

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KARBON AYAK İZİ
HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜMEYYE IŞIK

DENİZLİ, HAZİRAN - 2023

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KARBON AYAK İZİ
HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜMEYYE IŞIK

DENİZLİ, HAZİRAN - 2023

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

SÜMEYYE IŞIK

ÖZET

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SÜMEYYE IŞIK
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ABDULLAH AKDOĞAN)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2023

Dünya nüfusu arttıkça doğal kaynakların tüketilmesi, enerjiye olan ihtiyaç ve fosil yakıt tüketimi artmıştır. Bu artış sonucunda da doğal yaşam döngüsünün bozulması, atmosferde sera gazlarının artması gibi doğada çeşitli olumsuz etkiler ortaya çıkmıştır. Bu etkiler yeryüzü yaşamını olumsuz etkileyen küresel ısınmayı doğurmuştur. Küresel ısınma sonucunda iklimler değişmekte ve bu durum doğal hayatı olumsuz etkilemektedir. Dünya ülkeleri birleşerek küresel ısınmanın dünyaya verdiği etkiyi belirlemek, bu etkilerin düzeyini hesaplamak, değerlendirmelerde bulunmak ve etkilerini minimuma indirmek için bir dizi çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar; enerji tüketen, karbon emisyonu gerçekleştiren faaliyetlerin belirlenmesi, karbon emisyon miktarlarının hesaplanması ve iyileştirme çalışmalarını içermektedir. Tekstil sektörü de dünya genelinde karbon emisyonu yapan önemli sektörlerden biridir. Tekstil sektöründe üretilen ürünler pek çok sektörde kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinin üretimine ait proseslerde atmosfere çeşitli gazlar salınmaktadır. Bu gazlar sera gazı emisyonuna neden olan gazları da içermektedir. Sera gazı emisyonuna neden olan bu gazların etkisi “karbon ayak izi” hesaplaması ile ölçülebilmektedir. Çalışma kapsamında haşıl, dokuma ve konfeksiyon üretim süreçlerinin bulunduğu tekstil ürünleri üreten bir tekstil fabrikasında karbon ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu proseslerde Tier metodu ile havaya verilen sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, atmosfere verilen karbon ayak izi miktarı 1,43 ton CO₂e/ton üründür.

ANAHTAR KELİMELEER: KARBON AYAK İZİ, SERA GAZLARI, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

ABSTRACT

CALCULATION OF CARBON FOOTPRINT IN TEXTILE INDUSTRY

MSC THESIS

SÜMEYYE IŞIK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CHEMISTRY ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. ABDULLAH AKDOĞAN)

DENİZLİ, JUNE 2023

As the world population increases, the consumption of natural resources, the need for energy and the consumption of fossil fuels have increased. As a result of this increase, various negative effects have emerged in nature such as the deterioration of the natural life cycle and the increase of greenhouse gases in the atmosphere. These effects have led to global warming, which negatively affects the life of the earth. As a result of global warming, climates are changing and this situation negatively affects natural life. The countries of the world are working together to determine the effect of global warming on the world, to calculate the level of these effects, to make evaluations and to minimize their effects. These studies; It includes the determination of activities that consume energy and produce carbon emissions, the calculation of carbon emission amounts and improvement studies. The textile sector is one of the important sectors that emit carbon emissions worldwide. The products produced in the textile sector are used in many sectors. Various gases are released to the atmosphere in the processes of the production of textile products. These gases also include gases that cause greenhouse gas emissions. The effect of these gases, which cause greenhouse gas emissions, can be measured with the "carbon footprint" calculation. Within the scope of the study, carbon footprint calculations were carried out in a textile factory that produces textile products with sizing, weaving and apparel production processes. In these processes, greenhouse gas emissions to the air were calculated with the Tier method. According to the findings, the amount of carbon footprint given to the atmosphere is 1.43 tons CO₂e/ton product.

KEYWORDS: CARBON FOOTPRINT, GREENHOUSE GASES, CLIMATE CHANGE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. SERA GAZLARI.....	3
2.1 2021 Sera Gazı Emisyon Verileri.....	7
3. KARBON AYAK İZİ.....	9
3.1 Küresel Isınma Potansiyeli ve Karbondioksit Eşdeğeri	10
3.2 Sera Gazı Emisyon Kaynaklarının Belirlenmesi	10
3.2.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 1)	11
3.2.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 2)	11
3.2.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 3).....	11
3.3 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Metodolojisi.....	12
3.3.1 IPCC Tier Yaklaşımları	13
3.3.1.1 Tier 1 Yaklaşımı.....	13
3.3.1.2 Tier 2 ve Tier 3 Yaklaşımları	15
3.4 İklim Değişikliğine Karşı Yapılan Uluslararası Çalışmalar	16
3.4.1 Montreal Protokolü	16
3.4.2 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli	17
3.4.3 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	17
3.4.4 Kyoto Protokolü.....	18
3.4.5 Paris Anlaşması.....	19
3.4.6 AB Yeşil Mutabakatı	20
3.5 Literatür Özeti	22
4. YÖNTEM VE HESAPLAMALAR	26
4.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 1).....	28
4.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 2).....	31
4.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 3).....	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	34
6. KAYNAKLAR.....	40
7. ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sera etkisi.....	3
Şekil 2.2: Sera gazı oranları ve sıcaklık değişimleri.....	4
Şekil 2.3: 1990-2021 yılları arası toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu.....	8
Şekil 3.1: Karbon ayak izi.....	9
Şekil 3.2: Emisyon kapsamları.....	11
Şekil 5.1: Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri.....	35
Şekil 5.2: Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri.....	36
Şekil 5.3: Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri.....	37
Şekil 5.4: Kapsamlara göre karbon ayak izi yüzdeleri.....	38

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Yakıt türlerine ait alt ısıl değerler.....	14
Tablo 3.2: Yakıt türlerine ait emisyon faktörleri.....	14
Tablo 3.3: Küresel ısınma potansiyelleri.....	15
Tablo 4.1: Faaliyet verileri.....	27
Tablo 4.2: Emisyon faktörleri.....	27
Tablo 4.3: Dizel ve benzin yakıtlarına ait yoğunluk değerleri.....	27
Tablo 5.1: Kapsamlara göre sera gaz emisyon kaynakları.....	34
Tablo 5.2: Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi miktarları.....	35
Tablo 5.3: Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi miktarları.....	36
Tablo 5.4: Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi miktarları.....	37
Tablo 5.5: Kapsamlara göre karbon ayak izi miktarları.....	38

SEMBOL LİSTESİ

CO₂e	: Karbondioksit eşdeğeri
EF	: Emisyon faktörü
CH₄	: Metan
N₂O	: Diazot monooksit
g	: Gram
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
m	: Metre
Kwh	: Kilowatt-hour
GJ	: Gigajoule
TJ	: Terajoule

KISALTMALAR LİSTESİ

UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
GWP	: Küresel Isınma Potansiyelleri
COP 3	: 3. Taraflar Konferansı
COP	: Taraflar Konferansı
COP 7	: 7. Taraflar Konferansı
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
INDC	: Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı
GHG	: Sera Gazı Emisyonu
SKD	: Sınırdaki Karbon Düzenleme
ETS	: Emisyon Ticaret Sistemi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin her döneminde kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, araştırma konumun seçiminden savunmama kadar araştırmanın her seviyesinde bana yol gösteren, her konuda desteğini esirgemeyen ve teşvik eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah AKDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimime devamım için beni sürekli teşvik eden müdürüm Alper Kemal ÇİMEN'e, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, kariyerim için bana yol göstericisi olan arkadaşım Makine Mühendisi Taner TAHTALLI'ya, her zaman yanımda olan mesai arkadaşım Elektrik-Elektronik Mühendisi Gülsüm MENTEŞ'e vermiş oldukları destekler için teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her türlü fedakarlığı yapan, her an benim yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan annem İlknur IŞIK, babam Ahmet IŞIK ve kardeşim Emre Samet IŞIK'a, desteğini ve sabrını benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili nişanlım Sinan KIROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

İnsanlar doğumundan günümüze kadar çevresinde olan olaylardan etkilenmiş, yaptıkları faaliyetlerle çevresini etkilemiş, çevrenin bozulmasına ve çevre kirliliğine neden olmuştur (Türkay, 2018). Üretim faaliyetlerinin sonucunda ekosistem üzerinde biriken kirlilik artmış ve ekosistem olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. Fosil yakıtların bilinçsizce kullanılması sonucu ortaya çıkan sera gazları sonucu yeryüzünün karbon adsorpsiyonu azalmış, sonucunda da atmosferde sıcaklık artışına neden olmuştur. Fosil yakıtların ihmalkâr kullanımı sonucu ortaya çıkan karbondioksit, tarım faaliyetleri sonucu oluşan metan ve diğer endüstri gazlarının atmosfer yüzeyindeki seviyesinin yükselmesi ile atmosferdeki sıcaklıklar da yükselmiştir. İnsanoğlu, yıllar içinde geliştirdiği bilim ile yaşam standartlarını daha iyi hale getirmeyi başarmıştır. Bu süre zarfında doğa daima en olumsuz etkilenen sistem olmuştur. Atmosferde bulunan sera gazlarının düzeyinin artması ile küresel ısınma artmış ve dünyanın doğal dengesi her geçen gün bozulmaktadır.

Bir ürünün hammadde temininden başlayarak, işlenmesi, üretilmesi, kullanılması ve kullanımından sonra bertarafına kadar tüm süreçleri kapsayan, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevresine verdiği etkilerin hesaplanması, ölçümünün ve raporunun yapılması “Karbon Ayak İzi Hesabı” ile gerçekleştirilmektedir (Bak, 2019).

Doğayı kurtarmak adına iyi bir hayat için ülkeler çeşitli anlaşmalar imzalayarak sera gazı emisyonlarının azaltılması için uluslararası planlar yapmışlardır. Bu planlar: Montreal Protokolü, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması, AB Yeşil Mutabakatı'dır. Bu çalışmalarla dünyanın durumunun kötüleşmemesi için alınabilecek önlemler gündeme gelmiştir.

Karbon ayak izi kelimesi son yıllarda bilim dünyasında bilinen bir konu haline gelmiş ve Türkiye de içinde olmak üzere tüm ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin gündemde olması ile karbon ayak izi hesaplamalarına talep artmaktadır. Karbon ayak izi, beşerî faaliyetlerin hayat döngüsü içindeki sera gazı emisyonlarının konumunu yansıtmaktadır. Karbon ayak izi hesaplaması, sera gazı

emisyollarını yönetilmesi için çok önemlidir. Ürün bazlı karbon ayak izi düşük karbon tüketimine fayda sağlar, böylece toplumu düşük karbon salınımına yönlendirmektedir. Tekstil ürünleri için karbon ayak izi hesabı üzerine yapılan çalışmalar, sera gazı emisyonlarının düzenlenmesi, hesaplanması, gerekli karbon bilgilerinin iletilmesinin sağlanması ve uluslararası ticarete kullanılması için çok değerlidir (Doğan, 2019).

İmalat sanayisi kapsamında atmosfere salınan karbon miktarında tekstil sektörü en büyük hacimli sektördür. Tekstil sektörü kapsam olarak en geniş ve ürün çeşitliliği en fazla olan sektörler arasındadır. Ürünün hammaddesinin hasadı ile başlayan süreç, iplik üretilmesi, kumaş örülmesi ve bitmiş ürün işlemleri de dâhil olmak üzere birçok procesten oluşmaktadır. Tüm bu proses aşamaları değerlendirildiğinde tekstil sektörü çevreyi birçok şekilde etkilemektedir (Bak, 2019).

Bu çalışmada, Denizli ilinde bir tekstil firmasında Tier Metodu kullanılarak Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır.

2. SERA GAZLARI

Atmosfer, çeşitli gazların karışımından oluşmaktadır. Atmosferin içindeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını absorbe eder ve yeryüzünün ısı kaybetmesini engeller. Havada ısıyı en çok tutabilen gaz karbondioksittir. Atmosfer, ışığı geçirebilir ve ısıyı tutabilir. Atmosferin ısıyı çok iyi tutmasından dolayı suların sıcaklığı dengede kalır. Bunun sonucunda da su kaynaklarının donması engellenir. Atmosferde oluşan ısıtma ve yalıtma etkisi sera etkisi olarak tanımlanabilir. Atmosferde oluşan sera etkisi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Sera etkisi (Kaya, 2017)

Atmosferde ısıyı tutan gazlar, sera gazları olarak tanımlanır. Bazı sera gazları doğal olarak oluşur fakat insan faaliyetlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenir. Diğer sera gazları ise tamamen insanların faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir. Doğal olarak oluşan sera gazlarından bazıları şunlardır:

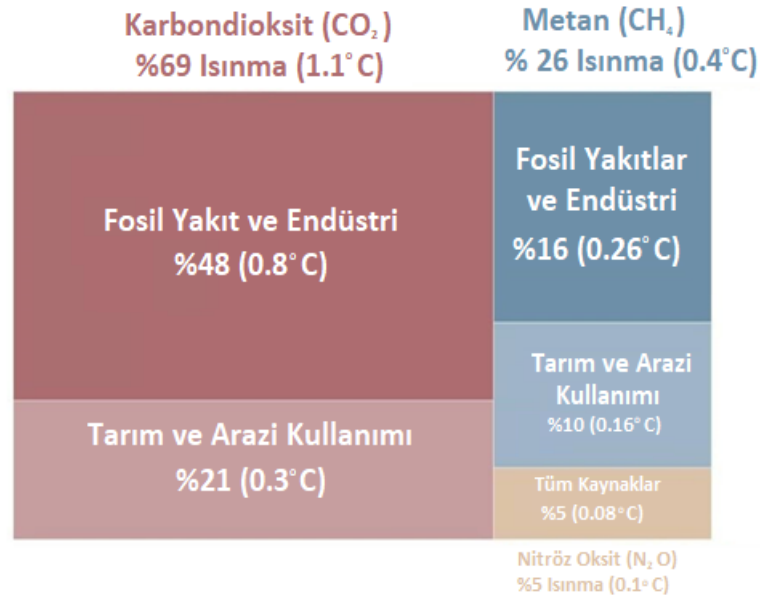
- Su buharı
- Karbondioksit
- Ozon

- Metan
- Nitrit oksit

İnsanların yapmış oldukları faaliyetler sonucu oluşan sera gazları ise şunlardır (Güler, 2018):

- Kloroflorokarbon
- Hidrokloroflorokarbon
- Hidroflorokarbon
- Florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid gazları.

Sanayi devriminden sonra, özellikle fosil yakıtların ve arazinin bilinçsiz kullanımının, ormansızlaşma, sanayileşme gibi insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki sera gazları oranında artış ve sıcaklık değişimleri görülmüştür (Güler, 2018). Sera gazı kaynakları ile ilgili oranlar ve bu oranlar ile ilgili sıcaklık değişimleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Sera gazı kaynakları ve sıcaklık değişimleri (Yeşil büyüme, 2023)

Sera gazlarına aynı zamanda hava kirletici gazlar da denilebilir. Bu gazlar hava kirliliğine neden olmaktadır. Hava kirliliği, atmosferdeki bir ya da daha fazla kirleticinin insan, bitki, hayvan yaşamına ve çevreye zarar vermesi olarak tanımlanabilir (Sağlar, 2019).

Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksitin hava içerisindeki oranı %0 – 0.03 arasındadır. Havadaki oranı düşük olsa da, miktarı ve değişkenliğinden dolayı önemli bir gazdır. Havadaki karbondioksit miktarı kara üzerinde denizdekenden daha fazladır ve karada şehirler civarında özellikle akşamları karbondioksit miktarı yükselir. Çünkü şehirlerde canlı sayılarının fazla olmasından dolayı bacalardan çıkan karbondioksit oranı daha yüksektir. Karbondioksit gazının büyük çoğunluğu fosil yakıtların kullanılmasından dolayı atmosfere karışmaktadır, geri kalan kısmı ise canlıların aktivitelerinden oluşmaktadır.

Bir yandan fosil yakıt kullanımı artarken, diğer yandan ise fotosentez için karbondioksit tüketen yeşil bitkilerin ve bitki planktonların yok olması, atmosferin içeriğindeki karbondioksit miktarını en yüksek düzeye çıkarmıştır. Son yıllarda, atmosfere salınan insan kaynaklı karbondioksit gazının %75'i fosil yakıt kullanılmasından, geri kalanı ise arazilerin bilinçsiz kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Sağlar, 2019).

Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit özellik olarak rengi, kokusu ve tadı olmayan kararlı bir gaz olarak tanımlanabilir ve karbon içerikli yakıtların yanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Karbonmonoksit, bazı yanma etkenleri sonucu karbondioksit yerine meydana gelmektedir. Bu etkenler; oksijen eksikliği, tutuşma sıcaklığı, yüksek sıcaklıkta gazın kalıcılık süresi ve yanma odası türbülansı olarak sıralanabilir. Karbonmonoksit atmosferde 2 aydan fazla kalabilir. Dünyada karbonmonoksit üretiminin yılda toplam 232 milyon ton olduğu göz önüne alınırsa bu miktarın dünya atmosferi için sebep olduğu sorun daha da çok belirgin hale gelmektedir. Dünyadaki karbonmonoksit gazı üretiminin büyük çoğunluğu ulaştırma sektöründen kaynaklandığı bilinmektedir. Buna ek olarak, bütün dünyada karbonmonoksit gazı üretiminin atmosferin alt seviyesinde kalması halinde ise bu kararlı gazın artacağı bilinmektedir (Sağlar, 2019).

Kükürtdioksit (SO₂)

Kükürtdioksit kirleticisinin ana kaynağı kükürt oranı yüksek yağların ve kömürün yakılmasıdır. Kükürtdioksit ayrıca kükürt oranı yüksek bronz ve tuncun

eritilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Kükürt oksitler gaz halindeki hava kirleticileri arasında en çok bilinen hava kirleticilerindendir. Kükürtdioksit gazı yanıcı olmayan, renksiz bir gaz olarak da bilinmektedir. Atmosferde 40 gün civarında kalabilir ve çoğunluk olarak fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkmaktadırlar. Asit ve sülfatlar yağış yolu ile 43 günde atmosferden uzaklaştırılabilmektedir (Sağlar, 2019).

Metan (CH₄)

Metan insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan önemli gazdır ve organik atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Metan gazları; tarlalarda, çiftliklerde, bataklıklarda meydana çıkmaktadır. Metan gazının ömrü 10 yıldır ve molekül başına karbondioksit gazına göre 32 kat daha fazla etki göstermektedir. Metan gazı iklim değişimini %13 oranında etkilemektedir (Özer, 2013).

Azot Oksitler (NO_x)

Nitrik oksit rengi ve kokusu olmayan bir gazdır ve yüksek sıcaklık altında yanarak meydana çıkmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan azot dioksit ise hareketli ve hareketsiz kaynaklardan meydana gelmektedir. Azot dioksite kaynak olarak araçlardan çıkan gazlar, fosil yakıtlar ve organik maddeler örnek verilebilir. Azot oksit ve azot dioksit gazları birleşik değeri olarak NO_x ile temsil edilmektedirler. Atmosferde 1 gün kalabilirler. İklim değişimini %5 oranında etkilemektedir. Atmosfere yıllık 150 milyon ton NO_x'un salındığı bilinmektedir. Bu miktarın yarısı doğal kaynaklardan yarısı da insani faaliyetlerden meydana gelmektedir (Özer, 2013).

Kloroflorokarbon Gazları (CFC-H)

En bilinen kloroflorokarbon gazları CFC-11 ve CFC-12'dir. Bu gazlar için doğal kaynak yoktur ve doğada kendiliğinden oluşmazlar. Atmosferik ömür olarak CFC-11 65 yıl, CFC-12 130 yıldır. Kloroflorokarbon gazlarına yapay kaynak olarak basınçlı gazlar, soğutucu aletler için kullanılan gazlar, bilgisayar temizleme için kullanılan gazlar örnek olarak verilebilir. Kloroflorokarbon gazları iklim değişimini %22 oranında etkilemektedir (Özer, 2013).

Hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar, kömür, petrol gibi fosil yakıtların yanması sonucu ve endüstriyel solventlerden meydana gelmektedirler. Hidrokarbonların doğal kaynakların %5'ini oluşturduğu bilinmektedir. Dünyada sadece bataklıklardan çıkan hidrokarbon emisyon miktarı yılda 2 milyar ton civarındadır. Hidrokarbonların atmosferde kalıcılığı bilinmemektedir (Özer, 2013).

Ozon (O₃)

Ozon, güneş ışığı ile birlikte, atmosferdeki azot oksitler ve uçucu organiklerin kimyasal reaksiyonları sonucu ile meydana gelmektedir. Ayrıca ozon oluşumuna metan ve karbonmonoksit gazları neden olabildiği bilinmektedir (Sağlar, 2019).

Atmosferin alt katmanı olan troposferde ozonun %10'u bulunmaktadır. Hacim olarak ozon ile havanın oranı 1/8'dir. Azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fizikoşimik reaksiyona girmesi atmosferin alt tabakalarındaki ozonun temel başlıca kaynağı olarak kabul edilebilir. Ozon gazı iklim değişikliğini %7 oranında etkilemektedir (Özer, 2013).

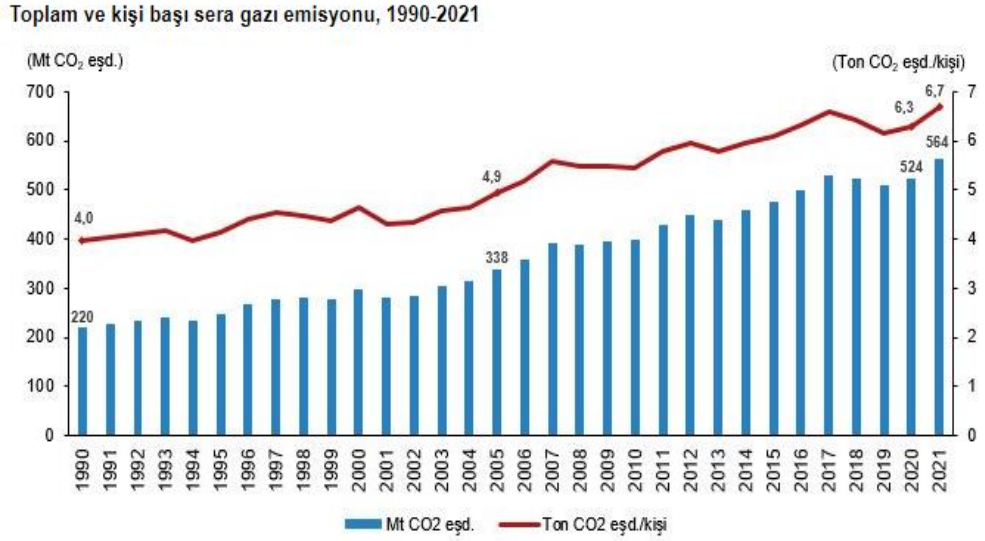
Su Buharı

Su buharının hava içindeki miktarı yer ve zamana göre değişmektedir. Hava içinde nemli tropikal iklimlerde %2–3, orta enlemlerde %1, kutuplarda %0.25 su buharı bulunur. Atmosferde alt tabakalara inildikçe su buharı miktarı artar. Havadaki su buharı hayat için çok önemlidir. Küresel ısınmada sera etkisi bakımından su buharı çok önemlidir. Bulutların olduğu yükseklerdeki atmosfer tabakalarında su buharı bol miktarda bulunur. Bu yüzden güneşten gelen ışınları tutmakta ve yükseklerle yansıtmakta çok etkilidir (Özer, 2013).

2.1 2021 Sera Gazı Emisyon Verileri

Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2021 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO_{2e}, 2020 yılında 6,3 ton CO_{2e} ve

2021 yılında 6,7 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır (TÜİK,2023). Sera gazı emisyon miktarları Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: 1990-2021 yılları arası toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu (TÜİK, 2023)

2021 yılında toplam sera gazı emisyonlarında CO₂e olarak en büyük payı %71,3 ile enerjiden kaynaklanan emisyonlar alırken diğer paylar sırasıyla %13,3 ile endüstri işlemleri ve ürün kullanımından kaynaklanan emisyonlar, %12,8 ile tarımdan kaynaklanan emisyonlar ve %2,6 ile atık sektöründen kaynaklanan emisyonlar takip etmektedir.

2021 yılında karbondioksit emisyonlarının en büyük payı %32,7'si elektrik tüketimi ve ısı üretiminden olmak üzere, %85,2'si enerji sektörü, bu sektörü %14,5 ile endüstri işlemleri ve ürün kullanımı sektörü ve %0,3'ü ise tarım ve atık sektörleri takip etmektedir.

2021 yılında metan emisyonlarının en büyük payı %61,4'ü tarım sektörü olmak üzere, %19,3 ile enerji, %19,3 ile atık ve %0,03'ü endüstri işlemleri ve ürün kullanımı sektörleri takip etmektedir.

2021 yılında diazot monoksit emisyonlarının en büyük payı %78 ile tarım, %11,1 ile enerji, %5,9 ile atık ve %5 ile endüstri işlemleri ve ürün kullanımı sektörleri takip etmektedir (TÜİK, 2023).

3. KARBON AYAK İZİ

Bir canlının ya da bir kurumun yapmış olduğu faaliyetler sonucu atmosfere verdiği sera gazlarının karbondioksit eşdeğeri cinsinden karşılığına karbon ayak izi denir (Ayan, 2019). Karbon ayak izi, kgCO₂e veya tCO₂e cinsinden ölçülebilir (Üreden, 2019). İnsanların beşerî faaliyetleri ile ilgili karbon ayak izi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Karbon ayak izi (Üreden, 2019)

Karbon ayak izi temele inildiğinde iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar doğrudan karbon ayak izi ve dolaylı karbon ayak izi olarak nitelendirilebilir.

Doğrudan karbon ayak izi; Fosil yakıtların tüketilmesi sonucu dolaylı meydana gelen karbondioksit emisyonlarını ifade etmektedir.

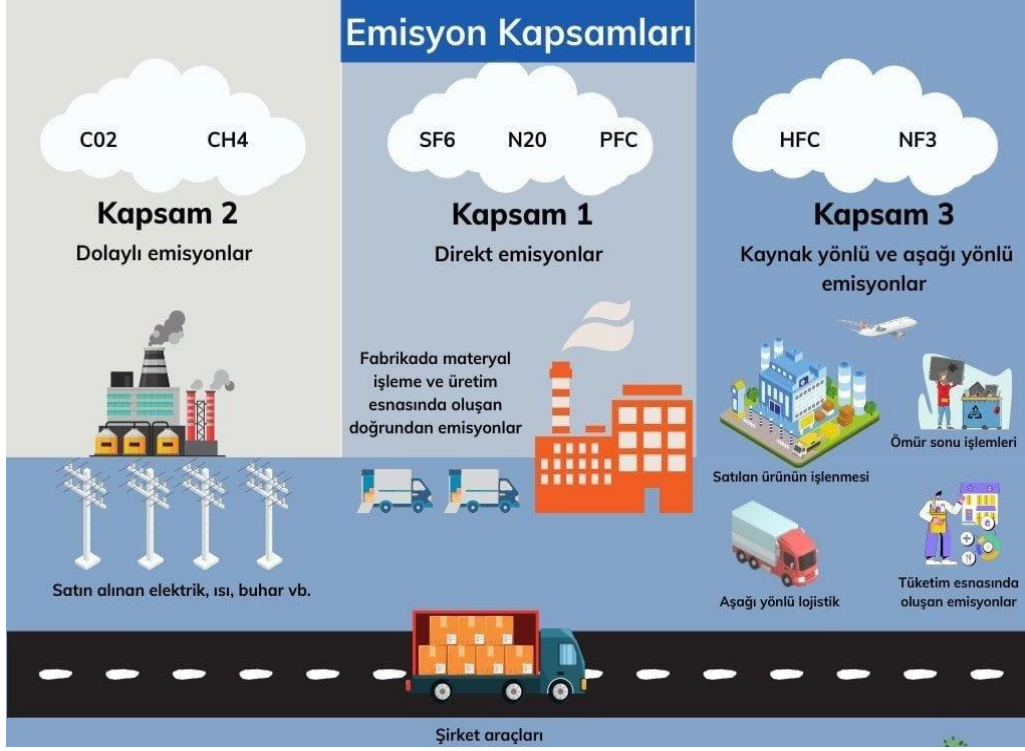
Dolaylı karbon ayak izi; Ürünlerin üretiminden, kullanım ömrü bitene kadar geçen sürede ürünlerin atılacak duruma gelip, hayat döngüsünü bitirdiği ana kadar geçen sürede meydana gelen karbondioksit emisyonudur (Ayan, 2019).

3.1 Küresel Isınma Potansiyeli ve Karbondioksit Eşdeğeri

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (United States Environmental Protection Agency – EPA)’na göre gazların atmosfer içerisinde ısıyı tutabilme kapasitesi ve atmosfer içerisinde kalma sürelerinin karbondioksit ile karşılaştırılarak etkisinin belirlenme katsayısına Küresel Isınma Potansiyeli denir. Küresel Isınma Potansiyeli her bir gaz karbondioksitin ısıyı tutabilme yetisi ve atmosfer içerisinde kalma süresi oranına göre değerlendirilmektedir. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyeli katsayısı 1 olarak kabul edilmektedir. Örnek olarak, metan gazının atmosfer içerisinde kalma süresi 10 yıl kabul edilip karbondioksitten daha düşüktür. Fakat ısı tutma kapasitesi çok daha fazla miktarda olduğu için küresel ısınma potansiyeli karbondioksitin 21 katına eşittir. Böylece gazların atmosfer içerisinde bulunma süreleri ve ısıyı tutabilme kapasitelerine göre karbondioksit gazı baz alınarak hesaplama yapılır ve atmosfere olan etkileri karbondioksit gazı üzerinden ilerleyerek değerlendirilir ve sonucuna da karbondioksit eşdeğeri (CO_{2e}) denir (Balta, 2020).

3.2 Sera Gazı Emisyon Kaynaklarının Belirlenmesi

Sera gazı emisyon hesaplamaları için emisyon kaynaklarının aşağıdaki 3 kapsama göre belirlenmesi gerekmektedir (Balta, 2020). Sera gazı emisyon kapsamaları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Emisyon Kapsamları (Yeşil büyüme, 2023)

3.2.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 1)

İşletme içindeki doğrudan emisyon kaynakları belirlenerek sera gazı emisyonu hesabı yapılmalıdır. Sabit yanmadan kaynaklanan emisyonlar, hareketli yanmadan kaynaklanan emisyonlar, soğutucu gazlardan kaynaklanan emisyonlar ve yangın tüplerinden kaynaklanan kaçak emisyonlar bu kapsamda değerlendirilir (Balta, 2020).

3.2.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 2)

İşletmenin dışarıdan satın almış olduğu elektrik, buhar ve ısı enerjisinden kaynaklanan sera gazı emisyonları bu kapsamda değerlendirilir (Balta, 2020).

3.2.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 3)

Diğer dolaylı sera gazı emisyon kaynaklarında işletmenin doğrudan sera gazı emisyon kaynakları ve enerji dolaylı sera gazı emisyon kaynakları dışında kalan

işletmede üretim ile ilgili faaliyetler sonucunda meydana gelen emisyon kaynakları yer almaktadır. Kapsam 3'te hesabı yapılacak olan sera gazı emisyon kaynakları genel olarak gönüllülük esasına dayanır.

Örnek olarak; kiralık araçlar, bertaraf için gönderilen atıklar, çalışanların iş ve evleri ulaşımında ortaya çıkan emisyonlar (servisler, personel araçları), hammadde ya da birincil malzemelerin dışarıdan bir kuruluş tarafından üretiminden meydana gelen emisyonlar, taşeron ve tedarikçilerden meydana gelen emisyonlar ve iş seyahatlerinden kaynaklanan emisyonlar bu kapsamda değerlendirilir (Balta, 2020).

3.3 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Metodolojisi

1988 yılında Kanada'nın Toronto kentinde tertip edilen "Değişen Atmosfer Konferansı" ardından Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UN Environment Programme-UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization-WMO) birleşerek Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) kurulmuştur. Bu panelin amacı, hükümetlere iklim değişikliği ile ilgili doğru ve nihai bilgileri sağlamaktır.

IPCC, insanların yapmış oldukları faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliği risklerini değerlendirmek üzere kurulmuştur. İklim Değişikliği Değerlendirme Raporlarını, panel bünyesinde çalışan gelişmiş ülkelerden bilim ile ilgili kuruluşlar ve Birleşmiş Milletler'in uzman kuruluşlarından tecrübeli bilim insanları tarafından gerekli bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgileri değerlendirilerek en yeni bilgilerin gözden geçirilmesi yapılarak hazırlanır.

2011 yılından itibaren 194 ülke IPCC üyesi olmuştur. Panele ait ilk rapor 1990 yılında yayınlanmış, son rapor ise 2021 yılında yayınlanmıştır. Panel beş yılda bir düzenli olarak İklim Değişikliği Değerlendirme raporu yayınlamaktadır. Son rapor altıncı değerlendirme raporudur. IPCC'nin yayınladığı raporlar 4 ana gruptan oluşmaktadır.

- a) Değerlendirme Raporları
- b) Özel Raporlar

- c) Yöntem Metotları
- d) BM dışındaki dillerde çeviriler

IPCC, sera gazı hesaplamalarında enerji, endüstri işlemleri, solvent ve diğer ürünlerin kullanımı, tarım, yeryüzü coğrafyasının ve ormanların kullanımı, atıklar ve genel rehberlik ve raporlama başlıklarını kullanmıştır (Türkay, 2018).

3.3.1 IPCC Tier Yaklaşımları

Çeşitli düzeylere ayrılmış emisyon hesaplama metotlarına Tier denir. Düzeyleri belirleyen unsur olarak teknolojik detaylar söylenebilir. Tier 1 yaklaşımı genel olarak bilgi sınırı olan temel bir metottur, Tier 3 yaklaşımı ise Tier 1 yaklaşımı ile kıyaslandığında biraz daha kompleks ve uzmanlık gerektiren bir yaklaşımdır. Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları tüm yönleriyle ele alındığında aralarında bir ayırım yapmak mümkündür. Fakat Tier 1 yaklaşımına göre daha kompleks olarak görünen Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarında da Tier 1 ile aynı yaklaşım yürütülmektedir (Türkay, 2018).

3.3.1.1 Tier 1 Yaklaşımı

Ulaşım sektöründen kaynaklanan tüm emisyon miktarlarının hesabı, yakıtın yanma temeli üzerine kurulmuştur. Tier 1 yaklaşımı, yanma teknolojisi ile ilgilenmez. Örnek olarak, a kadar yakıt tüketilmiş ise bu oranda b kadar emisyon ortaya çıkacağı mantığı ile hesaplamalar yapılmaktadır. Özellikle karbondioksit emisyonunun hesabının yapılabilmesi için Tier 1 yaklaşımının güvenli olduğu düşünülmektedir. Karbondioksit dışında kalan gazlar için kullanılan yöntemde, tüketilen yakıt cinsi, kullanılan aracın yaşı, aracın çalışma şartları, aracın kontrol teknolojisi ve aracın yanma teknolojisi gibi özelliklerden faydalanılmaktadır.

CO₂ emisyonlarının hesabı yapılırken aşağıdaki basamaklar ile ilerlenir:

- İlk olarak, kullanılan yakıtların tüketim miktarı kaydedilir.

- İkinci olarak, kullanılan yakıtların enerji içeriği, tüketim değerleri ile IPCC kılavuzundaki dönüşüm faktörleri çarpılarak hesaplanır. İlk adımda kaydedilen yakıtların tüketim miktarları alt ısıl değerleri ile çarpılarak, enerji birimi olan Terajoule (TJ) değerine geçilir.
- Son olarak, ikinci adımdaki değer emisyon faktörleri ile çarpılarak yakıtların karbondioksit içeriği bulunur (Türkey, 2018).

Yakıt türlerine ait alt ısıl değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Yakıt türlerine ait alt ısıl değerler

Yakıt Türü	Alt Isıl Değer	Kaynak
Doğalgaz	8.100 kcal/m ³	(İGDAŞ, 2017)
Dizel	43 MJ/kg	(Kılıç ve diğ. 2021)
Benzin	44,3 MJ/kg	(Kılıç ve diğ. 2021)

Yakıt türlerine ait emisyon faktörleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Yakıt türlerine ait emisyon faktörleri (Seyhan ve diğ. 2022)

Yakıt Türü	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Doğalgaz	56.100	5	0,1
Dizel	74.100	3,9	3,9
Benzin	69.300	25	8

Anlatılan adımlara ait genel formül Eşitlik 3.3’te gösterilmiştir.

$$\text{Karbondioksit Emisyonu} = \text{Enerji Tüketimi} \times \text{Emisyon Faktörü} \quad (3.3)$$

CH₄ ve N₂O emisyonlarının hesabı yapılırken aşağıdaki basamaklar ile ilerlenir:

- İlk olarak, kullanılan yakıtların tüketim miktarı kaydedilir.
- İkinci olarak, kullanılan yakıtların enerji içeriği, tüketim değerleri ile IPCC kılavuzundaki dönüşüm faktörleri çarpılarak hesaplanır. İlk adımda kaydedilen

yakıtların tüketim miktarları alt ısıl değerleri ile çarpılarak, enerji birimi olan Terajoule (TJ) değerine geçilir.

- Üçüncü olarak, ikinci adımdaki değer CH_4 ve N_2O emisyon faktörleri ile çarpılarak yakıtların karbondioksit içeriği bulunur.
- Son olarak ise Kyoto Protokolü'ndeki sera gazlarına ait Küresel Isınma Potansiyelleri ile üçüncü adım çarpılarak CO_2 eşdeğeri bulunmaktadır (Türkey, 2018).

Küresel ısınma potansiyel değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Küresel ısınma potansiyeli (Kılıç ve diğ. 2021)

Sera Gazı	Küresel Isınma Potansiyeli
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310
HFC	140-11,70
C_2H_6 , C_6F_{14} , CF_4	6,500-9,200
SF_6	23,900

3.3.1.2 Tier 2 ve Tier 3 Yaklaşımları

Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları kullanılan yakıtın yanma teknolojilerini bilmeyi gerektirmesi, yakıt harcama değerlerine ve dağıtım miktarına ulaşımın kolay olması ile Tier 1 yaklaşımından farklıdır. Fakat Tier 2 yaklaşımı ve Tier 3 yaklaşımına ait farkları belirlemek oldukça güçtür. Tier 2 yaklaşımı ile uygun sera gazı emisyon faktörleri kullanarak yakıt tüketim grupları ayrılabilir. Fakat Tier 3 yaklaşımı ile Tier 2 yaklaşımından farklı olarak araçların ton-km biriminde taşımış olduğu yük ve yapmış olduğu yol miktarı gibi önemli detayları bilerek ve uygun sera gazı emisyon faktörleri kullanarak hesaplamalar yapılmaktadır.

Mobil kaynaklarda sera gazı emisyon hesaplamaları; havayolu, demiryolu, karayolu ve denizyolundaki ulaşım hareketliliklerinden faydalanılarak hesaplanabilir. Ancak mobil kaynaklardan yayılan sera gazı emisyonları şu şekildedir; ilk olarak karayolu ulaşımı kaynaklı, ikinci olarak havayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır. Karayolu ulaşımı kaynaklı büyük oranda olduğu için emisyon modelleri çoğunlukla bu sektörlerde geliştirilmiştir ve bu sektörlerde araçlar ve uçaklar tercih edilir.

Mobil kaynaklarda sera gazı emisyonu hesabı çok karmaşıktır, çeşitli kriterler içerir ve hakkında bilinmesi gereken detaylar vardır. Çalışma şekli, yakıt tüketimi, araç sınıfı, araç yaşı gibi bazı detayların bilinmesi gerekmektedir (Türkay, 2018).

3.4 İklim Değişikliğine Karşı Yapılan Uluslararası Çalışmalar

3.4.1 Montreal Protokolü

Ozon tabakasının incelmeye neden olan maddeleri azaltmak amacıyla 1985 yılında “Viyana Sözleşmesi” imzalanmıştır. Viyana Sözleşmesi'nin imzalanmasının üzerinden iki ay geçtikten sonra mayıs ayında, bir İngiliz araştırma grubu Antartika'da ozon tabakasının zarara uğradığının farkına varmıştır. NASA tarafından bütün Antartika bölgesinin ozon tabakasındaki incelmeye ile kaplandığı fotoğraflanmış ve bu durum ozon tabakasının incelmeye ile ilgili ulusal girişimleri daha da hızlı hale getirmiştir. Bu ulusal girişimler sonucunda ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımı ve üretimlerini kontrol altına amacıyla 1987 yılında “Montreal Protokolü” imzalanmış ve bu protokol 1989 yılında yürürlüğe alınmıştır. Bu protokole 1991 yılında Türkiye de dahil olmak üzere toplam 196 ülke taraf olmuştur. Bu durum üzerine 12 Kasım 2008'de 27052 sayılı Resmî Gazete'de Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik yayımlanmıştır ve protokole getirilen tüm değişiklikler kabul edilmiştir. UNEP'in 2014 yılında yayınladığı rapora göre, bu protokolün sonucunda, Antartika'daki ozon tabakası deliğinin yavaş yavaş düzelmeye başladığı gündeme gelmiştir. BMİDÇS'nin oluşturulmasında Montreal Protokolü'nün kabulü iyi bir örnek olmuştur (Arıcı, 2018).

3.4.2 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

1980 yılından itibaren Küresel iklim değişikliği ile ilgili uluslararası ilk çalışmalar başlamıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli WMO ve UNEP'in iş birliği ile gerçekleştirilmiştir. IPCC uluslararası alanda iklim değişikliği ile ilgili tartışmaların temelini oluşturmuş, bunun sonucunda da sözleşme ve protokollerin başlangıcı niteliğinde kabul edilmektedir. İklim değişikliği ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların sonuçlarına bakıldığında hükümetler sera gazı emisyonuna neden olan gazlar için daha ağır önlemler almaya karar vermişler fakat alınması planlanan tedbirler hâlâ gerçekleştirilememiştir. Sera gazlarının atmosfer üzerinde artışı ve sera gazı etkisinin sürekli arttığı kabul edilmiştir. Ekonomik sebeplerden dolayı bazı ülkeler sera etkisine neden olan gazların emisyonlarını azaltmak için önlem almayı kabul etmemektedir. Gerekli tedbirler alınıp bu tedbirler uygulanmazsa 21. yüzyılda yeryüzü sıcaklığının tahminen 50 °C'ye kadar yükseleceği öngörülmektedir. IPCC BMİDÇS'nin hazırlanmasına etki etmiştir. (Arıcı, 2018).

3.4.3 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Çevre ve Kalkınma Konferansı 1992 yılında Brezilya'nın Rio eyaletinde gerçekleştirilmiş ve konferansta 3 farklı sözleşme imzalanmıştır. Bu 3 sözleşmenin ilk ikisi Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi ve Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesidir, üçüncüsü ise Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir. BMİDÇS, sera gazlarını ve Montreal Protokolü kapsamı dışında kalan emisyonları içermektedir. BMİDÇS'nin 1992 yılındaki amacı 2000 yılına gelindiğinde sera gazı emisyon miktarlarının 1990 yılındaki değerleri ile yakın olmasıydı. BMİDÇS, 1992 yılında kabul edildiğinde Türkiye, bir Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (The Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD) üyesi olduğu için, gelişmiş ülkeler ile birlikte BMİDÇS'nin EK-I ve EK-II listelerine eklenmişti. Türkiye, 7. Taraflar Konferansı'nda (Conference of Parties 7-COP 7) alınan 26/CP.7 sayılı Kararla diğer EK-I Taraflarından farklı bir konumda olduğu tanınarak, Türkiye'nin adı BMİDÇS'nin EK-II listesinden çıkarılmış ancak EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye, 2004 yılında 189.Taraf olarak BMİDÇS'ye katılmıştır. Türkiye'nin iklim değişikliği ile savaşmak için politika geliştirmek ve uygulamak ile mevcut sera

gazı emisyonları ilgili verileri BMİDÇS'ye bildirme zorunluluğu vardır. Buna bağlı olarak Türkiye, 1. Ulusal Bildirimi'ni 2007 yılında, 7. Ulusal Bildirimini ise 2018 yılında BMİDÇS'ye sunmuştur (Arıcı, 2018).

3.4.4 Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, Japonya'nın Kyoto kentinde 11 Aralık 1997 yılında yapılan 3. Taraflar Konferansı'nda (Conference of Parties 3-COP 3) küresel ısınma ve iklim değişikliği konularında mücadele etmek amacıyla uluslararası tek çerçeve olarak, BMİDÇS içinde imzalanmıştır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, sera etkisine neden olan gazların salınımını azaltmayı veya eğer bu uygulanamıyorsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmayı taahhüt etmişlerdir. Protokol, ülkelerin atmosfere verilen sera gazı emisyon miktarını 1990 yılındaki seviyelerine düşürmelerini bir zorunluluk olarak görmektedir. Kyoto Protokolü, 1997'de imzalanmasına rağmen 2005'te yürürlüğe alınmıştır. Rusya'nın katılımı ile 1990'daki atmosferdeki sera gazı emisyonlarının yeryüzündeki toplam emisyonun %55'ini bulmuştur ve Kyoto Protokolü yürürlüğe girmiştir.

Sözleşme maddeleri aşağıdaki gibidir:

- a) Atmosfere verilen sera gazı emisyon miktarı %5'e çekilecek,
- b) Endüstri, motorlu taşıtlar ve ısınma kaynaklı sera gazı emisyon miktarını azaltmak amacıyla mevzuat yeniden düzenlemesi yapılacak,
- c) Daha az enerji harcayan teknoloji sistemlerini endüstriye kullanılması sağlanacak,
- d) Ulaşım ve çöp depolamada çevre temel ilke olacak,
- e) Atmosfere salınan metan ve karbondioksit miktarının azaltılması için alternatif enerji kaynakları tercih edilecek,
- f) Yakıt olarak biyodizel gibi daha az karbon emisyonu yayan yakıt kullanılacak,
- g) Yüksek enerji tüketimi olan fabrikalarda atık işlemleri yeniden düzenlenmesi yapılacak,
- h) Daha az karbon çıkartan teknolojiler termik santrallerde faaliyete geçirilecek
- i) Güneş enerjisi kullanımı teşvik edilecek, karbon sıfır olduğundan dolayı nükleer enerji ön plana çıkarılacak,

- j) Vergi miktarı kullanılan yakıt miktarı ve üretilen karbon miktarına göre alınacaktır.

Türkiye, 5386 Sayılı (BMİDÇŞ)'ne Yönelik Kyoto Protokolü'ne Katılımının Uygun Bulduğuna Dair Kanun 5 Şubat 2009'da Türkiye Büyük Millet Meclisi'nce kabul edilmiştir. 13 Mayıs 2009 tarih ve 2009/14979 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı'nın sonra, katılım aracının BM'ye sunulmasıyla 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne Taraf olmuştur. Türkiye Protokol kabul edildiğinde BMİDÇŞ tarafı olmadığı için EK-I Taraflarının sayısallaştırılmış salım sınırlama veya düşürme yükümlülüklerinin tanımlandığı EK-B listesine eklenmemiştir (Arıcı, 2018).

3.4.5 Paris Anlaşması

Paris Anlaşması, 21. Taraflar Konferansı'nda 195 ülke tarafından 2015 yılında imzalanmıştır. Paris İklim Zirvesi olarak da adlandırılan bu konferans iklim değişikliği ile mücadelede tarihi bir önem taşımaktadır. Maksimum sıcaklık artışı hedefi konulması ve bu zamana kadar 1 °C'ye ulaşan yerkürenin ısınmasının 2 °C'nin altında ve olabildiğince 1,5 °C düzeylerinde tutulması kararı ile Kyoto Protokolü'nden farklıdır.

Konferanstaki taraflar emisyonu azaltmak için 2020 yılı sonrasında sorumluluk almayı kabul etmişlerdir. Ayrıca 2050 yılı sonrasında öncelik olarak gelişmiş ülkelerin sıfır emisyon sağlamaları ile ilgili tedbirler alınması ümit edilmektedir.

Paris Anlaşması'nda gelişmiş ülkelerin geliştirmekte olan ülkelere iklim finansmanı, teknoloji ve kapasite geliştirme gibi konularda destek vermeleri beklenmektedir. Bu kapsamda, 2020 yılı sonrası için geliştirmekte olan ülkelere yıllık 100 milyar dolarlık bir iklim finansmanı verilmesi kararı alınmıştır. Paris Anlaşması, ülkelere hiçbir sera gazı emisyon azaltım hedefi belirlememiştir, ülkelerin kendilerinin belirlemiş oldukları ulusal katkı beyanları ile küresel ısınma konusunda mücadelede katkıda bulunmaları söz konusu olmuştur.

Türkiye, 21. Taraflar Konferansı'ndan önce, Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (Intended Nationally Determined Contribution-INDC) beyanını BM

Sekreteryası'na aktarmıştır. INDC'ye göre 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarındaki yükselişin %21 azaltımı hedeflenmektedir (Türkey, 2018).

3.4.6 AB Yeşil Mutabakatı

AB Yeşil Mutabakatı, Avrupa'nın 2030 yılına kadar karbon salınımlarını %55 oranında azaltma ve 2050 yılına kadar dünyanın ilk karbon-nötr kıtası olma hedefini pekiştiren bir stratejiler bütünüdür. Bu eylem planındaki ana başlıklar aşağıdaki gibidir:

- Kirliliğin ortadan kaldırılması,
- Sürdürülebilir sanayi ve üretim,
- Biyoçeşitliliğin korunması,
- Sürdürülebilir ulaşım,
- Temiz enerji
- Doğa dostu inşaat

Yeşil Mutabakat çerçevesinde her ülke kendi içinde 2050 yılına kadar iklim değişikliğiyle mücadele için yapabileceklerine dair bir eylem planı oluşturmaktadır. Doğal kaynaklarının bilinçsiz tüketiminin önüne geçmek ve iklim krizini az da olsa hafifletmek için oluşturulan bu eylem planında Türkiye de imzacıdır (İşbank, 2023).

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın hedefi politikaların Avrupa sanayisinde sebep olacağı maliyete karşı, Avrupa'nın rekabetçi yapısının korunması ve üretim ile yatırımların, emisyon düşürme hedefi AB'den az olan ülkelere kaymasının engellenmesi için "Sınırdaki Karbon Düzenleme (SKD) Mekanizması'nın gerçekleştirilmesi talep edilmektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı ile amaçlanan, belirli sektörlerin ithalat fiyatının, eşyanın hammadde tedarikinden üretim aşaması da dahil karbon içeriği baz alınarak belirlenmesi olan SKD mekanizması ile ilgili teklif, 14 Temmuz 2021'de Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanmıştır. SKD mekanizması AB Emisyon Ticaret Sistemine (ETS) paralel bir sistem olacak şekilde kurgulanmıştır. SKD

mekanizmasında zorunlu olan üretim sektörleri demir-çelik, çimento, alüminyum, elektrik ve gübre olduğu belirtilmiştir.

Buna ek olarak, bir üçüncü ülkenin AB'nin ETS'sine bütünüyle entegre olması veya herhangi bir üçüncü ülke ile AB arasında ETS'lerini bağlayan bir anlaşma imzalandığında, anlaşma imzalayan ülkelerin düzenlemeden hariç tutulabilmesi olanağının getirilmesi; ayrıyeten, AB'nin üçüncü ülkeler ile karbon fiyatlandırma mekanizmalarının hesaba katılmasını sağlayacak anlaşmalar yapma imkanlarının da araştırılması hedeflenmektedir. AB'nin SKD mekanizmasının AB ile Türkiye'nin ticaretinde ticari bir engele çevrilmemesi oldukça önem arz etmektedir. AB'nin SKD mekanizmasının Türkiye ile AB ticareti üzerindeki etkilerine sınır getirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaç ile yürütülmesi planlanan eylemlerin içinde, SKD mekanizmasına zorunlu olabilecek sektörlerde sera gazı emisyonunun azalmasına katkıda bulunmak için ilerlenmesi gereken adımları gösteren bir yol haritasının belirlenmesi de amaçlanmaktadır.

Etkin karbon fiyatlandırma mekanizması uygulaması ülkelerin sera gazı salımlarını düşürmek için kullandığı araçlardan bir diğeridir. Dünyada iklim değişikliği ile mücadele eden birçok ülke ulusal karbon fiyatlandırma mekanizmalarını gerçekleştirmektedir. Şu an dünyada uygulanmakta olan veya hayata geçirilmesi planlanmış olan 31 emisyon ticaret sistemi ve 30 karbon vergisi olmak üzere toplamda 61 adet ulusal karbon fiyatlandırma mekanizması vardır.

Bunlara ilaveten, bilhassa AB'nin olması muhtemel bir sınırdaki karbon düzenlemesi karşısında işletmelerin karşılaşılabileceği engellerin ortadan kaldırılması amacıyla AB tarafından belirlenecek metotlar çerçevesinde Türkiye'de belgelendirme ve raporlamanın uygulanmasına yönelik çalışmalar yapılması, buna ek olarak endüstriden kaynaklanan sera gazı emisyon miktarlarının takip edilmesi sisteminin gereksinimlere göre geliştirilmesi yeterince önem arz etmektedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2023).

3.5 Literatür Özeti

Dindar (2021) çalışmasında, Bursa’da otomotiv sektöründe çalışmakta olan bir fabrikada karbon ayak izi hesaplamıştır. Fabrikadan elde edilen veriler 2019 ve 2020 yıllarına aittir ve hesaplama yaparken uluslararası emisyon faktörleri kullanılmıştır. Fabrikada; ısınma amaçlı yakılan yakıtlar kaynaklı, elektrik ve su tüketimi, atık ve atık su oluşumu, personel araçları veya servis araçlarından kaynaklı sera gazı emisyon miktarı Tier 1 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu karbon ayak izi, 2019 yılı için ortalama 16501 ton CO₂e ve 2020 yılı için ise 12921 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır.

Türkay (2018) çalışmasında, Eskişehir’de 2012 ve 2017 yıllarındaki karayolu ulaşımı kaynaklı karbon ayak izi miktarını gerçek yakıt tüketim verileri ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nde yer alan Tier I metodolojisi kullanarak hesaplamıştır. Değerlendirme sonucu olarak; karbon ayak izi miktarının gelişmekte olan teknoloji, artmakta olan nüfus ve harcanan yakıt miktarı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. 2012 yılında Eskişehir’de kara ulaşımı kaynaklı karbon ayak izi miktarı 821,509 Gg olduğu, 2017 yılında ise %77’lik bir yükseliş göstererek 1453,954 Gg’a ulaştığı görülmüştür. Kara ulaşımı ile harcanan yakıt türlerinden, mazotun benzin ve LPG’ye göre çok daha fazla karbondioksit salınımı yaptığı görülmüştür.

Bıyık (2018) çalışmasında, Isparta’da kara ulaştırma sektörün kaynaklı sera gazı emisyon miktarı hesabı yapmıştır. Sektör kaynaklı atmosfere verilen sera gazı emisyon oranı karbondioksit olduğu için bilhassa karbondioksit bazlı sera gazı emisyon hesabı üzerinde durulmuştur. Emisyon hesabı yapılırken Tier 1 ve Tier 2 metodu kullanılmış ve 2010 yılı ile 2016 yılı arasına ait sera gazı emisyonu hesabı yapılmıştır. 2010 yılı için Tier 1 metodu ile hesaplanan 351,90 Gg olan karbon ayak izi miktarı %34’lük bir yükselerek 2016 yılında 471,84 Gg’ a ulaştığı tespit edilmiştir. Tier 2 metodu ile hesaplanan karbon ayak izi miktarı 2010 yılı için 1605 Gg iken 2016 yılında %43’lük yükselerek 2292 Gg’a yükseldiği tespit edilmiştir. Tier 2 metodu kullanarak yapılan karbon ayak izi hesaplanmasında benzinli otomobiller 2010 yılı ile 2016 yılı arası sera gazı emisyon miktarlarını %23, dizel otomobiller %48 ve LPG’li otomobiller ise %1 arttırdıkları görülmektedir. Kamyon araç grubuna ait araçlar sera

gazı emisyon miktarını 2010-2016 yılları arasında %48, motosikletler ise %23 arttırdıkları görülmektedir.

Pekin (2006) çalışmasında, Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarını, IPCC Tier yaklaşımı kullanarak hesaplamıştır. Hesaplamada CO₂, NO_x, CO, CH₄, NMVOC, N₂O ve SO₂ gazlarının yaydığı emisyonları hesaplamıştır. Değerlendirme sonucu olarak sera gazlarının hepsine ait emisyonlarda artış olduğunu ve bilhassa yakıt tüketimi arttığı için CO₂ emisyonlarının hızla arttığı gözlemlenmiştir. 1990 yılı için karayolun kaynaklı CO₂ emisyonlarının toplam ulaştırma sektörü içindeki oranı %93, hava yolu kaynaklı oran ise %4 olarak hesaplanmıştır. 2004 yılı için karayolu kaynaklı CO₂ emisyonlarının toplam ulaştırma sektörü içindeki oranı %84’e iken, havayolu kaynaklı emisyonların toplam %12 olarak hesaplanmıştır.

Coşkun ve diğ. (2021) çalışmalarında, bir tekstil işletmesine ait konfeksiyon, baskı, kumaş ve iplik boyama birimlerinde 2018 yılı için 1 yıllık üretimi neticesinde ortaya çıkan sera gazı emisyon miktarlarını değerlendirmişlerdir. Konfeksiyon birimi işletmenin proses gerçekleşen diğer birimleriyle kıyaslandığında sera gazı emisyonu miktarı 24,39 kg CO₂e/kg ürün değeri ile en yüksek değeri alıp ilk sıraya yerleşmiştir. Kumaş boyama; 21,57 kg CO₂e/kg ürün, baskı 20,32 kg CO₂e/kg ürün ve iplik boyama 19,28 kg CO₂e/kg ürün değerleriyle karbon ayak izi miktarları sıralamasında konfeksiyon bölümünden sonra gelmişlerdir. Fosil yakıt kullanımı üretim süreçlerinde sera gazı emisyonları oluşumu için en önemli nedenlerindendir. Fosil yakıtların üretim bölümlerinde kullanılması sonucu sera gazı emisyonu oranı sırasıyla; iplik boyamada %92, baskıda %84, kumaş boyamada %82, konfeksiyonda %73 olarak tespit edilmiştir.

Doğan (2019) çalışmasında, tekstil sektöründe yer alan üretici bir firmada yaptığı çalışmada; konfeksiyon ve baskı proseslerinin yer aldığı ayrıca iplik ve kumaş boyama süreçlerinin de olduğu tekstil ürünleri üreten bir fabrikada, her süreç için ayrı ayrı sera gazı emisyon hesaplamaları yapılmıştır ve bunun sonucunda eldeki verilere göre kumaş boyama ve iplik boyama süreçlerinde sırasıyla karbon ayak izi miktarı 4,61 kg CO₂e/kg ürün ve 2,22 kg CO₂e/kg üründür. Konfeksiyon bölümü ve baskı bölümündeki süreçler için karbon ayak izi miktarı sırasıyla 3,31 kg CO₂e/kg ürün ve 7,25 kg CO₂e/kg üründür.

Yan ve diğ. (2014) çalışmalarında, iki tür tipik Çin tekstilini seçmiştir bunlar: yünlü kumaşlar ve pamuklu kumaşlardır. Yün kumaşlar saf yün kumaşlar ve karışımli yün-polyester kumaşlar içermektedir. Çalışmada, her bir tekstil endüstrisi karbon ayak izi sistem sınırları, ilgili yöntemleri ve değerlendirme modelleri oluşturulup Çin'in karbon ayak izi enerji ve malzeme katsayılarının hesaplanmasına dayalı olarak değerlendirilmiştir. Farklı kumaş türlerinin sonuçlarının karşılaştırmalı bir analizi yapılmış ve yünlü kumaşların endüstriyel karbon ayak izinin pamuklu kumaşlarınınkinin neredeyse üç katı olduğunu gözlemlenmiştir. Saf yün kumaşların, karışımli yün-polyester kumaşların ve pamuklu kumaşların her birine ait yaklaşık karbon ayak izi miktarları sırasıyla 14,07 kg CO₂e/kg, 13,55 kg CO₂e/kg ve 5,34 kg CO₂e/kg'dır. İpliği boyalı kumaşa ait karbon ayak izi miktarı boyalı kumaştan ortalama %70,8 daha yüksektir ve bezayağı kumaşın karbon ayak izi, rips kumaştan %76,2 daha fazladır. Ayrıca hammaddelerin, kullanılan tekstil teknolojilerinin ve kullanılan boya renklerinin farklı olması da karbon ayak izi miktarlarının farklı olmasına neden olmuştur. Elektrik kullanımı kaynaklı karbon ayak izi, toplam karbon ayak izi miktarının ortalama %87'sine karşılık gelirken, diğer tüketimlere karşılık gelen karbon ayak izi miktarı ortalama %13'e karşılık gelmektedir.

Bak (2019) çalışmasında, Marmara Bölgesi içinde denim pantolonu üreticisi olan bir fabrika çalışma alanı olarak belirlemiştir. Bu tez 1 yılda ortalama 4.850.000 adet denim pantolon üretimi yapan bir tekstil fabrikasının karbon ayak izinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Yapılan çalışmada karbon ayak izi hesabının yanında ayrıca üretime ait süreçlerinin neden olduğu kirlilik yükü yaşam döngüsü analizi ile hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen çalışma neticesinde karbon ayak izi miktarı ortalama 32.782 ton CO₂e olarak öngörülmüştür. En yüksek karbon ayak izi oranını %62,78 ile yanmadan kaynaklanan sera gazı emisyonundan kaynaklanmakta olup, kapsam 1'e ait emisyonların denim pantolon üreten fabrikalar için en büyük miktarı meydana getirdiği tespit edilmiştir. Kapsam 2'ye ait emisyonlar %28,90 ile ikinci sırada, kapsam 3'e ait emisyonlar ise %8,32 ile üçüncü sıradadır.

Wang ve diğ. (2014) çalışmalarında, çeşitli Çinli tekstil şirketlerinin araştırmalarına ve her üretim alt sürecinin gözlemlerine dayanarak, sistem sınırı ve tekstil ürünü karbon ayak izini değerlendirme yöntemleri belirledi. Daha sonra, ilgili enerji kaynakları ve malzemeleri için Çin karbon ayak izi dönüşüm faktörlerini tahmin

ettiler ve saf pamuklu gömleğin yaşam döngüsü için gerçek karbon ayak izini hesapladılar. Çin'de üretilen saf pamuklu bir gömleğin yaşam döngüsü boyunca ortalama karbon ayak izini 8,771 kg CO₂e olarak tahmin etmektedirler. Bunun doğrudan karbon ayak izi 0,347 kg CO₂e iken dolaylı karbon ayak izi 8,423 kg CO₂e ile çok daha yüksektir. Endüstriyel üretim aşaması, karbon ayak izinin en yüksek oranını oluşturur ve genel üretim (tarımsal ve endüstriyel üretim dahil) toplam karbon ayak izinin %90'ından fazlasını oluşturur. Ürün yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izinin yaklaşık %96'sı, her süreçte enerji ve malzeme kullanımına dahil olan dolaylı karbon ayak izidir. Endüstriyel üretim aşamasında, nakliye ve dokuma alt süreçleri doğrudan karbon ayak izi (0,347 kg CO₂e) neredeyse tamamını oluşturmaktadır. Özellikle elektrik olmak üzere enerji tüketimi, tekstil ürünlerinin karbon ayak izine ana katkıyı sağlar.

Başoğul ve diğ. (2021) çalışmalarında, Adıyaman'daki bir tekstil fabrikasının Tier 1 metodu kullanarak karbon ayak izini hesaplamışlardır. Fabrikanın servis aracı/dizel tüketimi, doğal gaz tüketimi, elektrik tüketimi, atık su bazlı faktörleri sırasıyla 5.475 lt/yıl-dizel, 55.200 m³, 456.000 kWh/yıl, 4.900 m³ olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Tespit edilen veriler fabrikanın 300 iş günü çalıştığı varsayılarak gerçek verilerle hesaplanmıştır. Tier 1 metodu kullanarak yapılan hesaplamalar sonucunda fabrikanın karbon ayak izi 297.343 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır. Değerlendirmeye göre karbon ayak izinde en yüksek veri elektrik tüketimi gösterirken en düşük veri ise atık su olduğu görülmektedir.

Hasdal ve diğ. (2021) çalışmalarında, Kayseri ilinde bulunan endüstri yapılarının aydınlatma enerjileri incelemiş, bunlar Tier ve Defra-Annex gibi hesaplama yöntemleri ile yıllık CO₂ salım miktarlarına dönüştürmüşlerdir. Sonuçlar 3 farklı organize sanayi bölgesine sahip olan Kayseri'nin en geniş ölçekli organize sanayi bölgesinin yıllık karbon salım miktarı 227.256,54 kg CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır. Yüksek basınçlı aydınlatma armatürlerinin sıklıkla kullanılması ve eskimiş olan armatürlerin fazla enerji kullanmalarından kaynaklı bu miktarın, tüm firmaların LED aydınlatma sistemlerine geçiş yapmaları halinde yaklaşık %48 azalıyor olması hesaplamalar sonucu ortaya konulmuştur.

4. YÖNTEM VE HESAPLAMALAR

Tez çalışması kapsamında ev tekstili ürünlerinin üretiminden kaynaklanan karbon ayak izi hesaplaması yapılacaktır. Hesaplamalar Tier metodu ile gerçekleştirilecektir. Tez çalışması kapsamında;

- Benzin ve dizel kullanımından kaynaklan emisyon hesabı,
- Doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyon hesabı,
- Yangın tüpü kullanımından kaynaklanan emisyon hesabı,
- Elektrik kullanımından kaynaklanan emisyon hesabı,
- Buhar kullanımından kaynaklanan emisyon hesabı,
- Tehlikeli ve tehlikesiz atıklardan kaynaklanan emisyon hesabı,
- Su tedariki ve su arıtımından kaynaklanan emisyon hesabı,
- Servislerden kaynaklanan emisyon hesabı ve
- Atık kamyonlarının taşımacılığında kaynaklanan emisyon hesabı gerçekleştirilecektir.

Bu hesaplamaların gerçekleştirilmesinde işletmedeki;

- Çalışan sayısı,
- Toplam işletme alanı,
- Yıllık toplam üretim,
- Yıllık atık miktarı,
- Yangın tüpü miktarı,
- Yıllık atık kamyonu mesafesi,
- Yıllık elektrik tüketimi,
- Yıllık doğalgaz kullanımı,
- Yıllık su tedariki,
- Yıllık su arıtım miktarı,
- Yıllık servis araçlarının mesafeleri ve
- Yıllık atık kamyonlarının 1 yıl boyunca yapmış oldukları mesafeler tez kapsamında kullanılacaktır.

Hesaplamada IPCC 2006 Kılavuzunda belirtilen “Tier Metodu” kullanılacaktır. Tier Metoduna ait genel formül Eşitlik 4.1’de gösterilmektedir.

$$\text{Karbon Emisyonu(KE)} = \text{Faaliyet Verisi(FV)} \times \text{Emisyon Faktörü(EF)} \quad (4.1)$$

KE: Bir tesisin doğrudan, enerji dolaylı ve diğer dolaylı faaliyetleri sonucunda atmosfere verilen sera gazı emisyonu miktarıdır.

FV: Bir tesise ait tüketilen ya da üretilen yakıt veya maddelerdir.

EF: Bir tesisin birim değeri hacim, kütle vb. için yaklaşık atmosfere verdikleri sera gazı emisyonu miktarı temsil etmektedir.

İşletme Denizli ili sınırları içerisinde haşıl, dokuma ve konfeksiyon prosesleri gerçekleştirerek ev tekstili ürünleri üreten bir tekstil fabrikasıdır. Toplam tesis alanı 15.430 m²'dir. 2021 yılında çalışan sayısı 88 ve çalışılan gün sayısı 295'tir. 2021 yılına ait işletmeye ait veriler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Faaliyet Verileri

Faaliyet Adı	Birim	Miktar
Üretim	kg/yıl	934.696
Elektrik tüketimi	kwh/yıl	2.579.676
Doğalgaz tüketimi	m ³ /yıl	7.009
Buhar tüketimi	ton/yıl	2.214
Dizel tüketimi	l/yıl	7.226
Benzin tüketimi	l/yıl	886
Su tedariki	m ³ /yıl	14.200
Su arıtımı	m ³ /yıl	9.236
Servis- dizel	km/yıl	4.800
Tehlikesiz atık	kg/yıl	44.440
Tehlikeli atık	kg/yıl	1.877
Atık kamyonu	km/yıl	200
Yangın Tüpleri	adet/yıl	35

Tüm veriler 2021 yılına ait geçerli verilerdir. Bu veriler kapsamında; 1 yıl sonunda toplam üretilen ürün, elektrik tüketimi, doğalgaz kullanımı, buhar kullanımı, su tedariki ve atık su arıtımı, tehlikeli ve tehlikesiz atık depolama, yangın tüpleri, taşımadan kaynaklanan emisyon miktarı hesapları gerçekleştirilmiştir.

Tablodan da görüleceği üzere belirlenen tüm faaliyet verileri ev tekstili ürünleri üreten orta büyüklükteki firmanın geçerli yaklaşık değerlerdir ve yıllık üretim miktarı 934.696 kg olan ve 88 personelin çalıştığı tesisten elde edilmiştir. Araçlardan alınan veriler 1 yıllık tüketim ve km verileridir.

Çalışma kapsamında araçların benzin ve dizel olduğu kabul edilmiştir. Hesaplama için güncel emisyon faktörleri kullanılmıştır. İlgili emisyon faktörleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Emisyon Faktörleri

Faaliyet Adı	Birim	Emisyon Faktörü	Kaynak
Elektrik tüketimi	kg CO ₂ e/kwh	0,447	(EVCED, 2023)
Buhar tüketimi	kg CO ₂ e/kg	0,054	(Yan ve diğ. 2014)
Su tedariki	kg CO ₂ e/m ³	0,149	(DBEIS, 2021)
Su arıtımı	kg CO ₂ e/m ³	0,272	(DBEIS, 2021)
Servis-dizel	kg CO ₂ e/km	0,17	(DBEIS, 2021)
Tehlikesiz atık	kg CO ₂ e/ton	21,294	(DBEIS, 2021)
Tehlikeli atık	kg CO ₂ e/ton	21,294	(DBEIS, 2021)
Atık kamyonu	kg CO ₂ e/km	0,17	(DBEIS, 2021)

Doğrudan sera gazı kaynaklarından olan dizel ve benzin yakıtlarına ait yoğunluk değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: Dizel ve benzin yakıtlarına ait yoğunluk değerleri (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021)

Yakıt Türü	Yoğunluk (kg/L)
Dizel	0,830
Benzin	0,735

4.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 1)

İncelemiş olduğumuz tesis için bu kapsamda doğalgazdan kaynaklanan emisyonlar, forklift ve araç kullanımından kaynaklanan emisyonlar ve yangın tüplerinden kaynaklanan kaçak emisyonlar yer almaktadır.

Dizel ve Benzin

Doğrudan sera gazı emisyonlarından dizel ve benzin kaynaklı emisyon hesaplamaları Eşitlik 4.2 ile hesaplanmaktadır:

$$KAİ= (FV) \times (EF) \times (AID) \times (D) \times (OF) \times (KIP) \quad (4.2)$$

KAİ: Karbon Ayak İzi (ton CO_{2e})

FV: Faaliyet Verisi

EF: Emisyon Faktörü

AID: Alt Isıl Değer

D: Yoğunluk

OF: Oksidasyon Faktörü

KIP: Küresel Isınmaya Etki Potansiyeli

Dizel

CO₂

$(7.226,43 \text{ L}) \times (74.100 \text{ kg /TJ}) \times (43 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000\text{MJ}) \times (0,83 \text{ kg/L}) \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (1) = 19,11 \text{ ton CO}_2\text{e}$

CH₄

$(7.226,43 \text{ L}) \times (3,9 \text{ kg /TJ}) \times (43 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000\text{MJ}) \times (0,83 \text{ kg/L}) \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (21) = 0,021 \text{ ton CO}_2\text{e}$

N₂O

$(7.226,43 \text{ L}) \times (3,9 \text{ kg /TJ}) \times (43 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000\text{MJ}) \times (0,83 \text{ kg/L}) \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (310) = 0,312 \text{ ton CO}_2\text{e}$

$(19.11+0,021+0,31) \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,021 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ ton ürün}$

Benzin

CO₂

$$(886,12 \text{ L}) \times (69.300 \text{ kg /TJ}) \times (44,3 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000) \times (0,735 \text{ kg/L}) \\ \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (1) = 2,0 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

CH₄

$$(886,12 \text{ L}) \times (25 \text{ kg /TJ}) \times (44,3 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000\text{MJ}) \times (0,735 \text{ kg/L}) \\ \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (21) = 0,015 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

N₂O

$$(886,12 \text{ L}) \times (8 \text{ kg /TJ}) \times (44,3 \text{ MJ/kg}) \times (1 \text{ TJ}/1.000.000\text{MJ}) \times (0,735 \text{ kg/L}) \times \\ (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (310) = 0,072 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$(2,0+0,015+0,072) \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,0022 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

Doğalgaz

Doğrudan sera gazı emisyonlarından doğalgaz kaynaklı emisyon hesaplamaları Eşitlik 4.3 ile hesaplanmaktadır:

$$KAİ = (FV) \times (EF) \times (AID) \times (OF) \times (KIP) \quad (4.3)$$

KAİ: Karbon Ayak İzi (ton CO₂e)

FV: Faaliyet Verisi

EF: Emisyon Faktörü

AID: Alt Isıl Değer

OF: Oksidasyon Faktörü

KIP: Küresel Isınmaya Etki Potansiyeli

CO₂

$$(7.009,62 \text{ m}^3) \times (56.100 \text{ kg /TJ}) \times (8.100 \text{ kcal/m}^3) \times (4,18 \text{ kJ}/1\text{kcal}) \times (1 \\ \text{TJ}/1.000.000.000\text{kJ}) \times (1 \text{ ton}/ 1.000 \text{ kg}) \times (1) \times (1) = 13,314 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

CH₄

$$(7.009,62 \text{ m}^3) \times (1 \text{ kg /TJ}) \times (8.100 \text{ kcal/m}^3) \times (4,18\text{kJ/1kcal/}) \times (1 \text{ TJ/1.000.000.000kj}) \times (1 \text{ ton/ 1.000 kg}) \times (1) \times (21) =0,0050 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

N₂O

$$(7.009,62 \text{ m}^3) \times (0,1 \text{ kg /TJ}) \times (8.100 \text{ kcal/m}^3) \times (4,18 \text{ kJ/1kcal}) \times (1 \text{ TJ/1000000000kj}) \times (1 \text{ ton/ 1.000 kg}) \times (1) \times (310) =0,0074 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$(13,31+0,0050+0,0074) \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,014 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

Yangın Tüpleri

Doğrudan sera gazı emisyonlarından yangın tüplerinden kaynaklanan emisyon hesaplamaları Eşitlik 4.4 ile hesaplanmaktadır:

$$KAİ= (TA) \times (TS) \times (KEO) \quad (4.4)$$

KAİ: Karbon Ayak İzi (ton CO₂e)

TA: Tüp Ağırlığı

TS: Tüp Sayısı

KEO: Kaçak Emisyon Oranı (Pegasus, 2021)

CO₂

$$(5\text{kg}) \times (1 \text{ ton/1.000kg}) \times (35) \times (0,04) = 0,007 \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,0000075 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

4.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 2)

İncelemiş olduğumuz tesis için bu kapsamda elektrik ve buhar tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları yer almaktadır.

Enerji dolaylı sera gazı emisyonlarından elektrik ve buhar kaynaklı emisyon hesaplamaları Eşitlik 4.1 ile hesaplanmaktadır:

Elektrik

$$(2.579.676,82 \text{ kwh}) \times (0,447 \text{ ton CO}_2\text{e/kwh}) = 1.153,12 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$1.153,12 \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 1,23 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

Buhar

$$(2.214 \text{ ton}) \times (0,000054 \text{ ton CO}_2\text{e/kg}) \times (1.000 \text{ kg/1ton}) = 119,56 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$119,56 \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,15 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

4.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyon Kaynakları (Kapsam 3)

İncelemiş olduğumuz tesis için bu kapsamda değerlendirilecek emisyon kaynakları; personel servislerinden, tehlikeli ve tehlikesiz atıklarından, atık kamyonlarının taşımacılığında, su tedariki ve su arıtımından kaynaklanan emisyon kaynakları olarak değerlendirilecektir.

Diğer dolaylı sera gazı emisyon hesaplamaları Eşitlik 4.1 ile hesaplanmaktadır:

Atıklar

Tehlikeli Atıklar

$$(1.877 \text{ kg}) \times (0,21294 \text{ ton CO}_2\text{e/ton}) \times (1\text{ton}/1.000 \text{ kg}) = 0,0399 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

Tehlikesiz Atıklar

$$(44.440 \text{ kg}) \times (0,21294 \text{ ton CO}_2\text{e/ton}) \times (1\text{ton}/1.000 \text{ kg}) = 0,95 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$(0,040+0,95) \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,0011 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ton ürün}$$

Su Tedariki ve Arıtımı

Su Tedariki

$$(14.200 \text{ m}^3) \times (0,149 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3) \times (1 \text{ ton CO}_2\text{e} / 1.000 \text{ kg CO}_2\text{e}) = 2,12 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

Su Arıtımı

$$(9.236 \text{ m}^3) \times (0,272 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3) \times (1 \text{ ton CO}_2\text{e} / 1.000 \text{ kg CO}_2\text{e}) = 2,51 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$(2,12+2,51) \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,0050 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ ton ürün}$$

Servis

$$(4.800 \text{ km}) \times (0,17 \text{ kg CO}_2\text{e/km}) \times (1 \text{ ton CO}_2\text{e} / 1.000 \text{ kg CO}_2\text{e}) = 0,82 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$0,82 \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,00088 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ ton ürün}$$

Atık Kamyonu

$$(750 \text{ km}) \times (0,17 \text{ kg CO}_2\text{e/km}) \times (1 \text{ ton CO}_2\text{e} / 1.000 \text{ kg CO}_2\text{e}) = 0,13 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

$$0,13 \text{ ton CO}_2\text{e} / 934,696 \text{ ton ürün} = 0,00014 \text{ ton CO}_2\text{e} / \text{ ton ürün}$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sera gazı hesaplama ve raporlamada tanımlanmış üç kapsam mevcuttur. “Kapsam 1” sahip olunan veya kontrol edilen proses ekipmanlarından, araçlarda yanma sonucu oluşan ve yangın tüplerinden çıkan kaçak emisyonları kapsamaktadır. “Kapsam 2” sera gazı emisyonları ise satın alınan ve kullanılan elektrik ve buhar tüketiminden ortaya çıkmaktadır. “Kapsam 3”, şirket tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilmeyen kaynaklardan ortaya çıkan tüm diğer dolaylı emisyonlar olarak kabul edilmektedir. Tesise ait kapsamlarına göre emisyon kaynakları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Kapsamlarına Göre Sera Gazı Emisyon Kaynakları

Kapsamlar	Emisyon Kaynağı
Kapsam 1	Doğalgaz, benzin, dizel, yangın tüpleri
Kapsam 2	Elektrik, buhar
Kapsam 3	Su tedariki, atık su arıtımı, servisler, atık kamyonu, atıklar

Kapsam 1 Kaynaklı Karbon Ayak İzi

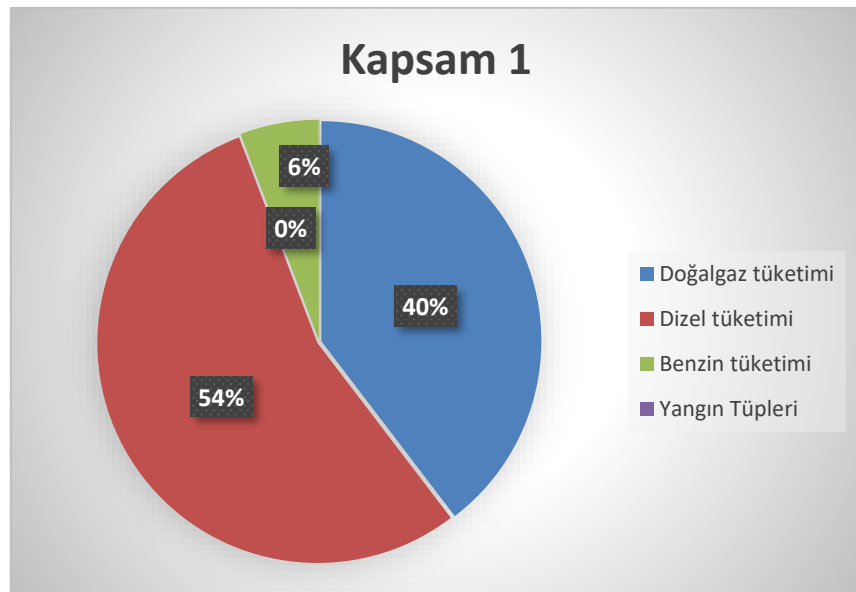
Kapsam 1 kaynaklı karbon emisyonu kaynakları doğalgaz tüketimi, benzin tüketimi, dizel tüketimi ve yangın tüplerinin kaçak emisyonlarıdır.

Doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,014 ton CO₂e/ton ürün, dizel tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,021 ton CO₂e/ton ürün, benzin tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,0022 ton CO₂e/ton ürün ve yangın tüpünün kaçak emisyonundan kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,0000075 ton CO₂e/ton üründür. Kapsam 1’den kaynaklanan toplam karbon ayak izi miktarı 0,038 ton CO₂e/ton üründür. Emisyon kaynaklarına göre karbon ayak izi miktarları Tablo 5.2 ‘de verilmiştir.

Tablo 5.2: Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Faaliyet	Karbon Ayak İzi (ton CO ₂ e/ton ürün)
Doğalgaz tüketimi	0,014
Dizel tüketimi	0,021
Benzin tüketimi	0,0022
Yangın Tüpleri	0,0000075
Toplam	0,038

Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri şu şekildedir: Dizel tüketimi %54 ile en yüksek karbon ayak izine neden olmaktadır, dizel tüketimine takiben sırayla %40 ile doğalgaz tüketiminden kaynaklı, %6 ile yangın tüplerinin yaydığı kaçak emisyonlar kaynaklı ve yaklaşık %0 ile benzin tüketiminden kaynaklı karbon ayak izi miktarı yüzdeleri dağılımı Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri

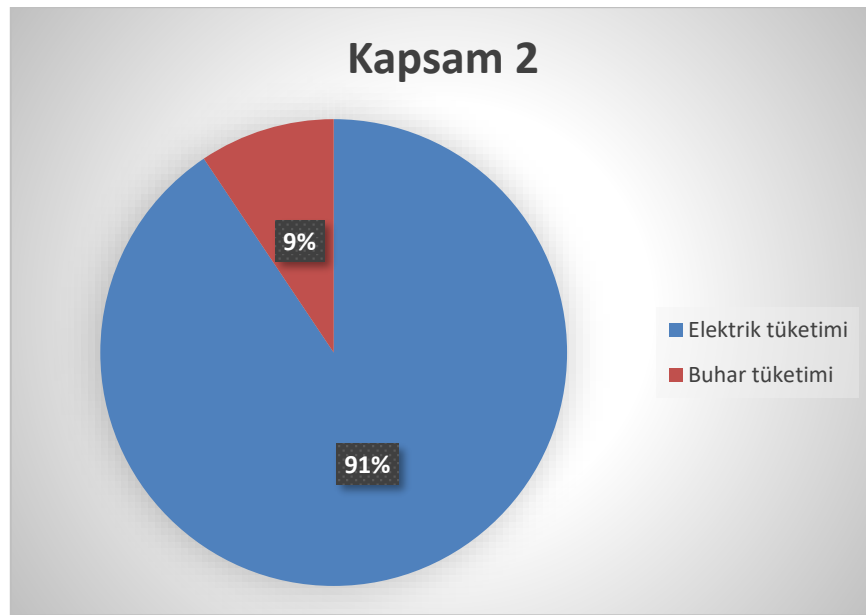
Kapsam 2 Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Kapsam 2 kaynaklı karbon emisyonu kaynakları elektrik ve buhar tüketimidir. Elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 1,23 ton CO₂e/ton ürün, buhar tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,15 ton CO₂e/ton üründür. Kapsam 2 kaynaklı toplam karbon ayak izi miktarı 1,38 kg ton CO₂e/ton üründür. Emisyon kaynaklarına göre karbon ayak izi miktarları Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.3: Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Faaliyet	Karbon Ayak İzi (ton CO ₂ e/ton ürün)
Elektrik tüketimi	1,23
Buhar tüketimi	0,15
Toplam	1,38

Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri şu şekildedir: Elektrik tüketimi %91 ile en yüksek kaynaklı karbon ayak izine neden olmaktadır, %9 ile buhar tüketimi kaynaklı karbon ayak izi miktarı yüzdesel dağılımı Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2:Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri

Kapsam 3 Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Kapsam 3 kaynaklı karbon emisyonu kaynakları su tedariki, su arıtımı, servislerde dizel tüketimi ve atık kamyonunda dizel tüketilmesidir.

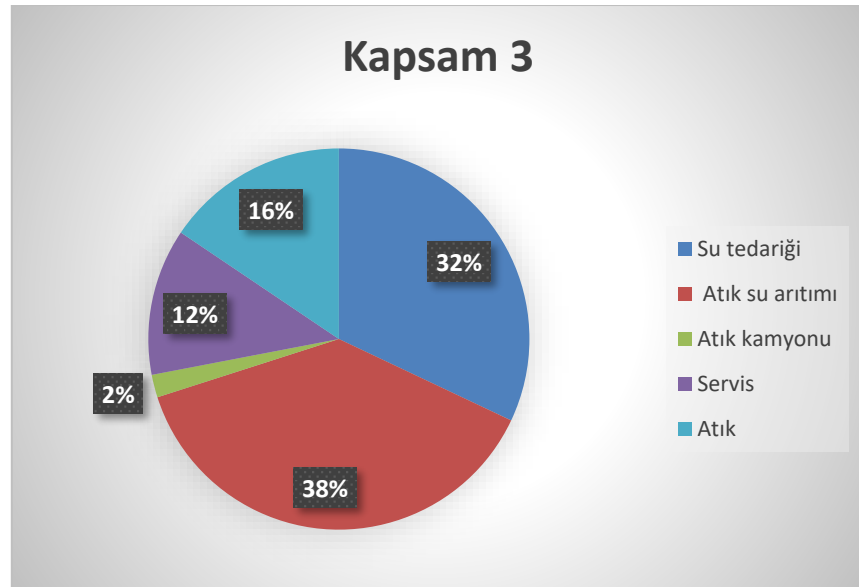
Su tedarikinden kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,0023 ton CO₂e/ton ürün, atık su arıtımından kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,0027 ton CO₂e/ton ürün, atıklardan kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,0011 ton CO₂e/ton ürün, atık kamyonunun dizel yakmasından kaynaklı karbon ayak izi miktarı 0,00014 ton CO₂e/ton ürün ve servislerin dizel yakmasından kaynaklanan karbon ayak izi miktarı 0,00088 ton CO₂e/ton üründür. Kapsam 3 kaynaklı toplam karbon ayak izi miktarı

0,0071 ton CO₂e/ton üründür. Emisyon kaynaklarına göre karbon ayak izi miktarları Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4: Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi miktarları

Faaliyet	Karbon Ayak İzi (ton CO ₂ e/ton ürün)
Su tedariki	0,0023
Atık su arıtımı	0,0027
Atık	0,0011
Atık kamyonu	0,00014
Servis	0,00088
Toplam	0,0071

Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri şu şekildedir: Atık su arıtımı kaynaklı %38 ile en yüksek karbon ayak izine neden olmaktadır, atık su arıtımını takiben sırayla %32 ile su tedariki kaynaklı, %16 ile atıklardan kaynaklı, %12 ile personel servisleri kaynaklı ve %2 ile atık kamyonunun ulaşımı kaynaklı karbon ayak izi miktarı yüzdeleri dağılımı Şekil 5.3’te gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi yüzdeleri

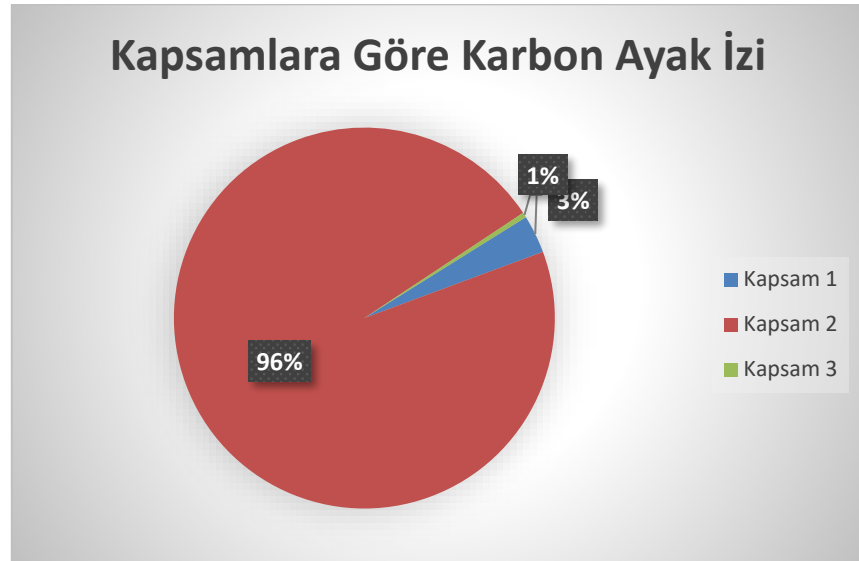
Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Kapsam 1 kaynaklı karbon ayak izi miktarı 0,038 ton CO₂e/ton ürün, kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi miktarı 1,38 ton CO₂e/ton ürün, kapsam 3 kaynaklı karbon ayak izi miktarı 0,0071 ton CO₂e/ton üründür. İşletmeye ait toplam karbon ayak izi miktarı 1,43 ton CO₂e/ton üründür. Kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 kaynaklı karbon ayak iz miktarları Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5: Kapsamlara göre karbon ayak izi miktarları

Kapsamlar	Karbon Ayak İzi (ton CO₂e/ton ürün)
Kapsam 1	0,038
Kapsam 2	1,38
Kapsam 3	0,0071
Toplam	1,43

Kapsamlara göre karbon ayak izi yüzdeleri Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Kapsamlara göre karbon ayak izi yüzdeleri

Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 bir arada değerlendirildiğinde Kapsam 2 kaynaklı karbon ayak izi miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Kapsam 2 kaynaklı emisyon kaynakları elektrik ve buhardır. İşletmede her iki emisyon kaynakları karşılaştırıldığında elektriğin buhara göre daha fazla emisyon yaydığı hesaplanmıştır. Elektrik tüketimi genel olarak ısınma, soğutma, ofis araçları ve üretimde makinelerin

kullanımından kaynaklanmaktadır. Buhar tüketimi ise ısınma ve haşıl prosesinde gerçekleşmektedir.

Kapsam 2 kaynaklı emisyon miktarını azaltmak için;

- İşletmede yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması,
- Enerji verimliliğini sağlayacak çalışmalar yapılması,
- Elektrik ile çalışan makinaların planlı çalışmasının sağlanması,
- Haşıl prosesinde kullanılan buharın kullanımının planlı yapılması,
- Bina iç ve dış yalıtımının iyileştirilmesi,
- Buhar kaçaqlarına karşı buhar hattının izolasyonunun yapılması,
- Sensörlü ve tasarrufu led ampullerin kullanılması,
- Bilgisayar, tablet ve akıllı telefonlarında gereksiz ve mükerrer veri ve mail kaydı yapılmaması,
- Gereksiz ofis araçlarının kapatılması, verimliliği yüksek ve enerji tasarruflu motorlu makinaların kullanımı önerilebilir.

Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 kaynaklı emisyon miktarını azaltmak için ise;

- Toplu taşıt kullanımının teşvik edilmesi,
- Su kullanımının azaltılması ve verimlilik çalışmalarını yapılması,
- Yağmur suyu toplama projesinin yapılması,
- Sensörlü muslukların kullanılması,
- Yangın tüplerinin dolum periyotlarının düzenli kontrol edilmesi,
- Atık miktarının minimize edilmesi,
- Yakıt tüketiminden kaynaklanan salınımları azaltıcı düşük hacimli motorlar ve enerji tasarrufu sağlayıcı araçlar kullanılması,
- Servislerin güzergahlarının en kısa mesafede tutulması,
- Çevresel ürünlerin ve geri dönüşümlü malzemelerin kullanımının yaygın hale getirecek projeler düzenlenmesi önerilebilir.

6. KAYNAKLAR

Arıcı, R., “Kâğıt-Karton Geri Dönüşüm Ürünlerinin Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2018).

Ayan, N., “Muğla İlinde Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayak izi Değişimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2019).

Aydoğan, N.B., “Kumaş Boyama, İplik Boyama, Baskı Ve Konfeksiyon Faaliyetlerinin Karbon Ayak İzi Hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2019).

Bak, Ö., “Tekstil Endüstrisi Kaynaklı Emisyonların İklim Değişiklikleri Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2019).

Balta, M., “Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı ve Enerji Verimliliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2020).

Başoğlu, Y., “Bir Tekstil Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 146-150, (2021).

Bıyık, Y., “Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (2018).

Coşkun, S., Aydoğan N.B., “Tekstil Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 28-35, (2021).

EVÇED, “Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri [online]”, (10 Şubat 2023), <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>, (2022).

Güler, Y., “Sera Gazları, İklim Değişikliğinde Sera Gazı Emisyonlarının Rolü ve Emisyon Ticareti [online]”, (24 Nisan 2023), <https://www.ishad.info>, (2023).

Hasdal, A., Sümengen, Ö., “Endüstri Yapılarında Aydınlatma Enerjisinin Karbon Ayak İzine Etkisinin Hesaplanması: Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Örneği” *İklim ve Sağlık Dergisi*, 1(3),111-121, (2021).

İGDAŞ, “Kaynaktan Eve Doğal Gaz [online]”, (10 Şubat 2023), <https://www.igdas.istanbul/kaynaktan-eve-dogal-gaz/>, (2023).

İşbank, “AB Yeşil Mutabakatı Nedir? Sınırdaki Karbon Düzenlemesinin Ekonomiye Etkisi Nedir? [online]”, (7 Şubat 2023), <https://www.isbank.com.tr/blog/ab-yesil-mutabakati-nedir-sinirda-karbon-duzenlemesinin-ekonomiye-etkisi-ne-olacaktır>, (2023).

Kaya, A., “Sera Etkisinin İklim Değişimine Etkileri [online]”, (4 Mart 2023), <https://www.tech-worm.com/sera-etkisinin-iklim-degisimine-etkileri/>, (2017).

Kılıç, M., Dönmez, T., Adalı, S., “Karayolu Ulaşımında Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayak İzi Değişimi: Çanakkale Örneği”, GÜFBED, AdvanceonlinePublication, doi: 10.17714/gumusfenbil.848016, (2021).

Özer, F., “Karabük’te Doğalgaz Kullanımının Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, (2019).

Pegasus, “Sera Gazı Emisyon Envanter Raporu [online]”, (10 Şubat 2023), https://www.pegasusyatirimciiliskileri.com/medium/image/pegasus-2020-sera-gazi-raporu_1154/view.aspx, (2021).

Pekin, M.A., “Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).

Sağlar, E., “İzmir İli Hava Kirliliğinin Alansal ve Zamansal Olarak Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2019).

Seyhan, A., Çerçi M., “IPCC Tier 1 ve DEFRA Metotları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi’nin Yakıt ve Elektrik Tüketimi Örneği”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26, (3), 386-397, (2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Sanayide Enerji Verimliliği Proje Yarışması[online]”, (10 Şubat 2023), <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/Bilin%C3%A7lendirme/EnerjiVerimlili%C4%9FiKonuluYar%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1m%C4%B1z/Belgeler/SEVYUEsaslar%C4%B1.pdf>, (2021).

T.C. Ticaret Bakanlığı, “Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021[online]”, (2023), <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>, (2021).

TÜİK, “Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021[online]”, (14 Mayıs 2023), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>, (2023).

Türkay, M., “Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonunun (Karbon Ayak İzinin) Hesaplanması: Eskişehir İli Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, (2018).

Üreden, A., “Sürdürülebilir Yaşam İçin Karbon Ayak İzi (Çankırı Karatekin Üniversitesi Örneği)”, Yüksek Lisans Tezi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankırı, (2019).

Wang, C., “Carbon Footprint Of Textile Throughout Its Life Cycle: A Case Study Of Chinese Cotton Shirts”, *J. Clean. Prod.*, 108, 464-475, (2015).

Yan, Y., “Industrial Carbon Footprint Of Several Typical Chinese Textile Fabrics”, *Acta Ecol. Sin.*, 36, 119–125, (2016).

Yeşilbüyüme, “Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması [online]”, (24 Nisan 2023), <https://yesilbuyume.org/sinirda-karbon-duzenlemesi-mekanizmasi/>, (2023).