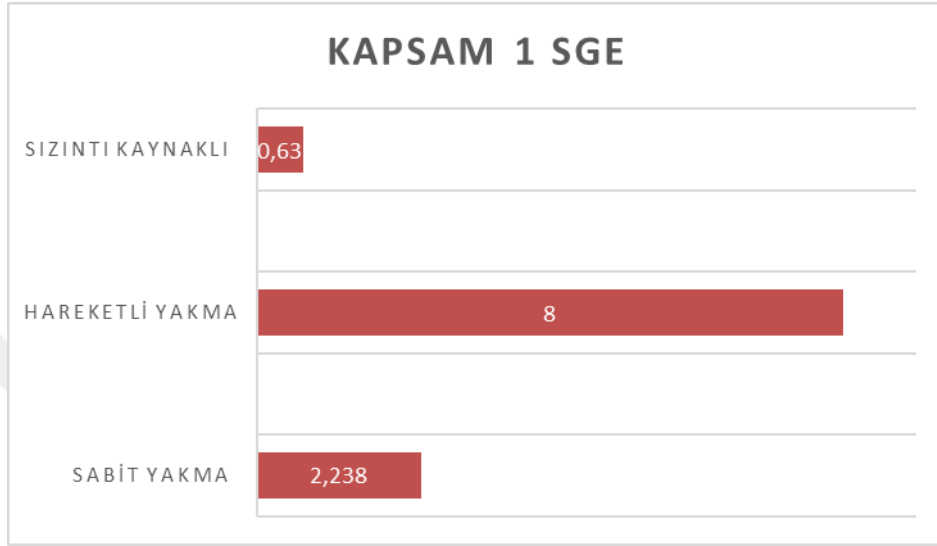
Günümüzde küresel ısınma ciddi bir ulusal problemdir. Kurumların neden oldukları sera gazı emisyonlarını hesaplaması, hangi süreçlerde daha çok salınım neden olduğunu gözler önüne sürerek önlem almalarını sağlayacaktır. Gıda emülgatörleri üreten firmanın toplam sera gazı emisyon miktarı 2024 yılının 6 aylık periyodunda **72.9 ton CO₂eş** olarak bulunmuştur. Hesaplama boyunca ondalık kısım nokta ile binlik kısım virgöl ile gösterilmiştir. Hesaplamalar GHG protokolünün kapsamı temel alınarak yapılmıştır. Hesaplama yapılırken Kapsam 1'in emisyon faktörleri IPCC'nin altıncı raporundan elde edilmiştir. Kapsam 2'nin emisyon faktörü Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sitesinden elde edilmiş olup, Kapsam 3'ün emisyon faktörleri GHG protokolünden elde edilmiştir.



Şekil 7.1: Sera Gazı Emisyonlarının Kapsam Dağılımları.

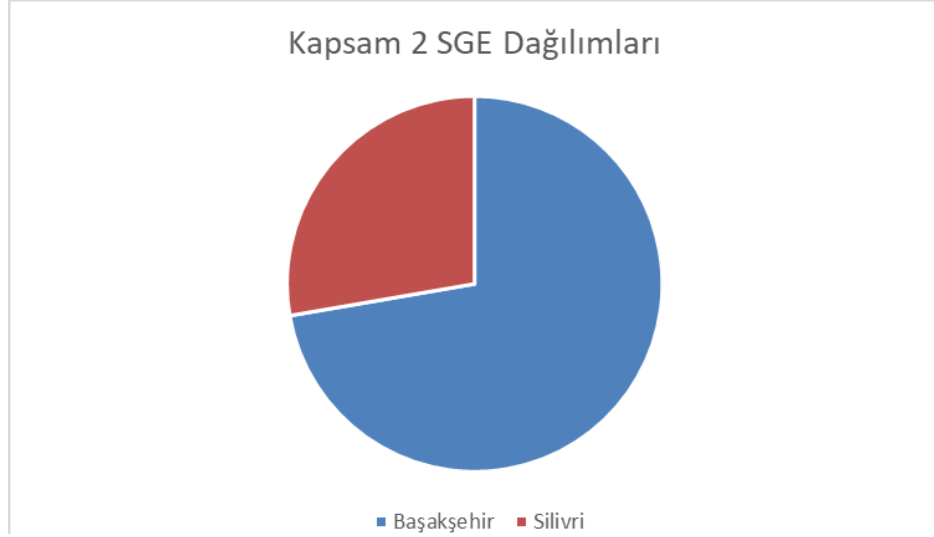
Şekil 7.1 'de SGE Kapsam dağılımları gösterilmiştir. Kurumun en çok sera gazı salınımı elektrik nedeniyle olmuştur. Bunun nedeni üretimde kullanılan reaktörlerin elektrik ile çalışıyor olmasıdır.

Kapsam 1'in sera gazı emisyonlarının dağılımını incelediğimizde en çok salınımın şirkete ait araçlardan kaynaklandığı görülmüştür. Araçlardan kaynaklanan sera gazı salınımı 8 ton CO₂eş, doğalgaz kullanımı kaynaklı SGE 2.238 ton CO₂eş ve antropojenik sızıntı kaynaklı SGE 0.63 ton CO₂eş bulunmuştur. **Şekil 7.2**'de kapsam 1'in dağılımları gösterilmiştir.



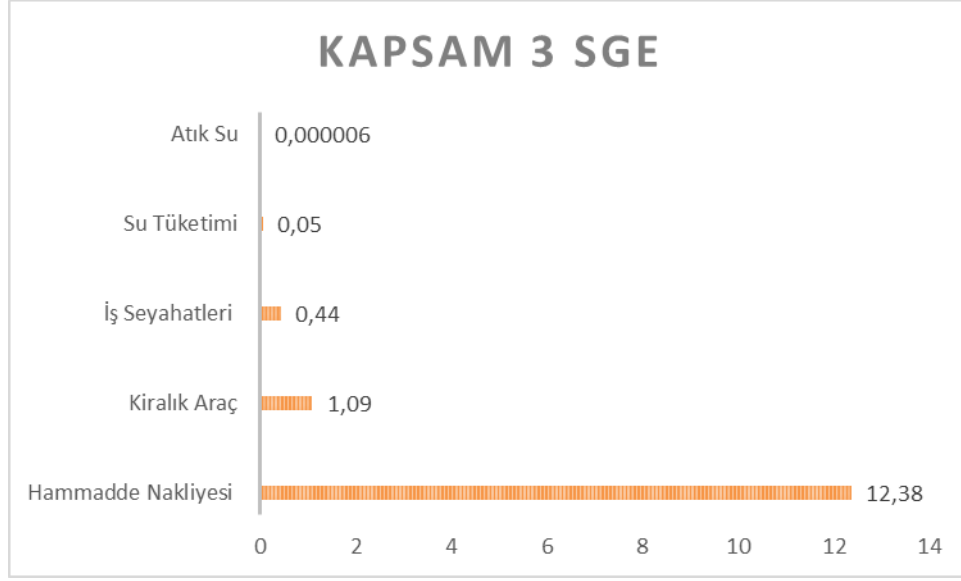
Şekil 7.2: Kapsam 1 Emisyon Dağılımları.

Kapsam 2 sera gazı emisyonlarının iki kuruma ait karşılaştırılması **Şekil 7.3**'te verilmiştir. Başakşehir şubesine ait SGE 34.70 tCO₂ çıkmış, Silivri merkezi ise 13.3 tCO₂ olarak bulunmuştur. Başakşehir şubesinin daha yüksek çıkmasının nedeni üretimin orada gerçekleştirilmesi, hesaplama yapılan dönem boyunca Silivri'ye ait fabrikada sadece deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.3: Kapsam 2 SGE Şube Dağılımları.

Kapsam 3 hesaplamaları zorunlu değildir fakat 15 kategori içerip sera gazı emisyonlarının hesaplamasında oldukça önemli bir yer kaplar. Elde edilebilen verilere göre Kapsam 3 hesaplanmış ve 13.96 ton CO₂eş bulunmuştur. Kapsam 1'den daha fazla sera gazı emisyonuna sahiptir, bu sonuçta hesaplamanın emisyon miktarının doğruluğunu ne kadar etkilediğini gözler önüne sermektedir. Kapsam 3'ün en fazla Sera gazı salımları hammadde nakliyesi kaynaklı olmuş 12.38 ton CO₂eş olarak bulunmuştur. En az sera gazı salınımı ise atık su kaynaklı olmuştur. Atık su sadece cihazların temizliğinde kullanıldığı için sera gazı salınımı az çıkmıştır. **Şekil 7.4'**te Kapsam 3'ün sera gazı emisyonları dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 7.4: Kapsam 3 SGE Dağılımları.

Sera gazı emisyonlarının ürün bazında değerlendirilmesi, üretim süreçlerinin çevresel etkilerini anlamak ve azaltıcı önlemler geliştirmek açısından önemlidir. Fabrikada 6 aylık periyotta toplam 3.000 ton emülgatör üretilmiş ve bu süreçte toplam 72.8 ton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Fabrikada üretilen her bir ton emülgatör için yaklaşık 0,0243 ton (24,3 kg) CO₂ eşdeğeri sera gazı salınımı gerçekleşmektedir. Bu değer, üretim sürecinde enerji tüketimi, hammadde kullanımı ve diğer operasyonel faktörlerden kaynaklanan emisyonları içermektedir. Elde edilen sonuçlar, sektörde faaliyet gösteren büyük ölçekli firmalarla kıyaslandığında oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.

Örneğin, aynı sektörde üretim yapan **Palsgaard**, 2023 yılı sera gazı raporunda toplam **100,410 ton CO₂-eşdeğer** emisyon bildirmiştir. Emisyon hesaplamalarını **Scope 1, Scope 2 ve Scope 3** kapsamlarını içerecek şekilde gerçekleştiren firmanın, ürün başına düşen sera gazı salınımı **2.3 ton CO₂-eşdeğer** olarak hesaplanmıştır. Bu değer, çalışmada incelenen fabrikaya kıyasla oldukça yüksektir.

Diğer bir firma olan **Kerry Group** 2024 yılı sera gazı raporunda, toplam **462,351 ton CO₂-eşdeğer** emisyon açıklamış ancak hesaplamalarına **Scope 3 kapsamını dahil etmemiştir**. Dolayısıyla, Kerry Group'un tedarik zinciri kaynaklı dolaylı emisyonları hesaba katıldığında toplam emisyonunun daha yüksek olabileceği öngörülebilir.

Öte yandan, **Cargill** 2023 yılı raporunda, **Scope 1, Scope 2 ve Scope 3** kapsamlarını içeren hesaplamalar sonucunda **208,223,615 ton CO₂-eşdeğer** emisyon bildirmiştir. Üretim kapasitesi ve faaliyet alanı oldukça geniş olan firmanın sera gazı salınımının yüksek olması beklenen bir durumdur.

Bu karşılaştırmalar ışığında, çalışmada ele alınan fabrikanın **sektör genelinde düşük emisyon değerlerine sahip olduğu** görülmektedir. Ancak, üretim ölçeği, ürün çeşitliliği ve hesaplamalara dahil edilen kapsamlar gibi değişkenler nedeniyle doğrudan bir karşılaştırma yapmak sınırlı olabilir. Yine de, sektör içindeki mevcut durumun değerlendirilmesi ve sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin benimsenmesi, emisyon azaltımına yönelik önemli bir adım olacaktır.

Kurum karbon ayak izi hesaplamaları ve çeşitli sürdürülebilirlik faaliyetleriyle kurumsal sürdürülebilirliğe önem verdiğini göstermektedir. Kurumsal sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlerin dengeli bir şekilde yönetilerek işletmelerin uzun vadeli, sorumlu ve verimli faaliyetlerini sürdürmesini sağlamayı amaçlar. Bu yaklaşım 3 temel unsura dayanır.

Çevresel sürdürülebilirlik: Kurumun doğal kaynakların korunmasına öncelik vererek çevresel etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda enerji verimliliği, su tüketimi, atık yönetimi ve çevre kirliliğinin önlenmesi gibi konular ele alınmaktadır.

Sosyal sürdürülebilirlik: Çalışan haklarının korunması, toplumsal sorumluluk projelerinin desteklenmesi ve çeşitlilik ile kurumda kapsayıcılığın sağlanması gibi sosyal konulara odaklanır. Adil çalışma koşulları, toplumu kapsayan projeler ve çalışan memnuniyeti bu çerçevede önemli bir yer tutmaktadır.

Ekonomik sürdürülebilirlik: Kurumun rekabet gücünü artırmayı ve uzun vadeli finansal başarı sağlamasını hedefler. Sürdürülebilir iş modellerinin geliştirilmesi, etkin risk yönetimi ve yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi de ekonomik sürdürülebilirliğe dahildir.

Aşağıda bu kapsamda değerlendirilebilecek kuruma ait uygulamalar yer almaktadır:

1. **Floresan lambaların yerine LED kullanılması:** LED aydınlatmanın floresan lambalara kıyasla enerji tasarrufu sağlaması ve uzun ömürlü olmasıyla karbon ayak izinin azaltılmasına yardımcı olur.

2. **Geri dönüştürülebilir atık yönetim sistemi:** Atıklar ayrıştırılarak geri dönüştürülür ve böylece çevresel kaynakların korunmasını destekleyerek atık miktarını önemli ölçüde azaltır.
3. **Zararlı kimyasalların güvenli şekilde bertaraf edilmesi:** Kimyasal atıklar uygun yöntemlerle imha edilerek, çevrenin korunması ve iş güvenliği açısından kritik bir önem sağlar.
4. **Kadın istihdamının artırılması:** Kadın çalışan oranının yükseltilmesi, iş yerinde eşitliği teşvik ederek sosyal sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlar.
5. **Genç yeteneklere ve yeni mezunlara çalışma fırsatı verilmesi:** Yeni mezunların işe alımı, yenilikçi fikirlerin iş süreçlerine entegre edilmesine olanak tanır, yeni mezun istihdamını artırır ve sosyal sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.
6. **Tek kullanımlık plastik ürünlerin yerine yeniden kullanılabilir alternatiflerin tercih edilmesi:** Tek kullanımlık plastiklerin azaltılması, plastik atıkların çevreye olan zararını minimuma indirir ve çevresel sürdürülebilirliği destekler.
7. **Laboratuvardaki kimyasallar için düzenli envanter oluşturulması:** Kimyasal malzemelerin takip edilmesi ve envanterlerin güncel tutulması, iş güvenliği ve çevresel risklerin önlenmesi açısından önemlidir.
8. **Personelin karbon ayak izini azaltmak için toplu taşıma ve araç paylaşımının teşvik edilmesi:** Herkesin ayrı ayrı araç kullanması yerine ortak ulaşım araçlarının kullanımı, ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarını düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sağlamaktadır.
9. **Kurumun çevresindeki hayvanların beslenmesi, bakımlarının yapılması ve derneklere maddi destek sağlanması:** Kurumun sokak canlılarına bakımlarını sağlaması kurumsal sosyal sorumluluk kapsamında sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Kurum tarafından gerçekleştirilen bu uygulamalar kurumsal sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutunu desteklemektedir.

7.2. Öneriler

Bu çalışmada sera gazı emisyonu hesaplanan fabrikada, elektrik tüketimi önemli bir emisyon kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Fabrikanın 6 ayda 108.000 kWh elektrik tüketmesi, yaklaşık 48 ton CO₂ eşdeğer sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri üretimde kullanılan makine, cihaz ve reaktörlerin elektrik ile çalışıyor olmasıdır. Elektrik kaynaklı sera gazı salınımını düşürmek için yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilebilir. Yüksek enerji tüketen ekipmanlar kullanmak yerine enerji verimliliği yüksek ekipmanlar kullanılabilir. Isıtma ve soğutma amaçlı kullanılan elektrik tüketimini azaltmak için kurumun binalarına izolasyon yapılabilir. Kurum içerisinde çok kullanılmayan bölgelere hareket sensörlü aydınlatma sistemi kurulabilir. Bu emisyonun azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı kritik bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Özellikle güneş enerjisi sistemlerinin entegrasyonu, fosil yakıt bazlı elektrik kullanımını azaltarak emisyonların düşürülmesine katkı sağlayabilir. Türkiye’de elektrik üretiminin karbon yoğunluğunun yaklaşık 0,40 kg CO₂/kWh olduğu göz önünde bulundurulduğunda, fabrikanın elektrik ihtiyacının tamamının güneş panelleri ile karşılanması halinde 48 ton CO₂ eşdeğer emisyonun önüne geçmek mümkün olacaktır. Bu kapsamda, fabrikanın enerji ihtiyacını karşılayacak yaklaşık 288 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerji santrali gerekmektedir. 1 kWp’lik bir güneş paneli sisteminin 6 aylık süreçte ortalama 750 kWh elektrik üretebildiği dikkate alındığında, fabrikanın toplam enerji ihtiyacının %50’sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanabilmesi için 144 kWp, tamamının karşılanabilmesi için ise 288 kWp’lik bir sistem önerilmektedir.

Elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tamamen önlenmesi, fabrikanın toplam sera gazı emisyon miktarını %66 oranında azaltacaktır. Buna ek olarak, güneş enerjisiyle üretilen fazla elektriğin depolanması ya da şebekeye satışı, fabrikanın enerji sürdürülebilirliğine katkıda bulunarak sera gazı emisyonlarının daha fazla azaltılmasına olanak tanıyabilir. Bu doğrultuda, fabrikanın yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, karbon emisyonlarını düşürerek çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir adım olacaktır.

Kapsam 1 ‘de ki en çok sera gazı salınımı şirkete ait on-road araçlar kaynaklı olmuştur. Şirkete ait araçlar elektrikli veya hibrit araçlarla değiştirilebilir. Hız sınırlamalarına uyarak yakıt tüketimi azaltılabilir. Daha kısa ve verimli rotalar tercih ederek yakıt

tüketiminin azalması sağlanabilir. Hibrit çalışmaya elverişli pozisyonlarda çalışanların hibrit veya çevrimiçi çalışmasına fırsat tanınabilir.

Kapsam 3'te en fazla sera gazı salınımına hammaddelerin taşınması neden olmuştur. Hammadde tenini sırasında kuruma konum olarak yakın firmalar tercih edilmektedir bu da sera gazı salınımı azaltmaktadır. Hammaddeler temin edilirken tır ve kamyonlar doluluk oranları yüksek olanların tercih edilmesi sera gazı salınımını azaltacaktır.

Üretim esnasında soğutma amaçlı kullanılan sular, su deposuna dönüp gerektiğinde arıtılıp tekrar tekrar kullanılmaktadır. Bu da su tasarrufu sağlamaktadır. Su musluklarına perlatör takılarak su tasarrufu sağlanabilir.

İş seyahatleri sırasında sera gazı salınımı düşük araçlar tercih edilebilir. Bunlar elektrikli araçlar, tren veya otobüs olabilir. Eğer uçak kullanılacaksa ekonomi sınıfında uçuş tercih edilmelidir. Otellerde konaklamada oda paylaşımı yapılmasında sera gazını azaltmak için tercih edilebilir bir yöntemdir. İş seyahati yerine çevrimiçi görüşme yapılabiliriyorsa çevrimiçi görüşme tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

Desa A. R., Austin J. A., Bennington V., McKinley G. A., (2009),” Stronger winds over a large lake in response to weakening air-to-lake temperature gradient”, Nature Geoscience, 2(12), 855–858.

EEA, (2014), “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2012 and inventory report 2014: Submission to the UNFCCC Secretariat”, Technical Report No. 09/2014, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

EPA, (2023), Supply chain greenhouse gas emission factors v1.2 (NAICS-6). U.S. Environmental Protection Agency.

EPA, (2024), Supply Chain GHG Emission Factors v1.2 by NAICS, United State Environmental Protection Agency.

GHG Protocol, (2004), Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı (Revize Edilmiş Sürüm), The Greenhouse Gas Protocol.

GHG Protocol, (2011), Scope 3 Standard: Quantifying and Reporting Greenhouse Gas Emissions from the Value Chain, Greenhouse Gas Protocol.

GHG Protocol, (2015), Corporate Accounting and Reporting Standard. The Greenhouse Gas Protocol.

GHG Protocol, (2024), Global warming potential values, Greenhouse Gas Protocol.

Hasenhuettl G. L., Hartel R. W., (2016), “Food Emulsifiers and Their Applications”, 2nd Edition, Springer.

Hämäläinen I., (2022), “Altyapı Taşımacılığı”, https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_politoineluokitus.html. (Erişim Tarihi: 24.03.2024).

IPCC, (2006), Energy In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernment Panel on Climate Change.

IPCC, (2007), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kaya H. E., (2020), “Kyoto’dan Paris’e Küresel İklim Politikaları”, Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi, 4(10), 165-191.

Khan Z., Dotty S., (2011), “Endophyte-assisted phytoremediation”, Current Topics in Plant Biology, 12, 97-105.

Kim D., Bowe J. D., Ozelkan E. C. (2015),” Optimization of wastewater treatment plant operation for greenhouse gas mitigation”, Journal of Environmental Management, 163, 39-48.

Kokko L., (2016), “Lastik Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları – Nokia Tyres örneği “,Yüksek lisans tezi, Tampere Teknoloji Üniversitesi.

Lee H., Romero J., et al. (2023), “IPCC, 2023: Summary for policymakers. Climate Change 2023: Contribution to the Synthesis Report of the Sixth Assessment Report”,Technical Report No: AR6-SYR, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Matthews S., Hendrickson, C., Weber C., (2008), “The importance of carbon footprint estimation boundaries”, Environmental Science & Technology, 42(16), 5839-5842.

Ni B. J., Rusalleda M., Pellicer-Nàcher C., Smets B. F., (2011),” Modeling nitrogen oxide production during biological nitrogen removal via nitrification and denitrification: Extensions to general ASM models”, Environmental Science & Technology, 45, 7768-7776.

Shine K. P., Fuglestedt J. S., Hailemariam K., Stuber N., (2005),” Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases”, Climatic Change, 68(3), 281–302.

Sinden G., (2009), “The Contribution of PAS 2050 to the Evolution of International Greenhouse Gas Emission Standards”, The International Journal of Life Cycle Assessment, 14, 195–203

Solomon S., Plattner G. K., Knutti R., Friedlingstein P., (2009), “Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions”, Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(6), 1704–1709.

Sweetapple C., Fu G., Butler D., (2013), “Identifying key sources of uncertainty in the modelling of greenhouse gas emissions from wastewater treatment”, Water Research, 47(13), 4652–4665.

TSE, (2019), ISO 14064-1 Sera Gazları Bölüm 1: Sera Gazı Salımlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Raporlanmasına Dair Kılavuz Ve Özellikler,Türk Standartları Enstitüsü.

United Nations, (1992), Rio Declaration on Environment and Development.

USEPA, (2007),”Greenhouse gas emissions and sinks inventory (1990-2005)”,Technical Report No: EPA 430-R-07-002, Washington, DC,U.S. Environmental Protection Agency.

Usva K., Hietala S., Nousiainen J., Vorne V., Vieraankivi M., Jallinoja M., Leinonen I., (2023), “Environmental life cycle assessment of Finnish broiler chicken production–Focus on climate change and water scarcity impacts”, Journal of Cleaner Production, 410, 137097.

Web 1, (2015), <https://climate.nasa.gov/explore/ask-nasa-climate/182/the-acid-test/>, (Erişim Tarihi: 15.08.2024).

Web 2, (2023), <https://2berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2023/>, (Erişim Tarihi: 12.02.2024).

Web 3, (2023), <https://www.copernicus.eu/en>, (Erişim Tarihi: 15.02.2024).

Web 4, (2023), <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>, (Erişim Tarihi: 14.02.2024).

Web 5, (2023), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>, (Erişim Tarihi: 20 şubat 2024).

Web 6, (2023), <http://www.surdurulebilirlikalkinma.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 17.02.2024).

Web 7, (2023), <https://www.climatepartner.com/en/knowledge/insights/all-you-need-to-know-about-emission-factors>, (Erişim Tarihi: 31.03.2024).

Web 8, (2022), <https://www.eufic.org/en/whats-in-food/article/what-are-emulsifiers-and-what-are-common-examples-used-in-food>, (Erişim Tarihi: 20.06.2024).

Wiedmann T., Minx J., (2008), “A Definition of Carbon Footprint”, Ecological Economics Research Trends, 1, 1-11.

Yavuz A. B., (2020), “Turizmde Karbon Ayak İzi: Beş Yıldızlı Otel”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Gizem SABANCIOĞLU KARYAĞ, 2015 yılında Özel Okyanus Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2021 yılında Yeditepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünü tamamladı. 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi'nde Çevre Mühendisliği yüksek lisans eğitimine başladı.

2021 yılından itibaren Aspek Kimya ve Gıda firmasında Kimya Mühendisi olarak çalışmaktadır. Bu süreçte, kimyasal proseslerin optimizasyonu ve emülgatör üretimi alanında uzmanlaşmıştır. Ayrıca, TÜBİTAK tarafından desteklenen "Enzimatik ve Kimyasal Yöntemlerle Gliserin MonoStearat (E471) Üretiminin Optimizasyonu" projesinde fikir sahibi olarak bilimsel araştırmalara katkıda bulunmuştur.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN SUNUM

Sabancıoğlu Karyağ G., Bektaş N., (2024), “Kurumsal karbon ayak izi hesaplama”, 8. GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 30-31 Mayıs.



EKLER

EK-A: IPCC GWP DEĞERLERİ

Şekil A.1: Hesaplamalarda Kullanılan GWP Değerleri.

7.SM.6 Tables of Greenhouse Gas Lifetimes, Radiative Efficiencies and Metrics

Table 7.SM.7 | Greenhouse gas lifetimes, radiative efficiencies, global warming potentials (GWPs), global temperature potentials (GTPs) and cumulative global temperature potentials (CGTPs). GWPs given for 20-year, 100-year and 500-year time horizons. GTPs and CGTPs given for 50-year and 100-year time horizons. Note CGTP has units of years and is applied to a change in emissions rate rather than a change in emissions amount. Also shown are absolute values of GWPs and GTPs (AGWPs and AGTPs), in units of picowatt years per square metre per kilogram (1 pW = 10⁻¹² W) or picokelvin per kilogram (1 pK = 10⁻¹² K). Radiative efficiencies for CH₄ and N₂O given in this table do not include chemical adjustments (values including chemical adjustments are given in Table 7.15). For SF₆ the assessed lifetime from Section 2.2.4.3 is used, all other lifetimes are taken from Hodnebrog et al. (2020).

Name	Formula	Lifetime (yr)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	AGWP-20 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP-20	AGWP-100 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP-100	AGWP-500 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP-500	AGTP-50 (pK kg ⁻¹)	GTP-50	AGTP-100 (pK kg ⁻¹)	GTP-100	CGTP-50 (yr)	CGTP-100 (yr)
Major Greenhouse Gases															
Carbon dioxide	CO ₂		1.33 × 10 ⁻⁵	0.0243	1	0.0895	1	0.314	1	0.000428	1	0.000395	1		
Methane ¹	CH ₄	11.8	0.000388	1.98	81.2	2.49	27.9	2.5	7.95	0.00473	11	0.00212	5.38	2730	3320
Nitrous oxide	N ₂ O	109	0.0032	6.65	273	24.5	273	40.7	130	0.124	290	0.0919	233		
Chlorofluorocarbons															
CFC-11	CCl ₃ F	52	0.291	203	8320	557	6230	657	2090	2.72	6350	1.40	3540		
CFC-12	CCl ₂ F ₂	102	0.358	310	12700	1120	12500	1790	5700	5.67	13300	4.10	10400		
CFC-13	CClF ₃	640	0.278	301	12400	1450	16200	5500	17500	7.26	17000	7.4	18800		
CFC-112	CCl ₂ FCCl ₂ F	63.6	0.282	137	5620	413	4620	525	1670	2.06	4810	1.19	3020		
CFC-112a	CCl ₂ CClF ₂	52	0.246	115	4740	317	3550	374	1190	1.55	3620	0.795	2010		
CFC-113	CCl ₃ FCClF ₂	93	0.301	167	6860	583	6520	890	2830	2.96	6910	2.06	5210		
CFC-113a	CCl ₃ CF ₃	55	0.241	124	5110	351	3930	422	1350	1.73	4030	0.917	2320		
CFC-114	CClF ₃ CClF ₂	189	0.314	201	8260	844	9430	1930	6150	4.28	9990	3.71	9410		
CFC-114a	CCl ₂ FCF ₃	105	0.297	183	7510	664	7420	1080	3450	3.37	7880	2.46	6240		
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	540	0.246	180	7410	859	9600	3100	9880	4.3	10100	4.33	11000		
E-R316c	trans cyc (-CClFCF ₂ CF ₂ CClF-)	75	0.27	117	4810	379	4230	518	1650	1.91	4450	1.2	3040		
Z-R316c	cis cyc (-CClFCF ₂ CF ₂ CClF-)	114	0.3	136	5590	507	5660	865	2760	2.57	6020	1.94	4910		
CFC 1112	CClF=CClF	0.019	0.013	0.0111	0.454	0.0113	0.126	0.0113	0.036	1.18 × 10 ⁻⁶	0.028	8.96 × 10 ⁻⁶	0.023	12.9	15.3
CFC 1112a	CCl ₂ =CF ₂	0.006	0.007	0.00184	0.076	0.00188	0.021	0.00188	0.006	1.97 × 10 ⁻⁶	0.005	1.49 × 10 ⁻⁶	0.004	2.16	2.55
Hydrofluorochlorocarbons															
HCFC-21	CHCl ₂ F	1.7	0.145	14	575	14.3	160	14.3	45.6	0.0152	35.5	0.0114	29	16300	19400
HCFC-22	CHClF ₂	11.9	0.214	139	5690	175	1960	176	560	0.336	785	0.15	379	192000	234000
HCFC-31	CH ₂ ClF	1.2	0.068	6.96	286	7.11	79.4	7.11	22.6	0.00752	17.6	0.00567	14.4	8130	9630

EK-B : IPCC NCV DEĞERLERİ

Şekil B.1: Kullanılan Yakıtların Net Kalorifik Değerleri.

TABLE 1.2

DEFAULT NET CALORIFIC VALUES (NCVs) AND LOWER AND UPPER LIMITS OF THE 95% CONFIDENCE INTERVALS ¹

Fuel type English description		Net calorific value (TJ/Gg)	Lower	Upper
Crude Oil		42.3	40.1	44.8
Orimulsion		27.5	27.5	28.3
Natural Gas Liquids		44.2	40.9	46.9
Gasoline	Motor Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Aviation Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Jet Gasoline	44.3	42.5	44.8
Jet Kerosene		44.1	42.0	45.0
Other Kerosene		43.8	42.4	45.2
Shale Oil		38.1	32.1	45.2
Gas/Diesel Oil		43.0	41.4	43.3
Residual Fuel Oil		40.4	39.8	41.7
Liquefied Petroleum Gases		47.3	44.8	52.2
Ethane		46.4	44.9	48.8
Naphtha		44.5	41.8	46.5
Bitumen		40.2	33.5	41.2
Lubricants		40.2	33.5	42.3
Petroleum Coke		32.5	29.7	41.9
Refinery Feedstocks		43.0	36.3	46.4
Other Oil	Refinery Gas ²	49.5	47.5	50.6
	Paraffin Waxes	40.2	33.7	48.2
	White Spirit and SBP	40.2	33.7	48.2
	Other Petroleum Products	40.2	33.7	48.2
Anthracite		26.7	21.6	32.2
Coking Coal		28.2	24.0	31.0
Other Bituminous Coal		25.8	19.9	30.5
Sub-Bituminous Coal		18.9	11.5	26.0
Lignite		11.9	5.50	21.6
Oil Shale and Tar Sands		8.9	7.1	11.1
Brown Coal Briquettes		20.7	15.1	32.0
Patent Fuel		20.7	15.1	32.0
Coke	Coke Oven Coke and Lignite Coke	28.2	25.1	30.2
	Gas Coke	28.2	25.1	30.2
Coal Tar ³		28.0	14.1	55.0
Derived Gases	Gas Works Gas ⁴	38.7	19.6	77.0
	Coke Oven Gas ⁵	38.7	19.6	77.0
	Blast Furnace Gas ⁶	2.47	1.20	5.00
	Oxygen Steel Furnace Gas ⁷	7.06	3.80	15.0
Natural Gas		48.0	46.5	50.4
Municipal Wastes (non-biomass fraction)		10	7	18
Industrial Wastes		NA	NA	NA
Waste Oil ⁸		40.2	20.3	80.0
Peat		9.76	7.80	12.5

Tez içerisinde kullanılan değerler renklendirilmiştir.

EK-C: ENERJİ KAYNAKLARININ YOĞUNLUĞU

Şekil C.1: Kullanılan Yakıtların Yoğunluğu.

Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1 ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1 ton	Briket		5.000.000	kCal	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1 ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1 ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1 ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1 ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1 ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1 ton	Odun		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1 ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1 ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1 ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin m ³	Doğal Gaz	0.670 Kg/m ³	8.250.000	kCal	0.825
1 ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin m ³	Kok Gazı	0.490 Kg/m ³	4.028.000	kCal	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin m ³	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m ³	690.000	kCal	0.069
bin m ³	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0.150
bin m ³	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin m ³	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin m ³	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1 ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin m ³	LPG	2.477 Kg/m ³	27.000.000	kCal	2.700
bin kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.086

EK-D: IPCC YAKIT EMİSYON FAKTÖRLERİ

Şekil D.1: Şirkete Ait Araçlarda Kullanılan Yakıtların CO₂ Emisyon Faktörleri.

TABLE 3.2.1 ROAD TRANSPORT DEFAULT CO ₂ EMISSION FACTORS AND UNCERTAINTY RANGES ^a			
Fuel Type	Default (kg/TJ)	Lower	Upper
Motor Gasoline	69 300	67 500	73 000
Gas/ Diesel Oil	74 100	72 600	74 800
Liquefied Petroleum Gases	63 100	61 600	65 600
Kerosene	71 900	70 800	73 700
Lubricants ^b	73 300	71 900	75 200
Compressed Natural Gas	56 100	54 300	58 300
Liquefied Natural Gas	56 100	54 300	58 300
Source: Table 1.4 in the Introduction chapter of the Energy Volume. Notes: ^a Values represent 100 percent oxidation of fuel carbon content. ^b See Box 3.2.4 Lubricants in Mobile Combustion for guidance for uses of lubricants.			

Şekil D.2: Şirkete Ait Araçlarda Yakıtlara Göre CH₄ ve N₂O Emisyon Faktörleri.

TABLE 3.2.2 ROAD TRANSPORT N ₂ O AND CH ₄ DEFAULT EMISSION FACTORS AND UNCERTAINTY RANGES ^(a)						
Fuel Type/Representative Vehicle Category	CH ₄ (kg /TJ)			N ₂ O (kg /TJ)		
	Default	Lower	Upper	Default	Lower	Upper
Motor Gasoline -Uncontrolled ^(b)	33	9.6	110	3.2	0.96	11
Motor Gasoline –Oxidation Catalyst ^(c)	25	7.5	86	8.0	2.6	24
Motor Gasoline –Low Mileage Light Duty Vehicle Vintage 1995 or Later ^(d)	3.8	1.1	13	5.7	1.9	17
Gas / Diesel Oil ^(e)	3.9	1.6	9.5	3.9	1.3	12
Natural Gas ^(f)	92	50	1 540	3	1	77
Liquified petroleum gas ^(g)	62	na	na	0.2	na	na
Ethanol, trucks, US ^(h)	260	77	880	41	13	123
Ethanol, cars, Brazil ⁽ⁱ⁾	18	13	84	na	na	na

Şekil D.3: Şirketin Kiraladığı Forkliftin (off-road) CH₄ ve N₂O Emisyon Faktörleri.

TABLE 3.3.1 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR OFF-ROAD MOBILE SOURCES AND MACHINERY ^(a)									
	CO ₂			CH ₄ ^(b)			N ₂ O ^(c)		
Off-Road Source	Default (kg/TJ)	Lower	Upper	Default (kg/TJ)	Lower	Upper	Default (kg/TJ)	Lower	Upper
Diesel									
Agriculture	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Forestry	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Industry	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Household	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Motor Gasoline 4-stroke									
Agriculture	69 300	67 500	73 000	80	32	200	2	1	6
Forestry	69 300	67 500	73 000						
Industry	69 300	67 500	73 000	50	20	125	2	1	6
Household	69 300	67 500	73 000	120	48	300	2	1	6
Motor Gasoline 2-Stroke									
Agriculture	69 300	67 500	73 000	140	56	350	0.4	0.2	1.2
Forestry	69 300	67 500	73 000	170	68	425	0.4	0.2	1.2
Industry	69 300	67 500	73 000	130	52	325	0.4	0.2	1.2
Household	69 300	67 500	73 000	180	72	450	0.4	0.2	1.2
Source: EEA 2005.									

Tez içerisinde kullanılan veriler renklendirilmiştir.

EK-E: GHG PROTOKOLÜ EMİSYON FAKTÖRLERİ

Şekil E.1: Hammaddelerin Nakliyesinde Kullanılan Emisyon Faktörleri .

An error was identified in rounding Diesel conversion factors, reducing them to zero. kg CO₂e of CH₄ per unit in km have been updated to non-zero values since version 1.0 of this file.

Activity	Type	Unit	Diesel				Petrol				CNG		
			kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit
Vans	Class I (up to 1.305 tonnes)	tonne.km	0,85353	0,84432	0,00002	0,00919	1,17394	1,17016	0,00143	0,00235			
		km	0,15356	0,15191	0,000005	0,00165	0,20071	0,20000	0,00027	0,00044			
		miles	0,24716	0,24448	0,00001	0,00267	0,32299	0,32186	0,00043	0,00070			
	Class II (1.305 to 1.74 tonnes)	tonne.km	0,61153	0,60584	0,00001	0,00568	0,82739	0,82483	0,00097	0,00159			
		km	0,18832	0,18667	0,000005	0,00165	0,21709	0,21638	0,00027	0,00044			
		miles	0,30309	0,30041	0,00001	0,00267	0,34936	0,34823	0,00043	0,00070			
	Class III (1.74 to 3.5 tonnes)	tonne.km	0,61363	0,60992	0,00001	0,00370	0,86252	0,86078	0,00066	0,00108			
		km	0,27365	0,27200	0,000005	0,00165	0,34923	0,34852	0,00027	0,00044			
		miles	0,44042	0,43774	0,00001	0,00267	0,56201	0,56088	0,00043	0,00070			
	Average (up to 3.5 tonnes)	tonne.km	0,61643	0,61228	0,00001	0,00414	0,81972	0,81732	0,00091	0,00149	0,62197	0,61743	0,00330
		km	0,25023	0,24858	0,000005	0,00165	0,22095	0,22024	0,00027	0,00044	0,25120	0,24938	0,00132
		miles	0,40273	0,40005	0,00001	0,00267	0,35558	0,35445	0,00043	0,00070	0,40426	0,40134	0,00212

Şekil E.2: Hammaddelerin Nakliyesinde Kullanılan Tırların Emisyon Faktörleri.

Activity	Type	Unit	0% Laden				50% Laden				100% Laden				Average laden		
			kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit
HGV (all diesel)	Rigid (>3.5 - 7.5 tonnes)	tonne.km					0.43990	0.43485	0.00010	0.00495	0.23736	0.23482	0.00006	0.00248	0.50546	0.49997	0.00011
		km	0.45380	0.44837	0.00011	0.00532	0.49279	0.48736	0.00011	0.00532	0.53178	0.52635	0.00011	0.00532	0.48733	0.48190	0.00011
		miles	0.73031	0.72158	0.00018	0.00855	0.79306	0.78433	0.00018	0.00855	0.85580	0.84707	0.00018	0.00855	0.78427	0.77554	0.00018
	Rigid (>7.5 tonnes-17 tonnes)	tonne.km					0.26206	0.25945	0.00006	0.00255	0.14724	0.14594	0.00002	0.00128	0.38023	0.37640	0.00008
		km	0.54426	0.53765	0.00013	0.00648	0.62106	0.61445	0.00013	0.00648	0.69787	0.69126	0.00013	0.00648	0.59495	0.58834	0.00013
		miles	0.87591	0.86526	0.00022	0.01043	0.99952	0.98887	0.00022	0.01043	1.12313	1.11248	0.00022	0.01043	0.95749	0.94684	0.00022
	Rigid (>17 tonnes)	tonne.km					0.20077	0.19841	0.00004	0.00232	0.11824	0.11706	0.00002	0.00116	0.15398	0.15193	0.00004
		km	0.74987	0.73906	0.00022	0.01059	0.91210	0.90129	0.00022	0.01059	1.07433	1.06352	0.00022	0.01059	0.97698	0.96617	0.00022
		miles	1.20681	1.18940	0.00037	0.01704	1.46790	1.45049	0.00037	0.01704	1.72898	1.71157	0.00037	0.01704	1.57231	1.55490	0.00037
	All rigids	tonne.km					0.21412	0.21157	0.00006	0.00249	0.12482	0.12356	0.00002	0.00124	0.17853	0.17620	0.00004
		km	0.66163	0.65256	0.00019	0.00888	0.78719	0.77812	0.00019	0.00888	0.91274	0.90367	0.00019	0.00888	0.82657	0.81750	0.00019
		miles	1.06479	1.05020	0.00030	0.01429	1.26685	1.25226	0.00030	0.01429	1.46891	1.45432	0.00030	0.01429	1.33023	1.31564	0.00030
	Articulated (>3.5 - 33t)	tonne.km					0.11303	0.11111	0.00002	0.00190	0.06763	0.06667	0.00001	0.00095	0.11311	0.11111	0.00002
		km	0.61558	0.60337	0.00012	0.01209	0.76642	0.75421	0.00012	0.01209	0.81726	0.80505	0.00012	0.01209	0.76642	0.75421	0.00012
		miles	0.99065	0.97102	0.00019	0.01944	1.23341	1.21378	0.00019	0.01944	1.47616	1.45653	0.00019	0.01944	1.23341	1.21378	0.00019
	Articulated (>33t)	tonne.km					0.09294	0.09135	0.00001	0.00158	0.05789	0.05709	0.00001	0.00079	0.07447	0.07321	0.00001
		km	0.63238	0.61785	0.00015	0.01438	0.83833	0.82380	0.00015	0.01438	1.04428	1.02975	0.00015	0.01438	0.91247	0.89794	0.00015
		miles	1.01770	0.99434	0.00022	0.02314	1.34914	1.32578	0.00022	0.02314	1.68059	1.65723	0.00022	0.02314	1.46846	1.44510	0.00022
	All artics	tonne.km					0.09346	0.09186	0.00001	0.00159	0.05814	0.05734	0.00001	0.00079	0.07547	0.07419	0.00001
		km	0.63162	0.61719	0.00015	0.01428	0.83506	0.82063	0.00015	0.01428	1.03849	1.02406	0.00015	0.01428	0.90581	0.89138	0.00015
		miles	1.01648	0.99327	0.00022	0.02299	1.34388	1.32067	0.00022	0.02299	1.67128	1.64807	0.00022	0.02299	1.45775	1.43454	0.00022
	All HGVs	tonne.km					0.11926	0.11746	0.00002	0.00178	0.07240	0.07150	0.00001	0.00089	0.09752	0.09601	0.00002
		km	0.64392	0.63181	0.00016	0.01195	0.81517	0.80306	0.00016	0.01195	0.98641	0.97430	0.00016	0.01195	0.87296	0.86085	0.00016
		miles	1.03629	1.01680	0.00026	0.01923	1.31188	1.29239	0.00026	0.01923	1.58748	1.56799	0.00026	0.01923	1.40489	1.38540	0.00026

Şekil E.3: Hammaddelerin Nakliyesinde Kullanılan Soğutmalı Tırın Emisyon Faktörleri.

Activity	Type	Unit	0% Laden				50% Laden				100% Laden			
			kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit
HGV refrigerated (all diesel)	Rigid (>3.5 - 7.5 tonnes)	tonne.km					0.52382	0.51877	0.00010	0.00495	0.28268	0.28014	0.00006	0.00248
		km	0.54033	0.53490	0.00011	0.00532	0.58684	0.58141	0.00011	0.00532	0.63336	0.62793	0.00011	0.00532
		miles	0.86957	0.86084	0.00018	0.00855	0.94442	0.93569	0.00018	0.00855	1.01928	1.01055	0.00018	0.00855
	Rigid (>7.5 tonnes-17 tonnes)	tonne.km					0.31213	0.30952	0.00006	0.00255	0.17541	0.17411	0.00002	0.00128
		km	0.64802	0.64141	0.00013	0.00648	0.73965	0.73304	0.00013	0.00648	0.83128	0.82467	0.00013	0.00648
		miles	1.04290	1.03225	0.00022	0.01043	1.19036	1.17971	0.00022	0.01043	1.33783	1.32718	0.00022	0.01043
	Rigid (>17 tonnes)	tonne.km					0.23906	0.23670	0.00004	0.00232	0.14083	0.13965	0.00002	0.00116
		km	0.89250	0.88169	0.00022	0.01059	1.08604	1.07523	0.00022	0.01059	1.27958	1.26877	0.00022	0.01059
		miles	1.43635	1.41894	0.00037	0.01704	1.74783	1.73042	0.00037	0.01704	2.05930	2.04189	0.00037	0.01704
	All rigid	tonne.km					0.25495	0.25240	0.00006	0.00249	0.14867	0.14741	0.00002	0.00124
		km	0.78757	0.77850	0.00019	0.00888	0.93736	0.92829	0.00019	0.00888	1.08715	1.07808	0.00019	0.00888
		miles	1.26746	1.25287	0.00030	0.01429	1.50852	1.49393	0.00030	0.01429	1.74959	1.73500	0.00030	0.01429
	Articulated (>3.5 - 33t)	tonne.km					0.13078	0.12886	0.00002	0.00190	0.07827	0.07731	0.00001	0.00095
		km	0.71193	0.69972	0.00012	0.01209	0.88686	0.87465	0.00012	0.01209	1.06179	1.04958	0.00012	0.01209
		miles	1.14572	1.12609	0.00019	0.01944	1.42725	1.40762	0.00019	0.01944	1.70877	1.68914	0.00019	0.01944
	Articulated (>33t)	tonne.km					0.10753	0.10594	0.00001	0.00158	0.06701	0.06621	0.00001	0.00079
		km	0.73105	0.71652	0.00015	0.01438	0.96989	0.95536	0.00015	0.01438	1.20873	1.19420	0.00015	0.01438
		miles	1.17649	1.15313	0.00022	0.02314	1.56087	1.53751	0.00022	0.02314	1.94524	1.92188	0.00022	0.02314
	All artic	tonne.km					0.10813	0.10653	0.00001	0.00159	0.06730	0.06650	0.00001	0.00079
		km	0.73018	0.71575	0.00015	0.01428	0.96611	0.95168	0.00015	0.01428	1.20203	1.18760	0.00015	0.01428
		miles	1.17511	1.15190	0.00022	0.02299	1.55479	1.53158	0.00022	0.02299	1.93447	1.91126	0.00022	0.02299
	All HGVs	tonne.km					0.13964	0.13784	0.00002	0.00178	0.08481	0.08391	0.00001	0.00089
		km	0.75351	0.74140	0.00016	0.01195	0.95446	0.94235	0.00016	0.01195	1.15542	1.14331	0.00016	0.01195
		miles	1.21266	1.19317	0.00026	0.01923	1.53606	1.51657	0.00026	0.01923	1.85946	1.83997	0.00026	0.01923

Şekil E.4: İş Seyahatlerinde Uçuş Kaynaklı EF.

Activity	Haul	Class	Unit	With RF				Without RF		
				kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄ per unit	kg CO ₂ e of N ₂ O per unit	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e of CO ₂ per unit	kg CO ₂ e of CH ₄
Flights	Domestic, to/from UK	Average passenger	passenger.km	0,27257	0,27101	0,00022	0,00134	0,16098	0,15942	0,000
		Average passenger	passenger.km	0,18592	0,18499	0,00001	0,00092	0,10974	0,10881	0,000
	Short-haul, to/from UK	Economy class	passenger.km	0,18287	0,18196	0,00001	0,00090	0,10794	0,10703	0,000
		Business class	passenger.km	0,27430	0,27294	0,00001	0,00135	0,16191	0,16055	0,000
	Long-haul, to/from UK	Average passenger	passenger.km	0,26128	0,25998	0,00001	0,00129	0,15423	0,15293	0,000
		Economy class	passenger.km	0,20011	0,19911	0,00001	0,00099	0,11812	0,11712	0,000
		Premium economy class	passenger.km	0,32015	0,31857	0,00001	0,00157	0,18897	0,18739	0,000
		Business class	passenger.km	0,58028	0,57741	0,00002	0,00285	0,34252	0,33965	0,000
		First class	passenger.km	0,80040	0,79643	0,00003	0,00394	0,47246	0,46849	0,000
		Average passenger	passenger.km	0,17580	0,17493	0,00001	0,00086	0,10377	0,10290	0,000
	International, to/from non-UK	Economy class	passenger.km	0,13465	0,13397	0,00001	0,00067	0,07948	0,07880	0,000
		Premium economy class	passenger.km	0,21542	0,21435	0,00001	0,00106	0,12716	0,12609	0,000
		Business class	passenger.km	0,39044	0,38850	0,00002	0,00192	0,23047	0,22853	0,000
		First class	passenger.km	0,53854	0,53587	0,00002	0,00265	0,31789	0,31522	0,000

Şekil E.5: İş Seyahatlerinde Konaklama Kaynaklı EF.

Hotel stay	France	Room per night	6,70000
	Germany	Room per night	13,20000
	Greece	Room per night	
	Hong Kong, China	Room per night	51,50000
	India	Room per night	58,90000
	Indonesia	Room per night	62,70000
	Ireland	Room per night	
	Israel	Room per night	
	Italy	Room per night	14,30000
	Japan	Room per night	39,00000
	Jordan	Room per night	68,90000
	Kazakhstan	Room per night	
	Korea	Room per night	55,80000
	Macau, China	Room per night	
	Malaysia	Room per night	61,50000
	Maldives	Room per night	152,20000
	Mexico	Room per night	19,30000

Şekil E.6: Su Kullanımı EF.

Activity	Type	Unit	kg CO ₂ e
Water supply	Water supply	cubic metres	0,15311
		million litres	153,10865

Şekil E.7: Atık Su EF.

Activity	Type	Unit	kg CO ₂ e
Water treatment	Water treatment	cubic metres	0,18574
		million litres	185,74120