

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT KAPLAMALARIN KARBON AYAK İZİ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf YABANERİ

OCAK, 2024

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT KAPLAMALARIN KARBON AYAK İZİ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf YABANERİ

UŞAK, 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yusuf YABANERİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1 SERA GAZLARI	4
2.2 KARBONDİOKSİT EMİSYONLARI	6
2.2.1 Karbondioksit Emisyonlarının Azaltılması.....	7
2.3 METAN EMİSYONLARI	8
2.3.1 Metan Emisyonlarının Azaltılması	9
2.4 AZOT OKSİT EMİSYONLARI	10
2.4.1 Azot Oksit Emisyonlarının Azaltılması	11
2.5 FLORLU GAZLARIN EMİSYONLARI	11
2.5.1 Florlu Gazların Emisyonlarının Azaltılması.....	13
2.6 ÜLKELERİN SERA GAZI SALINIMLARI.....	13
2.6.1 Çin'in Sera Gazı Salınımları	15
2.6.2 Amerika Birleşik Devletleri'nin Sera Gazı Salınımları	16
2.6.3 Hindistan'nın Sera Gazı Salınımları	17
2.6.4 Rusya ve Japonya'nın Sera Gazı Salınımları	17
2.6.5 Almanya ve Güney Kore'nin Sera Gazı Salınımları.....	18
2.6.6 İran, Kanada ve Suudi Arabistan'nın Sera Gazı Salınımları	18
2.7 TÜRKİYE'NİN SERA GAZI SALINIMLARI	19
2.7.1 Türkiye'nin Kişi Başına Düşen Karbon Emisyonları	19
2.7.2 Türkiye'de Sektörlere Göre Karbon Emisyonu	20
2.7.3 Türkiye'de Ulaştırma Türüne Göre Sera Gazı Emisyonu.....	20
2.8 KARBON AYAK İZİ KAVRAMI	22
2.8.1 Karbon Ayak İzinin Ölçülmesi	22

3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 MATERYAL.....	24
3.1.1 Karbon Ayak İzi Kapsamları	24
3.1.2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	25
3.1.2.1 Tier 1 Yöntemi	25
3.1.2.2 Tier 2 Yöntemi	26
3.1.2.3 Tier 3 Yöntemi	26
3.1.3 Asfalt Kaplamalar	26
3.1.3.1 Bitümlü Temel.....	27
3.1.3.2 Binder	28
3.1.3.3 Aşınma.....	28
3.1.3.4 Asfalt Kaplamaların Yapım Aşamaları	29
3.1.4 Hesaplamalarda Kullanılacak Tesis ve Proje	31
3.2 YÖNTEM.....	32
3.2.1 Malzeme Temin Aşaması.....	32
3.2.2 İnşaat Aşaması.....	34
4. BULGULAR	36
4.1 MAZOT KULLANIMINDAN KAYNAKLI KARBON EMİSYONU	37
4.2 ELEKTRİK KULLANIMINDAN KAYNAKLI KARBON EMİSYONU	38
4.3 DOĞALGAZ KULLANIMI KAYNAKLI KARBON EMİSYONU	38
4.4 SU KULLANIMI KAYNAKLI KARBON EMİSYONU	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Ulaştırma türüne göre sera gazı emisyonu kiloton CO ₂ eşdeğeri	7
Çizelge 2.2 ABD sera gazı emisyonu kaynakları.....	17
Çizelge 4.1 Şantiye araçlarının kullandığı mazot miktarları.....	36
Çizelge 4.2 Mazot kullanımından kaynaklı karbondioksit emisyonu	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Sera gazlarının atmosferdeki dağılımı	6
Şekil 2.2 Ülkemizde seragazlarının dağılımı ve CO ₂ oranı.....	7
Şekil 2.3 AB’de 3 aylık sera gazı emisyonları	14
Şekil 2.4 Karbon salınımının ülkelere dağılımı	14
Şekil 2.5 Ülkelere göre kişi başına düşen karbon salınımları	16
Şekil 2.6 Türkiye’nin kişi başı karbon salınımlarının diğer ülkelerle kıyaslanması.....	20
Şekil 2.7 Türkiye’nin sektörlere göre sera gazı emisyonu	20
Şekil 2.8 Türkiye’nin ulaştırma türüne göre sera gazı emisyonu.....	21

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1 Sera etkisi	4
Resim 2.2 Çin’de yapımı devam eden kömür yakan santraller.....	15
Resim 3.1 Esnek üstyapı enkesiti	27
Resim 3.2 Asfalt kaplama tabakaları.....	28
Resim 3.3 Reglaj işlemi devam eden yol güzergahı	29
Resim 3.4 Hazırlanan PMT malzemesinin sahaya nakli.....	30
Resim 3.5 Hesaplamalarda kullanılacak tesis	31

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
-------	----------

%	Yüzde
---	-------

Kısaltma	Açıklama
----------	----------

CO _{2e}	Karbondioksit eşdeğeri
------------------	------------------------

CO ₂	Karbondioksit
-----------------	---------------

CH ₄	Metan
-----------------	-------

cm	Santimetre
----	------------

Cm	Santimetre
----	------------

°F	Derece Fahrenheit
----	-------------------

Gg	Gigagram
----	----------

GHG	Sera Gazı Emisyon Faktörü
-----	---------------------------

kg	Kilogram
----	----------

km	Kilometre
----	-----------

kt	Kiloton
----	---------

kwh	Kilowatt
-----	----------

L	Litre
---	-------

Lng	Liquefied Naturel Gas (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)
-----	--

M	Metre
---	-------

M ³	Metreküp
----------------	----------

NF ₃	Nitrojen triflorür
-----------------	--------------------

Ppb	Parts Per Billion (milyardaki parça sayısı)
-----	---

SF ₆	Kükürt Hekzaflorür
-----------------	--------------------

T

Ton

Tj

Terajoule

ASFALT KAPLAMALARIN KARBON AYAK İZİ TESPİTİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf Yabaneri

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2024

ÖZET

Karbon ayak izi bir bireyin veya toplumun günlük faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının karbondioksit cinsinden ölçümüdür. Ülkelerin, kurumların ya da kişilerin doğaya ne kadar zarar verdiklerinin farkında olmaları, doğaya karşı daha hassas ve sürdürülebilir çözümler üretilmesi noktasında fayda sağlayacaktır. Bunun için de karbon ayak izinin hesaplanması gerekir. Bu çalışma kapsamında 1 kilometrelik asfalt kaplama yolun yapım aşamasında ortaya çıkan karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan veriler 18 ay boyunca gözlem sonucunda elde edilen verilerdir. Elde edilen veriler Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli tarafından önerilmiş olan Tier 1 metodu ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 1 kilometrelik asfalt kaplama yol inşası sırasında 210 ton CO₂ emisyonu olarak belirlenmiştir. Bu rakam bir insanın bir senede yaşamsal faaliyetleri sonucu doğaya saldığı CO₂ miktarından yaklaşık olarak 32 kat daha fazladır.

Anahtar Kelimeler : Sürdürülebilirlik, Karbon, Çevre, Toplum, Ekonomi, Emisyon,
Karayolu Güneş Yolları, İklim Değişikliği

Sayfa Adedi : 45 sayfa

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Jülide ÖNER

CARBON FOOTPRINT DETECTION OF ASPHALT PAVEMENTS

(M.Sc. Thesis)

Yusuf Yabaneri

**UŞAK UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
Civil Engineering Department**

January 2024

ABSTRACT

Carbon footprint is the measurement of greenhouse gases, in terms of carbon dioxide, released into the atmosphere as a result of the daily activities of an individual or society. If countries, institutions or individuals are aware of how much damage they cause to nature, it will be beneficial to produce more sensitive and sustainable solutions towards nature. For this, the carbon footprint must be calculated. Within the scope of this study, the carbon footprint resulting from the construction phase of a 1 kilometer asphalt paved road was calculated. The data used during the calculations are the data obtained as a result of observation for 18 months. The data obtained were calculated with the Tier 1 method recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change. As a result of the calculations, 210 tons of CO₂ emissions were determined during the construction of a 1 km asphalt pavement road. This figure is approximately 32 times more than the amount of CO₂ released into nature by a human being as a result of his vital activities in a year.

Keywords : Sustainability, Carbon, Environment, Society, Economy, Emission,
Highway, Solar Roads, Climate Change

Number of pages : 45 pages

Advisor

: Asso. Prof. Dr. Jülide ÖNER

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda beni engin bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bana yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doçent Jülide ÖNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Betül YABANERİ'ye ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Karbon ayak izi, karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) olarak ifade edilen, bir kişi veya kurumların gerçekleştirdiği eylem, organizasyon, hizmet, yer veya üründen kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu olarak açıklanabilir. Daha farklı bir söylemle karbon ayak izi günlük hayattaki faaliyetlerimizle atmosfere saldıığımız karbondioksit gazı dahil tüm sera gazlarının (CO₂) ton eşdeğeri cinsinden miktarını ifade eder. İnsanların günlük hayatında çok basit günlük işlerini yapmak için bile doğaya bir miktar karbon gazı salınımında bulunurlar. Örnek olarak yemek yaparken açılan gaz, ulaşım esnasında kullanılan yakıt, aydınlanmak için elektriğin kullanılması gibi birçok işlemde sera gazları atmosfere salınır. İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O...) atmosferde biriktikçe içinde bulunduğumuz dünya dahada ısınıyor. Bu faaliyetlerin neticesinde gerçekleşen küresel ısınma ise kuraklık, doğal felaketler, biyoçeşitlilik kaybı, iklim değişikliği gibi birçok sorunu beraberinde getiriyor.

İklim değişikliği çağımızı tanımlayan önemli bir sorundur ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) uzun süre boyunca iklimde gözlenen doğal değişimler ile doğrudan ya da dolaylı olarak insan faaliyetlerinin neticesinde ortaya çıkan ve küresel atmosferin kompozisyonunu bozan değişiklik" olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC,1992). 2014 yılında yayımlanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu'nda ilk defa %95 kesinlik oranıyla vurgulanan iklim değişikliğinin nedeninin insan faaliyetleri olduğu hususu, Ağustos 2021'de yayımlanan 6. Değerlendirme Raporu Çalışma Grubu I Raporu'nda da tekrar ifade edilmiştir. Bu kapsamda çağımızda yaşanan iklim değişikliği "antropojenik (insan kaynaklı)" iklim değişikliği olarak da ifade edilmektedir. (Tuğaç,2022).

İklim değişikliği şu anda insan sağlığına yönelik en büyük tehditlerden biri ve başta karbondioksit olmak üzere sera gazları ana neden olarak kabul ediliyor. Çeşitli sanayi sektörleri arasında inşaat sektörü, özellikle de yol inşaatı, kaynak kullanımının üç ana itici gücünden biridir ve ciddi bir çevresel etkiye sahiptir. Bu etki, küresel enerji tüketiminin üçte birini, hammadde tüketiminin %40'ını ve karbon emisyonlarının %30'unu içermektedir. (Choi, 2019) İklim değişikliği ile mücadelenin çerçevesini oluşturan Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma, 5 Ekim 2016 itibarıyla, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanması sonucunda, 4 Kasım 2016 itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Paris Anlaşması'nın ana hedefi, endüstriyelleşme öncesi döneme kıyasen küresel sıcaklık

artışının 2 °C ile sınırlı tutulması, hatta 1.5 °C de kalması için çaba gösterilmesidir. Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından “Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun” 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Buna müteakip 26.Taraflar Konferansında Türkiye 2053 Net Sıfır Hedefini uluslararası kamuoyunda duyurmuştur. Türkiye’nin Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı 2015 yılında sunulmuş olup söz konusu beyanda güncelleme yapılarak 2030 yılında %41 artıştan azaltım hedefi olarak 27.Taraflar Konferansında uluslararası kamuoyu ile paylaşılmıştır. (Coşkun 2022)

Küresel ısınma, sera gazlarının atmosferde ki yoğunluğunun artması sonucunda yeryüzü sıcaklığının suni olarak yükselmesidir. Sera gazları, yeryüzünden yansıyan kızıl ötesi ışınları hapsedip, bu ışınların atmosferin dışına çıkmasını önleyerek, gezegenin ısı ve enerji dengesini bozmakta böylelikle yüzey ısısının yükselmesine neden olmaktadır. Sera gazlarının bu etkisine sera etkisi, bu yolla meydana gelen uzun süreli iklim olayına da küresel ısınma denir. Başka bir tanımla küresel ısınma soluduğumuz havadaki sera gazı konsantrasyonunun artması sonucu dünya atmosfer sıcaklığının giderek artması anlamına gelir. Bu gazlar uzun dalga kızılötesi ışın ve ısıları geçirmezler ve sera etkisi yaratırlar. Güneşten dünyamıza gelen ısı kısa dalga boyludur ve engele takılmazlar ancak yerküre tarafından soğutulup tekrar yayıldığı ve yansıtıldığı zaman dalga boyları uzar ve bir kısmı atmosferdeki gazlara takılır bu da sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya sebep olur (Edemen ve ark. 2023). Sera gazları içerisinde bulunan CO₂ küresel ısınmayı büyük ölçüde etkilemektedir ve ulaştırma sektöründeki faaliyetlerden dolayı oldukça yüksek bir emisyon olarak karşımıza çıkmaktadır.

Başlıca sera gazı olan CO₂ gazının emisyonuna yol açan temel sektörlerden biri olan ulaştırma sektörü, iklim değişikliği ve küresel ısınmada önemli rol oynamakta ve küresel bir tehdit oluşturmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2020 yılı verilerine göre, ulaştırma sistemleri içinde sera gazı emisyonunda en fazla pay karayolu taşımacılığına aittir. (Bozkurt ve Kayış, 2023)

Küresel düzeyde karbondioksit emisyonlarının %75’i şehirlerde gerçekleştirilen faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bu faaliyetler arasında ulaşım, binalar, sanayi sektörü ve bu sektörler için fosil yakıt kaynaklı enerji üretimi ve tüketimi yer almaktadır. (UNEP, 2022).

Hükümetlerarası iklim değişikliği Paneline (IPCC) göre; 2004 yılındaki insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %56’sı fosil yakıt kullanımından ortaya çıkan karbondioksit'e ait olduğu açıklanmıştır. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %25’i ulaşım sektörüne ait olup her yıl kullanılan petrolün yaklaşık % 61.5’i ulaşım sektöründedir. (Somuncu, 2023). Dünyanın toplam enerji üretiminin %87’si fosil yakıtlardan elde edilmektedir. (Somuncu, 2023).

Ulaştırma sektöründe fosil yakıt kullanımını çok yüksek olduğundan dolayı karbon emisyonu da buna doğru orantılı olarak yüksektir. 2020 yılında ulaşım kaynaklı küresel enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu (%96,7) hâlâ petrol ve petrol ürünleriyle karşılanırken, geri kalanı ise biyoyakıtlardan (%3) ve yenilenebilir elektrikten (%0,3) karşılandı (KPGM, 2020). Ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerjinin az kullanılması ve fosil yakıtların kullanımının yoğun olması bize sera gazı emisyonunun ne kadar yüksek olduğunu kanıtlar nitelikte.

Bu tez çalışmasında ulaşım faaliyetlerinde kullanılan asfalt kaplamaların karbon ayak izinin tespitinin yapılması, 1 km’lik asfalt kaplamaların üretimi aşamasında ortaya çıkan karbon gazı salınımı tespitinin yapılması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Sera Gazları

Atmosferde ısı tutan gazlara sera gazları denir. Güneşten gelen ışın ve ışıklar atmosferden filtrelenerek geçer yer küreyi ısıtır yer küredeki ısı kaybı da atmosfer tarafından engellenir atmosferin ısıyı geçirme ve tutma özelliğine sera gazı etkisi denir. (EPA, 2023)

Sera etkisinin ulusal sistem ve sosyal ekonomi üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Trafik endüstrisi , sera gazı ve hava kirliliği emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Genellikle, büyük miktarlarda CO₂, CH₄ ve N₂O yayan kaplama yapımında geleneksel sıcak karışım asfalt kullanılır. Bu malzeme, yüksek karbon emisyon modelinin bir parçasıdır ve düşük karbonlu bir ekonominin gelişmesine elverişsiz olan karayolu endüstrisinin karbon emisyonu felaket alanının bir unsuru olarak kabul edilmektedir. (Bo Peng ve ark. 2015)

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), ulaştırma endüstrisinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının küresel emisyonların yaklaşık %25'ini oluşturduğunu bildirmiştir (Bo Peng ve ark. 2015).



Resim 2.1 Sera Etkisi

Resim 2.1 de sera etkisinin oluşumu gösterilmektedir.

IPCC verilerine göre, karbon dioksit, metan, diazot monoksit ve kloroflorokarbon gazlarının atmosferdeki konsantrasyonundaki artış insan etkisinin bir sonucudur ve bu artışın temel nedeni olan fosil yakıt tüketimiyle birlikte bu durum 1750 yılından bu yana devam

etmektedir. Bu gazlar radyasyonu absorbe ederek dünyanın mevcut enerji sirkülasyonunu bozmakta ve iklim düzenini de etkilemektedir. (Özcan, 2019)

Aşağıda sera etkisine neden olan gazlar listelenmiştir.

Karbondioksit (CO₂) : Karbondioksit atmosfere fosil yakıtların (kömür, doğalgaz ve petrol), katı atıkların, ağaçların ve diğer biyolojik maddelerin yakılması ve ayrıca bazı kimyasal reaksiyonlar (örneğin çimento imalatı) sonucu girer. Karbondioksit, biyolojik karbon döngüsünün bir parçası olarak bitkiler tarafından emildiğinde atmosferden atılır. (EPA, 2023)

Metan (CH₄) : Kömür, doğal gaz ve petrolün üretimi ve taşınması sırasında metan açığa çıkar. Metan emisyonları ayrıca hayvancılık ve diğer tarımsal uygulamalardan, arazi kullanımından ve belediye katı atık depolama alanlarındaki organik atıkların çürümesinden de kaynaklanmaktadır. (EPA, 2023)

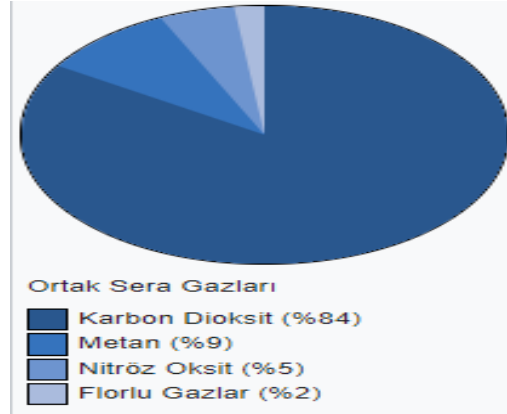
Azot oksit (N₂O) : Azot oksit, tarım, arazi kullanımı ve endüstriyel faaliyetler sırasında yayılır; fosil yakıtların ve katı atıkların yanmasının yanı sıra atık su arıtımı sırasında.

Florlu gazlar : Hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürt heksaflorür ve nitrojen triflorür, çeşitli ev tipi, ticari ve endüstriyel uygulama ve işlemlerden yayılan sentetik, güçlü sera gazlarıdır. Florlu gazlar (özellikle hidroflorokarbonlar) bazen stratosferik ozon tüketen maddelerin(örneğin kloroflorokarbonlar, hidrokloroflorokarbonlar ve halonlar) ikamesi olarak kullanılır. Florlu gazlar tipik olarak diğer sera gazlarından daha küçük miktarlarda yayılır ancak bunlar güçlü sera gazlarıdır. (EPA, 2023)

Her bir gazın iklim değişikliği üzerinde atmosfere ne kadar bulunduğu, ne kadar kaldığına ve ne kadar güçlü etkilediğine dair parametrelere göre etkileri vardır. Konsantrasyon veya bolluk, havadaki belirli bir gazın miktarıdır. Daha büyük sera gazı emisyonları, atmosferde daha yüksek konsantrasyonlara yol açar. Sera gazı konsantrasyonları milyonda parça, milyarda parça ve hatta trilyonda parça olarak ölçülür. Milyonda bir kısım, yaklaşık 13 galon sıvı (kabaca bir kompakt otomobilin yakıt deposu) içinde seyreltilmiş bir damla suya eşdeğerdir. Bu gazların her biri atmosferde birkaç yıldan binlerce yıla kadar değişen sürelerde kalabilir. Bu gazların tümü, iyi karışmaya yetecek kadar atmosferde kalır, yani atmosferde ölçülen miktar, emisyonların kaynağından bağımsız olarak tüm dünyada kabaca aynıdır.

Bazı gazlar, gezegeni daha sıcak hale getirmede ve Dünya'nın örtüsünü kalınlaştırmada diğerlerinden daha etkilidir. Her bir sera gazı için, farklı gazların küresel ısınma etkilerinin karşılaştırılmasını sağlamak için bir Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) geliştirilmiştir. Spesifik olarak, 1 ton karbon dioksit (CO₂) emisyonlarına göre 1 ton gaz emisyonunun belirli bir süre boyunca ne kadar enerji emeyeceğinin bir ölçüsüdür. Daha yüksek GWP'ye sahip gazlar, daha

düşük GWP'ye sahip gazlardan daha fazla enerji emer ve böylece Dünya'nın ısınmasına daha fazla katkıda bulunur.



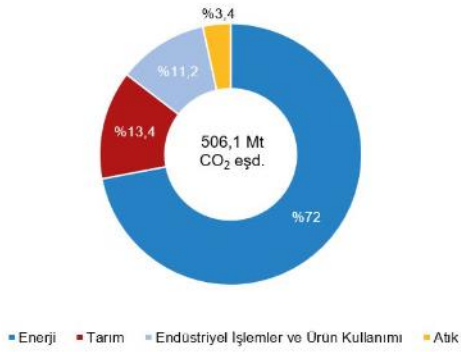
Şekil 2.1 Sera gazlarının atmosferdeki dağılımı

Yukarıda bahsedilen sera gazlarının atmosferdeki dağılım oranları şekil 2.1 de gösterilmiştir.

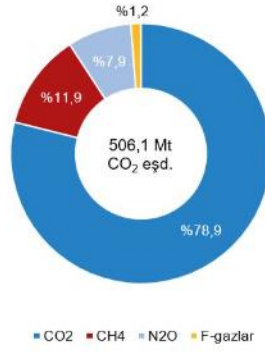
2.2 Karbondioksit Emisyonları

Karbondioksit (CO_2), insan faaliyetleri yoluyla yayılan birincil sera gazıdır. 2019 da ülkemizde sera gazları emisyonlarının yaklaşık yüzde 79'luk kısmını karbondioksit emisyonu oluşturmaktadır. Karbondioksit, Dünya'nın karbon döngüsünün bir parçası olarak atmosferde doğal olarak bulunur (karbonun atmosfer, okyanuslar, toprak, bitkiler ve hayvanlar arasında doğal dolaşımı). İnsan faaliyetleri, hem atmosfere daha fazla CO_2 ekleyerek hem de ormanlar ve topraklar gibi doğal yutakların atmosferden CO_2 çıkarma ve depolama yeteneklerini etkileyerek karbon döngüsünü değiştiriyor. CO_2 emisyonları çeşitli doğal kaynaklardan gelir, insan kaynaklı emisyonlar, sanayi devriminden bu yana atmosferde meydana gelen artıştan sorumludur.

Sektörlere göre sera gazı emisyon oranları, 2019



Gazlara göre sera gazı emisyon oranları, 2019



Şekil 2.2 Ülkemizde sera gazlarının dağılımı ve karbondioksitin oranı (TÜİK, 2021)

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere Türkiye’de en fazla sera gazı salınımı enerji sektörüne aittir. Bu sera gazlarının salınımının içindeki en büyük pay %78,9 ile karbondioksit aittir.

Çizelge 2.1 Ulaştırma türüne göre sera gazı emisyonu kiloton CO₂ eşdeğeri (ÇŞB, 2022)

Yıllar	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Toplam	26.969	34.113	36.465	42.041	45.392	75.789	82.787	80.745
Havayolu	923	2.775	3.099	4.089	2.862	4.205	3.648	3.472
Karayolu	24.777	29.760	31.850	35.532	39.941	69.309	77.289	75.130
Demiryolu	721	768	713	757	517	480	388	357
Denizyolu	509	726	623	1.299	1.682	1.147	920	1.204
Diğer ulaşırma	39	83	180	364	390	647	541	580

Ulaştırma faaliyetlerinde yüzde 93’lük dilimle karayolu ulaşımı karbondioksit emisyonunda birinci sıradadır. Bunu sırasıyla havayolu ve denizyolu verileri takip etmektedir. Bu durum Çizelge 2.1’de özetlenmiştir. 2019 yılındaki verilerde Türkiye’de toplam sera gazı emisyonları içerisinde ulaşırma sektörünün payı %16 iken 28 AB ülkesinde toplam sera gazı emisyonlarının %23’ü ulaşırma sektörüne aittir (TÜİK, 2021). Verilere uluslararası havacılık ve deniz emisyonları dahil değildir.

2.2.1 Karbondioksit Emisyonlarının Azaltılması

Karbondioksit emisyonlarını azaltmanın en etkili yolu fosil yakıt kullanımını azaltmaktır. Enerji kullanımı ve üretimi sırasında oldukça fazla emisyon gerçekleşir. Enerjiyi

verimli kullanarak karbon emisyonunu azaltmak mümkün. Binalarda ısı yalıtımı kullanılması, yakıt verimi daha yüksek olan araçların tercih edilmesi, daha verimli elektrikli aletler kullanmak, fosil yakıt tüketen araçlar yerine elektrikli araçları tercih etmek gibi yöntemler ile enerjiyi daha verimli kullanıp karbon emisyonu seviyemizi azaltabiliriz. Enerjiyi tasarruflu kullanmak karbon emisyonunu azaltmada bize oldukça yardımcı olacaktır. Kullanılmayan veya gereksiz yere kullanılan elektronik cihazları kapatarak elektrik üretim ve tüketiminden kaynaklı karbon emisyonunu azaltabiliriz. Yenilenebilir kaynaklardan daha fazla enerji üretmek ve daha düşük karbon içerikli yakıtlar kullanmak karbon emisyonlarını azaltmanın yollarıdır.

Karbondiyoksit yakalama ve ayırma, yeni ve mevcut kömür ve gaz yakıtlı enerji santralleri, endüstriyel süreçler ve diğer sabit CO₂ kaynaklarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını potansiyel olarak büyük ölçüde azaltabilen bir dizi teknolojidir. Örneğin, bir CCS projesi, atmosfere girmeden önce kömürle çalışan bir elektrik santralinin bacalarından CO₂ yakalayabilir, CO₂'yi boru hattı yoluyla taşıyabilir ve CO₂'yi dikkatlice seçilmiş ve uygun bir yeraltı jeolojik oluşumunda yeraltına enjekte edebilir. Bu yöntemde karbon emisyonunu azaltmada kullanılabilecek bir yöntemdir.

2.3 Metan Emisyonları

ABD'de bulunan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA), insan kaynaklı iklim değişikliğinin karbondiyoksitten sonra ikinci en büyük kaynağını metan gazı olarak belirledi ve bu metan gazının atmosferde son 40 yılın en yüksek seviyesine ulaştığını bildirdi. NOAA'nın bildirdiğine göre, 2021'de, atmosferdeki metan gazı miktarı milyarda 17 birim (ppb) yükseldi. 2020'de ise bu artış 15 ppb olarak kaydedildi.

BM bünyesindeki Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) son raporuna göre atmosferdeki metan gazı seviyesi 800 bin yıldan beri en yüksek seviyesine ulaşmış durumda. Doğal gazın ana bileşenlerinden biri olan metan gazı, petrol ve gaz sondajlarından ve fosil yakıtları taşıyan boru hatlarından sızabiliyor, çöpler ve tarımsal uygulamaların yanı sıra gaz çıkaran ineklerden de kaynaklanabiliyor.

Metan gazı karbondiyoksit oranla atmosferde daha az kalıyor. Karbondiyoksit atmosfere bir kez salındığında bile etkisi yıllarca devam edebiliyor. Metan 100 yıllık bir süre içinde karbondiyoksit göre 28-34 kat daha fazla ısı tutabiliyor. Metan ayrıca doğal sulak alanlar gibi doğal kaynaklardan da yayılır. Ayrıca topraktaki doğal süreçler ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar CH₄'ün atmosferden uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Genel olarak metan gazının

atmosferdeki bütün sera gazları içindeki payı %23'tür. TÜİK'e göre Türkiye'de metan salımlarının yüze 61'i tarım, yüzde 22'si atık, yüzde 17'si enerji sektörlerinden kaynaklandı.

Metan gazı salınımına etki eden faktörler aşağıda sıralanmıştır.

Tarım : Sığır, domuz, koyun ve keçi gibi evcil hayvanlar normal sindirim süreçlerinin bir parçası olarak CH₄ üretirler. Ayrıca, hayvan gübresi lagünlerde veya tutma tanklarında depolandığında veya yönetildiğinde, CH₄ üretilir. İnsanlar bu hayvanları yiyecek ve diğer ürünler için yetiştirdiğinden, emisyonların insan kaynaklı olduğu düşünülür. Tarım sektörü, Türkiye'nin en büyük CH₄ emisyon kaynağıdır.

Evlerden ve İşletmelerden Kaynaklanan Atıklar : Atık ayrıştıkça ve atık suyun arıtılması sırasında düzenli depolama alanlarında metan üretilir. Depolama alanları, Türkiye'de ikinci en büyük CH₄ emisyon kaynağıdır. Metan ayrıca evsel ve endüstriyel atıksu arıtımından ve kompostlaştırma ve anaerobik çürütmeden de üretilir.

Enerji ve Sanayi : Doğal gaz ve petrol sistemleri, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en büyük ikinci CH₄ emisyon kaynağıdır. Metan, doğal gazın birincil bileşenidir. Doğal gazın üretimi, işlenmesi, depolanması, iletimi ve dağıtımı ile ham petrolün üretimi, arıtılması, taşınması ve depolanması sırasında atmosfere metan salınmaktadır. Kömür madenciliği de CH₄ emisyonlarının bir kaynağıdır.

2.3.1 Metan Gazı Emisyonlarının Azaltılması

Metan emisyonlarının azaltılması sanayi sektörü için; petrol ve doğal gaz üretmek, depolamak ve taşımak için kullanılan ekipmanın yükseltilmesi, CH₄ emisyonlarına katkıda bulunan birçok sızıntıyı azaltabilir. Kömür madenlerinden çıkan metan da yakalanabilir ve enerji için kullanılabilir.

Tarım sektörü için gübre yönetimi uygulamalarından kaynaklanan metan, gübre yönetimi stratejileri değiştirilerek azaltılabilir ve yakalanabilir. Ek olarak, hayvan besleme uygulamalarında yapılan değişiklikler, enterik fermantasyondan kaynaklanan emisyonları azaltabilir.

Ev ve işyerlerinden oluşan atıkları azaltmak için depolama gazından kaynaklanan CH₄ emisyonları için depolama sahası, CH₄'ü yakalayan emisyon kontrolleri etkili bir azaltma stratejisidir.

2.4 Azot Oksit Emisyonları

Türkiye’de azot oksit emisyonları tüm sera gazı emisyonları içinde %8’lik bir dilimi oluşturuyor. Tarım, yakıt yakma, atık su yönetimi ve endüstriyel süreçler gibi insan faaliyetleri atmosferdeki N_2O miktarını artırıyor. Nitröz oksit de Dünya'nın nitrojen döngüsünün bir parçası olarak atmosferde doğal olarak bulunur ve çeşitli doğal kaynaklara sahiptir. Nitröz oksit molekülleri, bir lavabo tarafından uzaklaştırılmadan veya kimyasal reaksiyonlarla yok edilmeden önce ortalama 114 yıl atmosferde kalır. 1 pound N_2O 'nun atmosferi ısıtma üzerindeki etkisi, 1 pound karbon dioksitin neredeyse 300 katıdır.

Küresel olarak, toplam N_2O emisyonlarının yaklaşık %40'ı insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Azot oksit, tarım, arazi kullanımı, ulaşım, sanayi ve diğer faaliyetlerden yayılır.

Tarım : Azot oksit, sentetik ve organik gübrelerin uygulanması ve diğer mahsul uygulamaları, gübre yönetimi veya tarımsal kalıntıların yakılması gibi çeşitli tarımsal toprak yönetim faaliyetlerinden kaynaklanabilir. Tarımsal toprak yönetimi, Türkiye’deki en büyük N_2O emisyon kaynağıdır ve 2020'deki toplam Türkiye N_2O emisyonlarının yaklaşık %80’lik kısmını oluşturur. N_2O emisyonları şu şekilde ortaya çıkar: Arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği, ormancılıktaki arazi kullanımı ve arazi yönetimi faaliyetlerinin bir sonucu kentsel topraklara ve orman arazilerine sentetik azotlu gübrelerin uygulanması.

Yakıt Yanması : Yakıtlar yandığında azot oksit yayılır. Yanan yakıtlardan yayılan N_2O miktarı, yakıtın tipine ve yakma teknolojisine, bakım ve işletim uygulamalarına bağlıdır.

Sanayi: Azot oksit, sentetik ticari gübre yapmak için kullanılan nitrik asit gibi kimyasalların üretimi sırasında ve naylon gibi elyaf yapmak için kullanılan adipik asit ve diğer sentetik ürünlerin üretiminde yan ürün olarak üretilir.

Atık : Nitröz oksit ayrıca, genellikle üre, amonyak ve protein formunda bulunan nitrojenin nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu sırasında evsel atık suyun arıtılmasından da üretilir.

Azot oksit emisyonları, azotun atmosfer, bitkiler, hayvanlar ve toprakta ve suda yaşayan mikroorganizmalar arasında doğal dolaşımı olan azot döngüsü ile ilişkili birçok kaynak yoluyla doğal olarak meydana gelir. Azot, N_2O dahil olmak üzere, azot döngüsü boyunca çeşitli kimyasal formlar alır. Doğal N_2O emisyonları, esas olarak, topraklarda ve okyanuslarda azotu parçalayan bakterilerden kaynaklanır. Nitröz oksit, belirli bakteri türleri tarafından emildiğinde

veya ultraviyole radyasyon veya kimyasal reaksiyonlarla yok edildiğinde atmosferden uzaklaştırılır.

2.4.1 Azot Oksit Emisyonlarının Azaltılması

Azot oksit emisyonlarını azaltmanın birden çok yolu vardır. Tarım sektöründe ortaya çıkan azot emisyonlarını toplam azot emisyonlarının %80'lik kısmını oluşturur bunu azaltmak için; azot bazlı gübre uygulamalarını azaltarak ve bu gübreleri daha verimli bir şekilde uygulayarak ve bir çiftliğin gübre yönetimi uygulamalarını değiştirerek emisyonlar azaltılabilir.

Azot oksit, yakıt yanmasının bir yan ürünüdür, bu nedenle motorlu araçlarda ve ikincil kaynaklarda yakıt tüketimini azaltmak emisyonları azaltabilir. Ek olarak, kirlilik kontrol teknolojilerinin (örneğin, binek araçlarından çıkan egzoz kirleticilerini azaltmak için katalitik konvertörler) tanıtılması da N₂O emisyonlarını azaltabilir.

Nitröz oksit genellikle endüstriden fosil yakıtın yanması yoluyla yayılır, bu nedenle teknolojik iyileştirmeler ve yakıt değişimi, endüstrinin N₂O emisyonlarını azaltmanın etkili yollarıdır. Nitrik asit ve adipik asit üretimi, teknolojik iyileştirmeler ve azaltma ekipmanı kullanımı yoluyla azaltılabilen N₂O emisyonlarıyla sonuçlanır.

2.5 Florlu Gazların Emisyonları

Diğer birçok sera gazından farklı olarak, florlu gazların önemli doğal kaynakları yoktur ve neredeyse tamamen insan kaynaklı faaliyetlerden gelir. Ozon tabakasını incelten maddelerin ikamesi olarak kullanımları (örneğin, soğutucular olarak) ve alüminyum ve yarı iletken üretimi gibi çeşitli endüstriyel işlemler yoluyla yayılırlar. Birçok florlu gazın diğer sera gazlarına göre çok yüksek küresel ısınma potansiyeli (GWP) vardır, bu nedenle küçük atmosferik konsantrasyonların küresel sıcaklıklar üzerinde orantısız olarak büyük etkileri olabilir. Ayrıca, bazı durumlarda binlerce yıl süren uzun atmosferik ömürlere sahip olabilirler. Diğer uzun ömürlü sera gazları gibi, florlu gazların çoğu atmosferde iyi karışır ve yayıldıktan sonra dünyaya yayılır. Birçok florlu gaz, atmosferden ancak uzak üst atmosferde güneş ışığı tarafından yok edildiğinde uzaklaştırılır. Genel olarak, florlu gazlar, insan faaliyetleri tarafından yayılan en güçlü ve en uzun süreli sera gazı türüdür.

Florlu gazların dört ana kategorisi vardır: hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), kükürt hegzaflorür (SF_6) ve nitrojen triflorür (NF_3). Florlu gaz emisyonlarının en büyük kaynakları aşağıda açıklanmıştır.

Ozon İncelten Maddeler: Hidroflorokarbonlar, soğutucu akışkanlar, aerosol itici gazlar, köpük üfleme maddeleri, çözücüler ve yangın geciktiriciler olarak kullanılır. Bu bileşiklerin başlıca emisyon kaynağı, örneğin hem araçlardaki hem de binalardaki klima sistemlerinde soğutucu olarak kullanımlarıdır. Bu kimyasallar, stratosferik ozon tabakasını tüketmedikleri için kloroflorokarbonların (CFC'ler) ve hidrokloroflorokarbonların (HCFC'ler) yerini alacak şekilde geliştirilmiştir. Kloroflorokarbonlar ve HCFC'ler de sera gazlarıdır; ancak katkıları, Montreal Protokolü adı verilen uluslararası bir anlaşma kapsamında aşamalı olarak kullanımdan kaldırıldıkları için buraya dahil edilmemiştir. HFC'ler, yüksek GWP'leri olan güçlü sera gazlarıdır ve üretim süreçleri ve sızıntılar, servis ve kullanıldıkları ekipmanın atılması yoluyla atmosfere salınırlar. Yeni geliştirilen hidrofloroolefinler (HFO'lar), HFC'lerin bir alt kümesidir ve kısa atmosferik ömürler ve daha düşük GWP'ler ile karakterize edilir. HFO'lar şu anda soğutucular, aerosol iticiler ve köpük üfleme maddeleri olarak tanıtılmaktadır. 2020 Amerikan Yenilik ve Üretim (AIM) Yasası, EPA'yı üç ana alanda yeni yetkiler sağlayarak HFC'leri ele almaya yönlendiriyor.

Sanayi :Perflorokarbonlar, alüminyum üretiminin bir yan ürünü olarak üretilir ve yarı iletkenlerin imalatında kullanılır. PFC'ler genellikle uzun atmosferik ömürlere ve 10.000 civarında GWP'ye sahiptir. Kükürt hegzaflorür, magnezyum işleme ve yarı iletken imalatında ve ayrıca kaçak tespiti için bir izleyici gazda kullanılır. Yarı iletken üretiminde azot triflorür kullanılır. HFC-23, HCFC-22 üretiminin bir yan ürünü olarak üretilir ve yarı iletken üretiminde kullanılır.

Elektrik İletim ve Dağıtım : Sülfür hegzaflorür, devre kesiciler de dahil olmak üzere elektrik iletim ekipmanlarında yalıtkan bir gaz olarak kullanılır. SF_6 'nın GWP'si 22.800 olup, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin değerlendirdiği en güçlü sera gazıdır.

Genel olarak dünyadaki florlu gaz emisyonları 1990 ile 2020 arasında artış göstermiştir. Bu artış, hidroflorokarbonların (HFC'ler) 1990'dan beri %284 oranında artmasından kaynaklanmaktadır, çünkü bunlar hidroflorokarbonların (HFC'ler) ikamesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. ozon tabakasını incelten maddeler. Perflorokarbonlar (PFC'ler) ve kükürt hegzaflorür (SF_6) emisyonları, alüminyum üretim endüstrisindeki (PFC'ler) ve elektrik iletim ve dağıtım endüstrisindeki (SF_6) emisyon azaltma çabaları nedeniyle bu süre zarfında fiilen düşmüştür.

2.5.1 Florlu Gazların Emisyonlarının Azaltılması

Çoğu florlu gazın atmosferik ömrü çok uzun olduğundan, mevcut konsantrasyonlarda gözle görülür bir düşüş görmek uzun yıllar alacaktır. İşletmeler ve konutlar tarafından kullanılan soğutucular florlu gazlar yayar. Bu gazların daha iyi ele alınması ve daha düşük küresel ısınma potansiyeline sahip ikame maddelerin kullanılması ve diğer teknolojik gelişmeler sayesinde emisyonlar azaltılabilir.

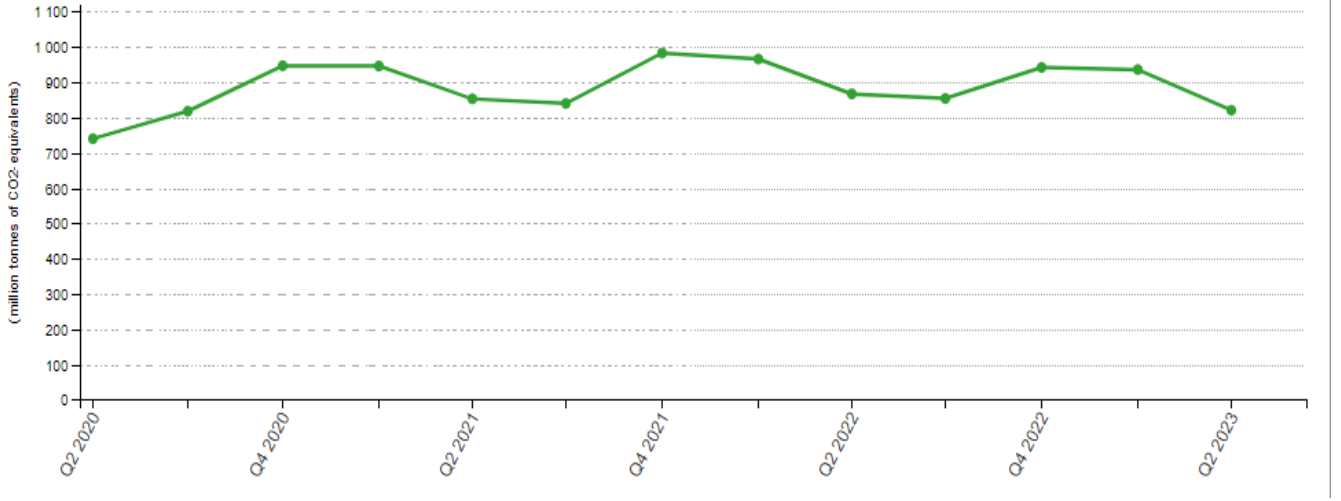
Florlu gazların endüstriyel kullanıcıları, florlu gaz geri dönüşüm ve imha süreçlerini benimseyerek, emisyonları en aza indirmek için üretimi optimize ederek ve bu gazları alternatifleriyle değiştirerek emisyonları azaltabilir.

Kükürt heksaflorür, elektrik şebekesinden elektrik iletirken çeşitli amaçlarla kullanılan son derece güçlü bir sera gazıdır. EPA, kaçak tespiti ve onarımını, geri dönüşüm ekipmanının kullanımını ve SF₆ kullanmayan alternatif teknolojilerin değerlendirilmesini teşvik eden SF₆ Elektrik Güç Sistemleri için Emisyon Azaltma Ortaklığı aracılığıyla emisyonları azaltmak için endüstri ile birlikte çalışmaktadır. Hidroflorokarbonlar (HFC'ler), araç klima sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların sızıntısı yoluyla salınır. Sızıntı, daha iyi sistem bileşenleri ve şu anda kullanılanlardan daha düşük küresel ısınma potansiyeline sahip alternatif soğutucuların kullanılması yoluyla azaltılabilir.

2.6 Ülkelerin Sera Gazı Salınımları

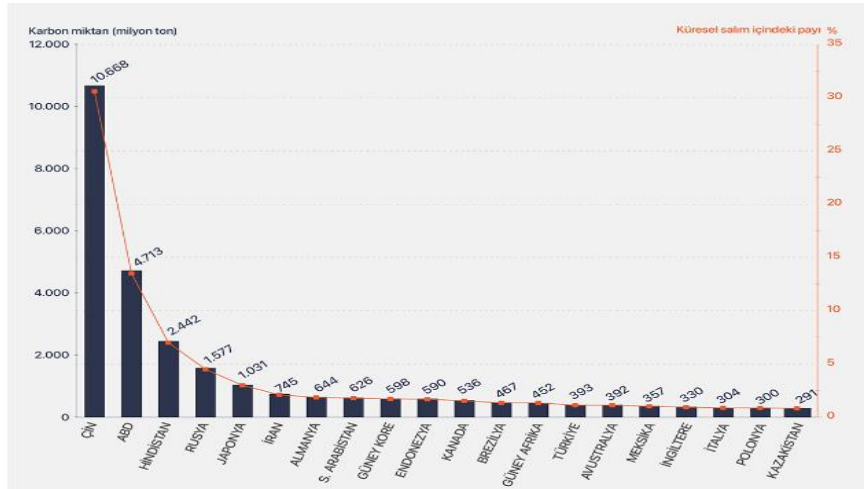
Sera gazı (GHG), atmosferdeki ısıyı hapseden bir gazdır. Sera gazları, bir seradaki cama benzer şekilde çalıştıkları için bu şekilde adlandırılmıştır. Doğrudan geçen ve yere ulaştığında ısı üreten güneş ışığına engel teşkil etmezler. Bununla birlikte, bu ısı yükselmeye ve dağılmaya çalıştığında, gazlara/camlara nüfuz edemez ve bunun yerine birikerek ortam sıcaklığını yükseltir. Bu fenomen sera etkisi olarak bilinir. Sera gazları aslında Dünya'yı sıcak tutmak için gereklidir; onlarsız, küresel sıcaklık ortalama 0°F olacaktır. Bununla birlikte, insan faaliyetleri özellikle belirli tarımsal uygulamalar ve fosil yakıtların yakılması atmosferde aşırı miktarda sera gazı yarattı. Bunun doğal olmayan küresel ısınmanın birincil nedeni olduğu yaygın olarak anlaşılmaktadır. Dünya ülkeleri atmosfere değişen miktarlarda sera gazı üretiyor ve salıyor. Bir

ülkedeki genel emisyon seviyesi, nüfusunun büyüklüğü, gayri safi yurt içi hasılası, enerji sektörü ve daha fazlasıyla açıklanabilir.



Şekil 2.3 AB’de 3 Aylık Sera Gazı Emisyonları (Eurostat, 2023)

Şekil 2.3’ten hareketle 2023’ün ikinci çeyreğinde Avrupa Birliği ekonomisinin sera gazı emisyonları, 2022’nin aynı çeyreğine kıyasla %5,3 düşüşle toplam 821 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaştı (Eurostat, 2023).



Şekil 2.4 Karbon salınımının ülkelere dağılımı (Küresel karbon projesi 2022)

Şekil 2.4’e bakıldığında Çin’in küresel karbon emisyonlarının %39’unu oluşturduğu ve en fazla karbon salınımı yapan devlet olduğu, Amerika Birleşik Devletleri’nin ise %17 ile Çin’i izlediği görülmektedir.

2.6.1 Çin'in Sera Gazı Salınımları

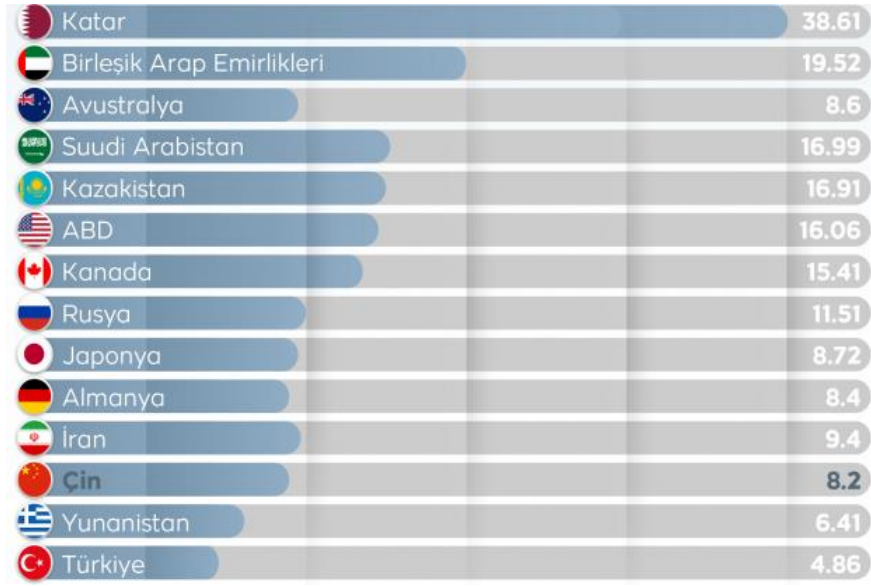
Dünya ülkeleri 2015 yılında iklim değişikliğine çözüm olması amacıyla Paris'te bir toplantı gerçekleştirdi ve Paris Anlaşmasına imza attılar. Güncel rakamlar şuana kadar toplamda 189 ülkenin bu anlaşmaya imza attığını gösteriyor. Çin ve ABD toplam küresel emisyonların yarısından fazlasını oluşturuyor. Çin Dünyanın en fazla karbon salan ülkesidir. Bu durumun başlıca nedeni ülke yıllardır enerji ihtiyacını kömürden karşılıyor ve kullanımı da gün geçtikçe daha da artmaktadır. Çin karbon salınımını azaltmayı vaat etse de ülkede hala kömür yakan elektrik santrali inşalarına devam ediliyor



Resim 2.2 Çin'de yapımı devam eden kömür yakan santraller (Global Energy Monitor, 2021)

Çin bu olumsuzluklara rağmen yenilenebilir enerji konusunda büyük ilerlemeler kaydetti. Şu anda dünyada üretilen güneş enerjisi üretiminin üçte birini Çin tek başına elde ediyor. Ayrıca Çin, dünyanın en büyük rüzgar enerjisi üreticisi olma ünvanına da sahip. Ancak kömüre olan talebinin çok fazla olması Çin'in Dünya üzerindeki olumlu etkilerini gölgede bırakıyor.

Resim 2.2'de görüldüğü üzere Çin'de yapımı devam eden kömür santrallerinin oldukça fazla olması bu durumu kanıtlar nitelikte. Çin dünyanın en kalabalık nüfusuna sahip olmasına rağmen kişi başına düşen karbon emisyonu miktarı oldukça fazla. 1990 yılından beri Çin'in kişi başına düşen karbon emisyonu miktarı yaklaşık 4 katına çıktı.



Şekil 2.5 Ülkelere göre kişi başına düşen karbon salınımları (Aygün, 2021)

Çin, ABD, AB ülkeleri, Hindistan Rusya ve Japonya dünyanın en çok karbon salınımı yapan ülkeleridir. Bu ülkeler dünya nüfusunun neredeyse yarısını oluşturuyor. Tüm dünyadaki karbondioksit salınımının %66.7'lik bir kısmı bu ülkeler tarafından salınıyor. Çin dışındaki ülkeler son yıllarda karbon salınımını azaltsa da Çin bunların aksine karbon salınımını arttırdı. Çin küresel karbon salınımında en büyük paya sahip olsa da Şekil 2.5'te kişi başına düşen karbon salınımında zirvede olmadığı görülmektedir. Bu durumun nedeni Çin Devletinin nüfus yoğunluğunun oldukça fazla olmasıdır.

Climate Trace verilerine göre sera gazı emisyonlarının %76'sı karbondioksit, %16'sı metan, %8'lik kısmı ise azot oksitten oluşmaktadır. 1990 yılında 35 milyar ton olan karbondioksit salınımı şuanda 50 milyar ton seviyesine kadar çıktı. Emisyonların ortaya çıkmasında en büyük pay elektrik sektörüne aittir. Elektrik ve ulaşım sektöründe fosil yakıtlar yoğun olarak kullanıldığı için emisyonların azaltılabilmesi için bu sektörlerde fosil yakıt kullanımının azaltılması gerekiyor.

2.6.2 Amerika Birleşik Devletleri'nin Sera Gazı Salınımları

Sera gazı emisyonlarında Çin'i takip eden ülke ABD'dir. ABD'de sera gazı emisyonlarının %78,8 karbondioksit, %10,9 metan, %7.1 azot oksit, %3,2 florlu gazlar oluşturmaktadır.

Çizelge 2.2 ABD sera gazı emisyonunun kaynakları (EPA 2020)

Enerji sektörü	Katkıda bulunan sera gazlarının yüzdesi
Ulaşım (benzin, dizel vb.)	%27
Elektrik üretimi (kömür, doğal gaz)	%25
Sanayi (metal, çimento, kimyasalların imalatı)	%24
Tarım (hayvancılık, organik olmayan tarım ve işleme)	%11
Ticari (ısıtma, pişirme)	%7
Konut (ısıtma, yemek pişirme)	%6

Amerika Birleşik Devletleri, 2019'da 4.745 megaton GHG'den sorumlu olan CO₂ emisyonlarına en çok katkıda bulunan ikinci ülkedir. ABD net emisyonları 2005 ve 2017 yılları arasında %12 azaldı ve artan kullanımın bir sonucu olarak elektrik enerjisi sektörü emisyonları %27 düştü. Çizelge 2.2'den anlaşılabacağı üzere ulaştırma sektörü, 2020'de emisyonlara en fazla katkıda bulunan sektör oldu ve emisyonların %27'sinden sorumlu oldu, onu elektrik (%25) ve sanayi (%24) izledi.

2.6.3 Hindistan'ın Sera Gazı Salınımları

Hindistan, Çin gibi büyük bir nüfusa sahip (1,4 milyar insanla dünyanın en büyük ikinci ülkesi) ve 2019'da 2,310 megaton CO₂ yayan karbondioksit emisyonuna üçüncü en büyük katkıyı yapan ülke. Sığır, kömür santralleri ve pirinç çeltikler, hızla artmaya devam eden, ülkenin başlıca emisyon kaynaklarıdır. Ülke, 2030 yılına kadar emisyonlarında 2005 seviyelerine kıyasla %33-35 oranında azalma sözü verdi.

2.6.4 Rusya ve Japonya'nın Sera Gazı Salınımları

Rusya, 2019'da 1.640 megaton karbondioksit salarak CO₂ emisyonlarına en çok katkıda bulunan dördüncü ülkedir. Rusya'nın kişi başına emisyonları (2020'de 10,8 ton) dünyanın en yüksekleri arasındadır, Birleşik Krallık'tan (4.6), Fransa'dan çok daha yüksektir (3.8). Bu duruma rağmen Amerika Birleşik Devletleri'nden (13.0) daha düşük. Rusya'daki sera gazı

emisyollarının çoğu, yaklaşık yarısı genel nüfus için elektrik ve ısı üretiminden gelen enerji endüstrisinden (%78,9) kaynaklanmaktadır.

Japonya, sera gazlarına en çok katkıda bulunan beşinci ülke ve yılda binden (1,056) megatondan fazla katkıda bulunan beşinci ve son ulustur. Japonya, halen yeni kömürle çalışan elektrik santralleri inşa eden tek G7 lkesidir.

2.6.5 Almanya ve Güney Kore'nin Sera Gazı Salınımları

Almanya, 2019'da salınan 644 milyon ton karbondioksitten sorumlu, bu da sera gazlarında 2018'e kıyasla %6,3'lük bir düşüş demektir. 1990'dan bu yana Almanya, başta kömürle çalışan elektrik santrallerini kapatarak, rüzgar ve güneş enerjisi ve Avrupa emisyon ticaretinde başarılı reformlara imza attı. Almanya'nın hedefi, 2030 yılına kadar emisyonları %55 oranında azaltmak ve 2050 yılına kadar %80 yenilenebilir enerji kaynakları kullanmaktır.

2018'de rekor 605,9 megaton CO₂ yayan Güney Kore, 2019'da emisyonlarını 586 milyon tona düşürdü. Elektrik, kömür ve elik üretiminden kaynaklanan emisyonlar artarken, Güney Kore eski ve verimsiz işletmeleri devre dışı bırakarak enerji platformunu yeşillendirmeyi taahhüt etti. Kömür ve nükleer santraller ve gelişen hidrojen endüstrisi de dahil olmak üzere daha verimli sistemlere geçiş yaptı.

2.6.6 İran Kanada ve Suudi Arabistan'ın Sera Gazı Salınımları

İran, 2019'da 583 milyon ton CO₂ salarak, dünyanın sekizinci en büyük sera gazı salan ülkesidir. 1990 ve 2018 yılları arasında İran'ın CO₂ emisyonları yılda yaklaşık %5 arttı. Doğal gaz ve petrolün yakılması, İran'ın karbon emisyonlarına en çok katkıda bulunan iki unsurdur. İran, muazzam petrol ve gaz rezervlerine sahip kaynaklar açısından zengindir; ancak yine de güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji üretmek için önemli bir potansiyele sahiptir. İran, 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını %4 azaltma sözü verdi, ancak artan yaptırımlar ve ticaret eksikliği ülke ekonomisini olumsuz etkileyerek kaynakların iklim girişimleri için kullanılmasını engelledi.

Kanada 2019'da 571 milyon ton karbondioksit saldı. Kanada, elektrik üretmek için fosil yakıtlara ihtiyaç duymayan birçok hidroelektrik barajı ve nükleer santraline rağmen dünyanın geri kalanından iki kat daha hızlı ısınıyor. Petrol ve gaz üretimi, emisyonların yaklaşık %45'ini

oluşturan Kanada'nın en büyük yayan sektörüdür ve bunu, emisyonların yaklaşık %28'ini oluşturan ulaşım takip etmektedir. 1990'dan bu yana, Kanada'nın gayri safi yurtiçi hasılası (GSYİH) üç kattan fazla arttı ve nüfusu 6 milyon kişi arttı, ancak toplam sera gazı emisyonları %30'dan daha az arttı ve kişi başına emisyonlar azaldı.

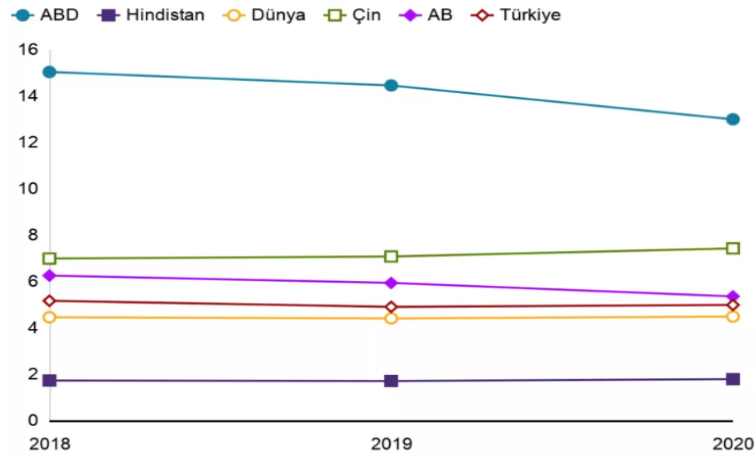
Suudi Arabistan, 2019'da 495 milyon ton CO₂ salarak en büyük onuncu sera gazı emisyonu yapan ülkedir. Suudi Arabistan'ın ekonomisi petrole oldukça bağımlıdır ve resmi Suudi Arabistan Petrol Şirketi olan Saudi Aramco, küresel karbondioksit emisyonlarına en fazla katkıda bulunan ülkedir. 1960'lardan beri. Bununla birlikte, 2020 COVID-19 pandemisi kilitlenmeleri, küresel petrol talebinde büyük bir düşüşü tetikledi ve Suudi Arabistan'ın hem çevresel hem de ekonomik nedenlerle petrolden uzaklaşması gerektiğini açıkça ortaya koydu. Çoğu Orta Doğu ülkesi gibi, Suudi Arabistan da güneş enerjisi üretmek için büyük bir potansiyele sahiptir.

2.7 Türkiye'nin Sera Gazı Salınımları

Türkiye'deki sera gazı emisyonlarından en fazla pay karbondioksit aittir. Sera gazı emisyonlarının oluşmasında en çok pay ise enerji üretimine aittir. TÜİK verilerine bakıldığında ülkemizde 1990 yılında kişi başına düşen sera gazı emisyonu miktarı 3,77 ton/kişi CO₂ eşdeğeri iken 2020 yılında bu rakam 6,3 ton/kişi CO₂ eşdeğeri 2021 yılında ise 6,7 ton/kişi CO₂ eşdeğeri olmuştur. Yıllar geçtikçe sera gazı salınımımızın artmasındaki başlıca neden kömürle çalışan termik santraller ve fosil yakıt yakan araçlardır. Bu durumun yanı sıra ülkemizdeki nüfusunda hızla artması sera gazı salınımdaki artışı beraberinde getiriyor. Fosil gazlarla çalışan elektrik santralleri de karbondioksit salınımlarında oldukça fazla pay sahibidir.

2.7.1 Türkiye'nin Kişi Başına Düşen Karbon Emisyonları

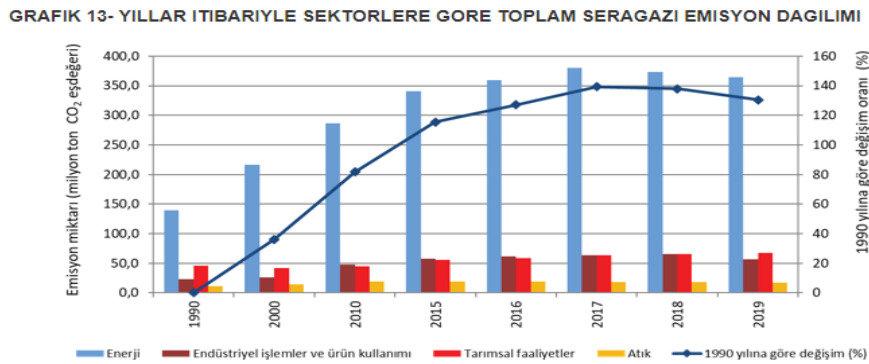
Türkiye'nin ve Çin'in kişi başı sera gazı emisyonları Şekil 2.6'da görüldüğü üzere yükseliş eğiliminde ancak ABD ve diğer Avrupa ülkelerinde emisyonların son yıllarda düştüğü görülüyor. Türkiye bu yükselişi önlemek için belirli politikalar geliştirip 2053 yılında sıfır emisyon hedefini belirlediğini açıkladı. Türkiye'nin bu hedefine ulaşabilmesi için 2020 yılına kıyasla 2030'da en az yüzde 35 mutlak emisyon azaltımı yapması gerekmektedir.



Şekil 2.6 Türkiye'nin kişi başı karbon salınımlarının diğer ülkelerle kıyaslanması (BBC 2022)

2.7.2 Türkiye'de Sektörlere Göre Karbon Emisyonu

Türkiye'de sera gazı emisyonların %70'i enerji, %14 tarım, %12.7 imalat ve ürün kullanımı, %3.1 atık kaynaklıdır. TÜİK'e göre enerji sektörü 2020'de yüzde 31,6'sı elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere toplam karbondioksit salımlarının yüzde 85,4'üne neden oldu. Bununla birlikte fosil yakıtların kullanılması enerji odaklı karbon salınımını dahada arttırıyor. Şekil 2.7'ye bakıldığında yıllara göre enerji sektöründeki sera gazı emisyonu miktarı diğer sektörlerin her zaman önünde olmuştur.



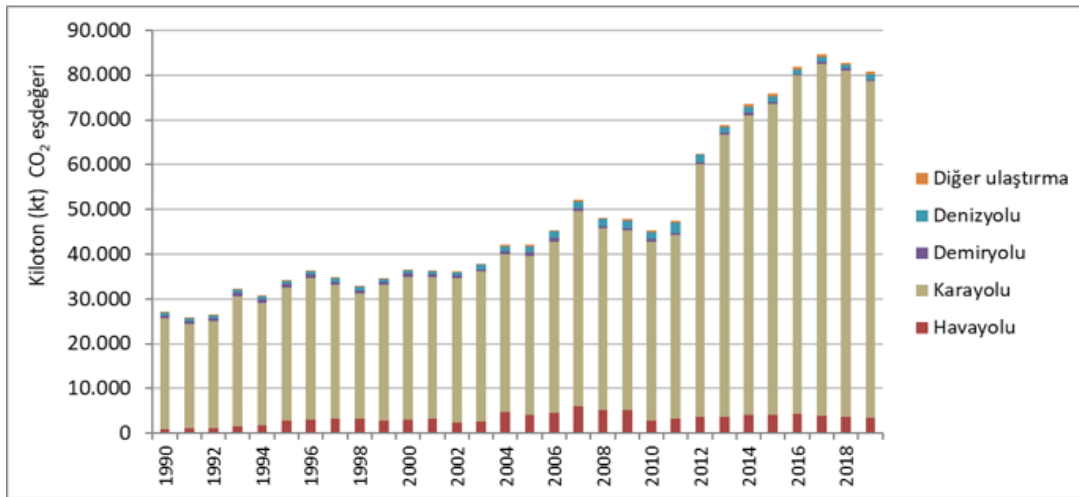
Şekil 2.7 Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı emisyonu (ÇŞB, 2020)

2.7.3 Türkiye'de Ulaştırma Türüne Göre Sera gazı Emisyonu

Modernizasyon ve kentleşmenin uygulanmasıyla birlikte, küresel yol kilometresi son yıllarda büyük ölçüde arttı ve önümüzdeki 30 yıl içinde 25 milyon kilometreden fazla yeni yolun

döşeneceği tahmin ediliyor (Xiaoging ve ark. 2023). Karayolu trafiğindeki sürekli büyüme ve altyapı iş faaliyetlerinin hızla gelişmesiyle birlikte araçlar, sürüş sürecinde kaçınılmaz olarak doğaya büyük miktarda sera gazı salınımı yapıyor. Küresel kentsel düşük karbonlu çevrenin arka planı ve yaşam döngüsü yönetimi konseptinin gelişimi göz önüne alındığında, asfalt kaplamanın işletme döneminde araçların ürettiği karbon emisyonları göz ardı edilemez. Bunların yanı sıra araç sayısındaki artış ve yollardaki bozulmaların hızlanması trafik sıkışıklığı, kazalar, gecikmeler gibi çeşitli sosyoekonomik zararlara neden oluyor. Ayrıca sık yapılan yol bakım ve rehabilitasyon faaliyetleri sırasında sera gazı oluşumu nedeniyle çevreyi ve sağlığı da olumsuz yönde etkilemektedirler. Karayolu tesislerine yönelik bakım ve onarım çalışmaları, yolların kullanılabilir durumdaki kullanılabilirliğini korumak için tekrar tekrar yapılıyor ve bu da karbondioksit emisyonlarına neden oluyor. Karbon emisyonları, alternatif kaplama bakım ve onarım stratejilerinin seçiminde dikkate alınması gereken temel faktörlerden biridir. Ulaştırmadan kaynaklı sera gazı emisyonları genellikle karbon kökenli olur. Bunları havayolu, demiryolu, karayolu ve denizyolu olarak sınıflandırabiliriz.

TUİK verilerine göre 2019 yılında toplam sera gazı içindeki taşıma kaynaklı emisyon miktarı %16'dır. Bu %16'lık dilimin %93'ü karayolundan, %4.3'ü havayolundan, 1.5%'i denizyolundan, %0.4'ü demiryolundan ve %0.7'si ise diğer taşıma türlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.8 Türkiye'nin taşıma türüne göre sera gazı emisyonu (ÇŞB, 2022)

Şekil 2.8 incelendiğinde 1990-2019 yılları arasında sera gazı emisyonu yıllar içerisinde değişiklik gösterse de karayolundan kaynaklanan sera gazı emisyonu her zaman emisyona sahip olan taşıma türü olarak dikkat çekmektedir. Bu durumun başlıca nedeni diğer taşıma

türleri içerisinde daha fazla tercih edilmesi ve fosil yakıtların yanmasından dolayı ortaya çıkan sera gazı emisyonudur.

2.8 Karbon Ayak İzi Kavramı

Karbon ayak izi kavramı ve ismi, 1990'larda British Columbia Üniversitesi'nde William E. Rees ve Mathis Wackernagel tarafından geliştirilen ekolojik ayak izi kavramından türetilmiştir. Karbon ayak izini ekolojik ayak izinin bir alt başlığı olarak düşünmek daha doğru olacaktır. Karbon ayak izi ekolojik ayak izine göre daha spesifikler. Çünkü karbon ayak izi sadece iklim değişikliğine neden olan gazların ölçümünü yaparken ekolojik ayak izi tüm gazların ölçümünü yapmaktadır.

Karbon ayak izi kavramı kısaca doğaya salınan karbon miktarının ton olarak göstergesi olarak da açıklanabilir. Karbon ayak izi ek olarak ekolojik ayak izinin önemli bir alt başlığıdır. Dünyamızda gerçekleşen emisyonları sönümlemek için yeteri kadar biyokapasite olmadığı için buradan salınan gazlar atmosferde birikmektedir. Bu nedenle, toplam Ekolojik Ayak İzine bağlı olarak karbon ayak izi rapor edildiğinde, tonlarca CO₂ emisyonu, bu CO₂ emisyonlarını tutmak için gereken verimli arazi miktarı olarak ifade edilir. Bu durum bize, fosil yakıtların yanmasından dolayı oluşan emisyonları absorbe etmek için ne kadar biyokapasitenin gerekli olduğunu söyler.

Karbon emisyonu sürecinde bazı verilerin yetersiz ve eksik kalması karbon ayak izine etki eden süreçlerin karmaşık etkileşimler içermesi nedeniyle tam olarak saptanması mümkün değildir bu nedenle bazı bilim adamları karbon ayak izi hakkında “Tanımlanmış bir popülasyon, sistem veya faaliyetin toplam karbondioksit ve metan emisyonlarının, nüfusun, sistemin veya faaliyetin mekansal ve zamansal sınırları içindeki tüm ilgili kaynakları, yutakları ve depolamayı göz önünde bulundurarak bir ölçüsüdür. İlgili 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli (GWP100) kullanılarak karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmıştır” tanımını yapmışlardır.

2.8.1 Karbon Ayak İzinin Ölçülmesi

Bir bireyin veya toplumların gündelik yaşamsal faaliyetleri takip edilip analiz edilerek karbon ayak izi hesaplanabilir. Karbon ayak izinin değerinin saptanabilmesi, karbon ayak izinin azaltılabilmesi dair önlemler alınabilmesi açısından çok önemlidir.

İnternet ortamında birçok karbon ayak izi hesaplayıcısı mevcuttur. Bu hesaplama araçları bizlerin gündelik yaşantısını baz alarak kullandığımız evin büyüklüğü, kullandığımız araçlar, elektrik sarfiyatımız, alışverişe çıkma sıklığımız vb. şeklindeki sorulara yanıtlar arayarak karbon ayak izimizi hesaplamaya çalışır. Ancak bunları hesaplamalar büyük belirsizliklerle doludur. Ürünün bize ulaşan kısmına kadarki üretim ve sevkiyat kısımları gibi birçok detayı ele almaktan kaçınır ve bu durumda karbon ayak izinin tam olarak hesaplanabilmesi pek mümkün olmaz.

Bir endüstriyel ürünün karbon ayak izinin saptanması oldukça karmaşık bir iştir. Çünkü bu ürünün üretiminden sevkiyatına, üretimde çalışan işçilerin oluşturduğu karbon emisyonları, fosil yakıtların kullanımı, elektrik kullanımı gibi birçok parametre karbon ayak izine etki etmektedir. Bu nedenle karbon ayak izinin doğru hesaplanabilmesi için ürünün tüm üretim ve kullanım detaylarına hakim olunarak büyük bir titizlikle hesaplanması gerekmektedir.

Karbon emisyonunun tek çözümü arazi alanındakini ölçmek değildir. Çünkü bu işlenmiş karbon atıklarıyla ilgilidir ve atmosferde karbon birikmemesi için ne kadar biyokapasitenin var olması gerektiğini açıklar. Karbon salınımını ölçmek sorunu bir bütün olarak algılamamızı sağlar. İklim değişikliği sorununun temel nedeni dünyadaki fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksiti absorbe edecek ve geriye kalanları da karşılayacak yeterli biyokapasiteye sahip olmamasından dolayıdır. Karbon ayak izinin saptanması bugün dünyamızın karşı karşıya olduğu biyolojik tehditlerin göz önüne serer.

3. MATERYALVE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu bölümde asfalt üstyapıların üretim aşaması ve karbon ayak izi hesaplama yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.1.1 Karbon Ayak İzi Kapsamları

Karbon ayak izi en basit ifadeyle günlük faaliyetlerimiz sonucu doğaya saldıgımız karbon miktarının ölçüsüdür. Karbon ayak izi genellikle petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtların yakılması sonucu oluşur ve karbon ayak izi hesaplanırken ortaya çıkan bütün karbon emisyonun tüm süreçleri dikkate alınarak bir hesap yapılır. Karbon ayak izini hesaplayabilmemiz doğaya verdiğimiz zararı bilmemiz açısından oldukça önemlidir. Bu zararlar neticesinde iklim değişikliği, küresel ısınma ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunlarla karşılaşabiliriz.

İnsanoğlunun doğaya verdiği zararın belirlenmesi amacıyla 1900'lü yıllarda ekolojik ayak izi kavramı ilk olarak ortaya çıkarken 2000'li yılların ortalarında ekolojik ayak izinin bir alt başlığı olarak karbon ayak izi geliştirilmiştir.

Karbon emisyonları, ISO 14040:2006 numaralı standart ve Sera Gazı Protokolünce belirlenen 3 kapsam altında değerlendirilir ve karbon salınımının doğrudan veya dolaylı olmasına göre ayrılır. Kapsamlar kurumsal hesaplamalar için kullanılır.

Bu ayrımlara göre;

Birincil Karbon Ayak İzi veya Doğrudan Karbon Ayak İzi, raporlayan kuruluşun sahip olduğu veya denetlediği kaynaklardan gelir.

İkincil Karbon Ayak İzi veya Dolaylı Karbon Ayak İzi ise, yine raporlayan kuruluşun faaliyetleri sonucu oluşan ancak başka bir tüzel kişilik tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan gelir.

Kapsam 1 emisyonları, raporlayan kuruluşun tesisleri veya araçları kaynaklı direkt salınımıdır. Bu nedenle de birincil karbon ayak izi altında değerlendirilir.

Kapsam 2 emisyonları, raporlayan kuruluşun satın aldığı elektrik, buhar, ısıtma ve soğutmadan kaynaklanır. Enerji dolaylı emisyonlardır.

Karbon emisyonları, ISO 14040:2006 numaralı standart ve Sera Gazı Protokolüne belirtilen 3 kapsam altında değerlendirilir ve karbon salınımının doğrudan veya dolaylı olmasına göre ayrılır. Kapsamlar kurumsal hesaplamalar için kullanılır. (Semprio, 2023)

Bu ayrımlara göre;

Birincil Karbon Ayak İzi veya Doğrudan Karbon Ayak İzi, raporlayan kuruluşun sahip olduğu veya denetlediği kaynaklardan gelir. (Semprio, 2023) İkincil Karbon Ayak İzi veya Dolaylı Karbon Ayak İzi ise, yine raporlayan kuruluşun faaliyetleri sonucu oluşan ancak başka bir tüzel kişilik tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan gelir. (Semprio, 2023)

Kapsam 1 emisyonları, raporlayan kuruluşun tesisleri veya araçları kaynaklı direkt salınımdır. Bu nedenle de birincil karbon ayak izi altında değerlendirilir.

Kapsam 2 emisyonları, raporlayan kuruluşun satın aldığı elektrik, buhar, ısıtma ve soğutmadan kaynaklanır. Enerji dolaylı emisyonlardır. (Semprio, 2023)

3.1.2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

IPCC metodolojisine göre 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Karbon ayak izinin detaylandırılmasına göre Tier1, Tier2, Tier3 yöntemleriyle hesaplanır. Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri Tier 1 yöntemine göre daha detaylı olduğu için daha doğru olarak kabul edilirler. Tier seviyesi arttıkça kullanılan veri sayısı ve ayrıntı artmaktadır (IPCC, 2006).

3.1.2.1 Tier 1 Yöntemi

Bu yaklaşım IPCC emisyon faktörlerini kullanır ve yakıt yanmasından dolayı oluşan karbon emisyonunu hesaplar.

$$\sum Emisyon(kg) = \sum Yakıt(Tj) \times Emisyon Faktörü$$

Emisyon faktörleri sektörlere göre ve yakıt tipine göre değişmektedir. Değerler tablodan alınırken bunlara dikkat edilmelidir.

Bu tez çalışmasında Tier 1 yöntemi kullanılarak 1 km asfalt kaplama yol yapımında ortaya çıkan karbon emisyonunu tespit edeceğiz.

3.1.2.2 Tier 2 Yöntemi

Tier 1 yöntemine benzemektedir ancak ülkelere özgü emisyon değerlerini kullanması onu Tier 1 yönteminden ayırmaktadır.

Formülü ;

$$\text{Emisyon GHG,FUEL (kg GHG)} = \text{Yakıt Tüketimi (TJ)} \times \text{Emisyon Faktörü (Kg GHG/TJ)}$$

3.1.2.3 Tier 3 Yöntemi

En fazla bilgi gerektiren yöntemdir. İlk aşamalardan itibaren doğru kabulleri yaptığı varsayılır.

Tier 3 yöntemi yakıt tüketimini ve emisyonu tesise göre özelleştirir bu durumda yöntem için fazla derecede data gerektirir.

Yöntem tesise özgü kullanılan yakıt tipi, yakma teknolojisi, çalışma şartları, kontrol teknolojisi, bakımın kalitesi, yakıt yakan ekipmanların yaşları gibi birçok parametreyi göz önünde bulundurur. Tier 1 den Tier 3 yöntemine doğru gidildikçe süreç uzar ve yukarıda sayıldığı gibi birçok veri gerektiği için karmaşık bir hal almaktadır.

3.1.3 Asfalt Kaplamalar

Yol inşaatı, kentsel ve kırsal ekonomilerde yoksulluğun azaltılması sürecini hızlandırmak açısından çok önemlidir. Modernizasyon ve kentleşmenin uygulanmasıyla birlikte, küresel yol kilometresi son yıllarda büyük ölçüde arttı ve önümüzdeki 30 yıl içinde 25 milyon kilometreden fazla yeni yolun döşeneceği öngörülmektedir. Mevcut yol yapısı tasarımı arasında asfalt kaplama, yüzey yapısal katmanının birincil şeklidir ve otoyolda ve kentsel yol ağında en çok kullanılan üstyapı şeklidir.

Asfalt, petrol katranı ve agregaların birleşiminden oluşan viskozite oranı yüksek olan bitümlü karışımdır. Asfalt kaplamalar genellikle yol kaplamalarında kullanılır. Maliyetinin

daha düşük olması yol yapımında asfalt kaplamaları daha cazip bir hale getirmektedir. Asfalt termoplastik özelliğinde bir malzeme olduğundan dolayı ısıtıldığında yumuşar soğuduğunda ise tekrar sertleşir. Normal hava sıcaklıklarında katı halde bulunan asfalt, viskoz olması sayesinde ısıtılarak daha yumuşak bir hale geldiğinden dolayı yol yapımında büyük kolaylıklar sağlar.

Darbelere karşı viskoelastik yapıda olan asfalt kaplamalar esnek bir davranış sergileyerek kendi kendini onarabilir. Asfalt kaplamalar %93-97 oranında agrega, %3-7 oranında bitüm içermektedir. Agrega ve bitümün asfalt plentte 140-160 derece sıcaklık aralığında ısıtılmasıyla üretilir. Asfalt kaplamalar bitümlü temel, binder ve aşınma olmak üzere 3 ayrı tabaka halinde üretilir. Resim 3.1’de asfalt kaplama bir yola ait tüm tabakaların birlikte gösterildiği bir enkesit görülmektedir.



Resim 3.1 Esnek Üstyapı Enkesiti

3.1.3.1 Bitümlü Temel

Bitümlü temel tabakası trafik, çevre ve iklimden kaynaklanan yükleri dağıtarak altındaki bağlayıcısız/bağlayıcı tabakaların aşırı gerilme ve deformasyonlara maruz kalmasını önlemek için imal edilir. Temel tabakası öncelikle yorulmaya karşı yeterli dayanımda olmalıdır. Genellikle asfalt tabakalarının altından yorulma çatlakları aşağıdan yukarıya ilerler. Temel tabakasının altındaki çekme gerilmeleri ne kadar fazlaysa yorulma çatlakları da kadar fazla kabul edildiğinden dolayı üstyapının kullanım ömrünü uzatmak için iyi bir tasarımla deformasyonlarının azaltılması gerekmektedir.

Üstyapı ne kadar kalın olursa gerilmeler o kadar azalır ve kaplamanın kullanım ömrü de o kadar uzun olur. Temel tabakasının elastisite modülü artırılarak da gerilme ve deformasyonlar azaltılabilir.

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak bitümlü temel tabakası 8-18 cm aralığında imal edilir. Genellikle plentmix temel (PMT) üzerine uygulanır. Mevcut zemin şartlarına göre iki farklı gradasyonda uygulanabilir.

Tip A $D_{\max} = 38\text{mm}$

Tip B $D_{\max} = 25\text{ mm}$

3.1.3.2 Binder

Aşınma ve bitümlü temel arasında yer alan binder tabakasının asıl görevi stabilite ve dayanıklılığı sağlayıp tekerlek izi oluşumunu azaltmaktır. Yol üstyapısının daha uzun ömürlü kullanımının olabilmesi için binder tabakası kalıcı deformasyonu önleyecek şekilde üretilmelidir.

Bitümlü temel üzerine genel olarak 6-8 cm kalınlığında olacak şekilde inşa edilir.

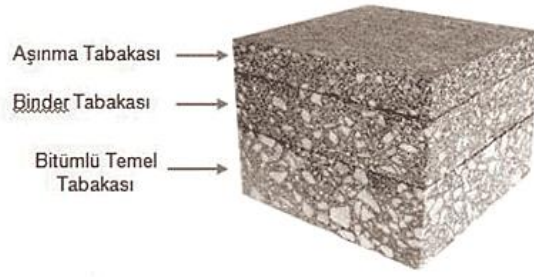
3.1.3.3 Aşınma

Aşınma tabakası üstyapının son tabakası olduğu için çatlak ve tekerlek izi oluşmadan trafik yüklerine ve çevre koşullarına karşı son derece dayanıklı olmalıdır. Ayrıca sürücülerin konforu için gürültü seviyesi düşük, kayma direnci yüksek, düzgün bir profile ve yeterli sürtünme direncine sahip olması gerekmektedir. Genellikle 4-5 cm kalınlığında üretilir. 3 ayrı tipte üretilir.

TİP 1 (0-19MM)

TİP 2 (0-12.5MM)

TİP 3 (0-9.5MM)



Resim 3.2 Asfalt Kaplama Tabakaları (ASMÜD,2023)

Resim 3.2’de tipik bir karayoluna ait bitümlü kaplama tabakaları görülmektedir. Bu tabakalarda üst kısımdan tabana doğru inildikçe kaplama tabakaları içerisindeki malzeme kalite değeri azalır.

3.1.3.4 Asfalt Kaplamaların Yapım Aşamaları

Asfalt kaplamalar bitüm ve agregadan oluşan sıcak karışımlardır. Asfalt kaplamaların üretim aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

Yolun yapılacağı güzergahta aplikasyon yapıp kazıklar çakıldıktan sonra toprak işlerine (yarma ve dolgu) başlanır. Toprak işlemi tamamlandıktan sonra Resim 3.3’de görüldüğü gibi greyder ile sıkışabilen ince malzeme serilerek son reglaj işlemi tamamlanır ve yol plentmix alt temel (PMAT) serimine hazırlanır. PMAT en az 3 tip agreganın mekanik plentte belirli bir oranda suyla karıştırılmasıyla hazırlanan alt temel malzemesidir. Reglaj işlemi tamamlanmış yola finişer ile serim işlemi yapılır.



Resim 3.3 Reglaj işlemi devam eden yol güzergahı

PMAT üretimi için gerekli olan agreganın üretimi taş ocağında patlatma yapıldıktan sonra kamyonlar ile konkasöre getirilerek burada istenilen agregaya boyutlarına göre imal edilir ve imal edildikten sonra yola serim için kamyonlara yüklenir ve yolda finişher ile serimi yapılır. Yolda PMAT malzeme serildikten sonra bir başka temel malzemesi olan plentmix temel (PMT) serimi yapılır. PMT de aynı PMAT gibi bir temel malzemesidir agreganın mekanik plentte belirli bir oranda suyla karıştırılmasıyla hazırlanır. En büyük elek aralığı 25-38 olan, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak, belirli gradasyon limitleri içerisinde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan karışımın projesine uygun olarak bir ya da birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen kısımdır. Bu iki temel malzemesinin birbirinden farkı granülometrisidir.



Resim 3.4 Hazırlanan Pmt malzemesinin sahaya nakli

Resim 3.4’te görüldüğü üzere kamyonlar ile yola taşınan alttemel malzemesi genellikle 3 tabaka halinde yola serimi finişher ile yapılır. Projesine göre malzeme serim kalınlıkları değişiklik gösterse de genel olarak ülkemizde 15cm-10cm-10cm olarak 3 tabaka halinde serilmektedir. Serim işleminin hemen ardından lastikli vabiller ile sıkıştırma işlemine başlanır. Hemen ardından vibrasyonlu silindirler ile sıkıştırma işlemine devam edilir. Pmt serimi tamamlandıktan sonra yol asfalt kaplamanın en alt tabakası olan bitümlü temel serimi için hazırdır.

Bitümlü temel üretimi için bir yükleyici yardımıyla agregalar asfalt plent bunkerlerine boşaltılır. Agregalar plentin içinde ısıtma, kurutma ve bitümle karışımı gibi işlemlerden geçtikten sonra bir karışım haline gelir ve kamyonlara boşaltılarak serim için yola götürülür. Yola getirilen bitümlü sıcak karışım finişher ile yola serimi yapılır. Ardından vabil ve vibrasyonlu silindirler ile yol tabakası sıkıştırılmaya başlanır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra asfalt tabakaların birbirleri arasında sıkışmasını sağlayan emülsiyon bitümlü temel

üzerine atılır. Bitümlü temelden sonraki tabaka olan binder tabakası gradasyonuna göre plentte hazırlandıktan sonra serim için yola kamyonlar ile götürülür.

Burada finişher yardımıyla serim işlemi yapılarak vabil ve vibrasyonlu silindir yardımıyla sıkıştırma işlemi yapılır. Sıkıştırma işlemi de tamamlandıktan sonra emilsüyon tabakası binder tabakasının üzerine atılır. Binder tabakasından sonraki tabaka olan aşınma tabakası gradasyonuna göre plentte hazırlandıktan sonra serim için yola kamyonlar aracılığıyla götürülür. Finişher ile serimi yapılan asfalt üstyapı tabakasının vabil ve silindirlerle sıkışması sağlandıktan sonra asfalt kaplama oluşumu tamamlanmıştır.

3.1.4 Hesaplamalarda Kullanılacak Tesis ve Proje

Asfalt kaplamaların karbon ayak izinin belirlenmesinde Oze Grup'un yüklenicisi olduğu Denizli Çardak Şehir Geçişi Projesinde 1 km'lik bir asfalt kaplamanın üretilmesinde açığa çıkan karbon ayak izi hesaplanacaktır. Bu çalışma kapsamında Kaklık Mahallesi Mermer Fabrikaları Kümesi Küme Evler Honaz/Denizli' de bulunan Oze Grup şirketine ait Amman markalı asfalt plentinin, asfalt kaplama üretimi aşamalarında meydana gelen karbon ayak izini belirleyeceğiz. Bu plente ve şantiye yerleşkesine ait görsel Resim 3.5'te gösterilmiştir. Asfalt plent batch tipi, kapasitesi 300 ton/saat olup yılda ortalama 750.000 ton asfalt üretmektedir.



Resim 3.5 Hesaplarda Kullanılacak Tesis

3.2 Yöntem

Bu çalışmada 1 km'lik esnek üstyapının üretimi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonu hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken başlık 2.1.7 ve IPCC metodolojisine göre Tier 1 yöntemi kullanılacaktır.

3.2.1 Malzeme Temin Aşaması

Denizli Çardak Şehir Geçişi Projesinde;

Yol genişliği PMT için: 12 metre

Yol genişliği bitümlü temel için : 11.57 metre

Yol genişliği binder için : 11.28 metre

Yol genişliği aşınma için : 11.00 metre

Yol uzunluğu standart olarak 1 km kabul edilecektir.

PMT kalınlığı: 35 cm

Bitümlü temel kalınlığı: 11 cm

Binder kalınlığı: 8 cm

Aşınma kalınlığı: 5 cm

Yapılan deneylere göre;

PMT Yoğunluğu: 2,25 t/m³

Bitümlü Temel Yoğunluğu: 2.411 t/m³

Binder Yoğunluğu: 2,4 t/m³

Aşınma Yoğunluğu: 2,4 t/m³

Yukarıda verilen bilgilere göre 1 km asfalt kaplama yol inşa edebilmek için;

PMT için: $2,25\text{t/m}^3 \times 12\text{m} \times 1000\text{m} \times 0,35\text{m} = 9450 \text{ ton PMT}$

Bitümlü Temel için: $2,411\text{t/m}^3 \times 11,57\text{m} \times 1000\text{m} \times 0,11\text{m} = 3068$ ton bitümlü temel

Binder için: $2,4\text{t/m}^3 \times 11,28\text{m} \times 1000\text{m} \times 0,08\text{m} = 2165$ ton binder

Aşınma için: $2,4\text{t/m}^3 \times 11\text{m} \times 1000\text{m} \times 0,05\text{m} = 1320$ ton aşınma ihtiyacı vardır.

Yapılan deneylere göre pmt su oranı %5,6 agrega oranı %94,4'tür. Buna göre;

$9450 \text{ ton} \times 94,4/100 = 8921$ ton agregaya ihtiyaç vardır.

$9450 - 8921 = 529$ ton suya ihtiyaç vardır.

Yapılan deneylere göre bitümlü temel bitüm oranı %4,15 agrega oranı %95,85'tir. Buna göre

$3068 \text{ ton} \times 95,85/100 = 2941$ ton agrega

$3068 - 2941 = 873$ ton bitüme ihtiyaç vardır.

Yapılan deneylere göre binder bitüm oranı %4,85 agrega oranı ise %95,15'tir. Buna göre

$2165 \text{ ton} \times 95,15/100 = 2060$ ton agrega

$2165 - 2060 = 105$ ton bitüme ihtiyaç vardır.

Yapılan deneylere göre aşınma bitüm oranı %5,50 agrega oranı ise %94,50'dir. Buna göre

$1320 \text{ ton} \times 94,50/100 = 1247$ ton agrega

$1320 - 1247 = 73$ ton bitüme ihtiyaç vardır.

Asfalt tabakaları arasında yapışmayı sağlayacak asfalt emülsiyonu toplamda 22850 m^2 alana $0,30 \text{ lt/m}^2$ olacak şekilde uygulanmıştır.

$22850 \text{ m}^2 \times 0,30 \text{ lt/m}^2 = 6855$ litre emülsiyon uygulanmıştır.

Uygulanan bu emülsiyonun bitüm oranı %60 olduğundan yaklaşık 4 ton bitüm ihtiyacı vardır.

1 km uzunluğunda esnek üstyapı oluşturabilmek için toplamda;

15169 ton agrega, 1055 ton bitüme, 529 ton suya ihtiyaç vardır.

3.2.2 İnşaat Aşaması

Malzemeyi temin edebilmek için öncelikle taş ocağında bir patlatma yapılması gerekmektedir. Ardından patlatma sonucu ortaya çıkan kayalar agrega boyutuna getirilebilmesi için konkasöre getirilip kırılması gerekmektedir. Malzemelerin taşınmasında damperli kamyonlar, yüklenmesinde ise ekskavatör kullanılmıştır. Bitüm nakliyesi Kırıkkale Tüpraş Rafinerisinden yapılmaktadır. Bölüm 2.2.1’de yapılan hesaplamalara göre 1055 ton bitüme ihtiyaç vardır. Asfalt plent in bulunduğu şantiye ile Kırıkkale Tüpraş Petrol Rafinerisi arası 545 km’dir. Bir bitüm tankı ortalama 70 ton bitüm taşıyabilmektedir. Firmaya ait 4 adet bitüm tankı bulunmaktadır. Her bir araç 4 sefer yaparak toplamda 16 sefer yapılarak bitüm şantiyeye taşınabilmektedir. Gidiş geliş toplam 17440 km yol gidilmiş olur.

Konkasörden 10 günlük alınan veriler sonucunda günlük 1237 ton malzeme konkasörde kırılıyor ve taş ocağından konkasöre 1 günde ortalama 45 sefer düzenleniyor. Toplamda 15169 ton malzemeye ihtiyacımız var. Günlük ortalama 1237 ton malzemeyi agregaya dönüştürebilen konkasör yaklaşık 12 günde bütün malzeme ihtiyacımızı karşılayabiliyor.

Konkasör taş ocağı arası mesafe gidiş geliş toplam 11 km olduğundan dolayı $45 \times 11 = 1550$ km günlük yol gidiliyor.

Kamyonlar toplam 12 gün çalışacağından dolayı;

$12 \times 1550 \text{ km} = 18600 \text{ km}$ toplamda yol gidilmiş olur.

Ekskavatör bir günde ortalama 6 saat çalışmaktadır. 12 günde toplam 72 saat çalışmış olur.

Konkasör bir günde ortalama 8 saat çalışmaktadır. 12 günde toplam 96 saat çalışmış olur.

9450 ton pmt, 3068 ton bitümlü temel, 2165 ton binder, 1320 ton aşınma olmak üzere toplam 16003 ton malzeme damperli kamyonlarla yol yapım yerine taşınacaktır.

Mekanik plent saatte 500 ton malzeme üretmektedir ve 9450 ton malzemeyi 19 saatte üretir.

Asfalt plent ise saatte 300 ton malzeme üretmektedir ve 6553 ton malzemeyi 22 saatte üretir.

Bu işlemler sırasında bunkerleri beslemesi için bir adet lastikli loader kepçe toplam 41 saat çalışır.

Bir damperli kamyon ortalama 25 ton malzeme taşımaktadır. Toplamda 16003 ton malzeme 640 sefer yapılarak serim alanına taşınabilmektedir.

Şantiye yerleşim alanı ile yol yapım yeri arasındaki mesafe gidiş geliş 15 km'dir. Toplamda 640 sefer düzenleneceğinden dolayı $640 \times 15 = 9600$ km yol gidilmektedir.

Yol yapım alanında 1 adet finişher, 1 adet vabil ve 1 adet silindir bulunmaktadır.

Finişher saatte ortalama 400 ton malzeme sermektedir. 16003 ton malzemeyi 40 saatte serer.

Vabiller ve silindirler toplamda 80 saat çalışmış olur.

4. BULGULAR

Bu bölümde materyal ve metot kısmında elde edilen veriler yardımıyla 1 km'lik asfalt kaplama üretimi aşamasında ortaya çıkan karbon ayak izi Tier 1 yöntemi kullanılarak hesaplanacaktır. İnşa ve malzeme temini aşamasında ortaya çıkan sera gazı motorin, doğalgaz veya şebeke elektriği kullanımı sonucu oluşmuştur.

İş makineleri ve kamyonların kullandığı mazotlar sonucu bir karbon emisyonu ortaya çıkmaktadır. Karbon emisyonunu hesaplayabilmek için öncelikle toplamda ne kadar mazot kullanıldığının bilinmesi gerekir.

1 kamyon 1 km de 0,85 litre mazot harcamaktadır. Kısım 3.2.2' den elde edilen veriye göre inşaat süreci boyunca kamyonlar toplamda 28200 km yol alacaklardır. Bu durumda toplam harcanan mazot $28200 \times 0,85 = 23970$ litre olacaktır.

Bitümün şantiyeye nakliyesi sırasında toplamda 17440 km yol alınacaktır. Bir tanker 1 km de 0,85 litre mazot yakmaktadır. Bu durumda toplamda $17440 \times 0,85 = 14824$ litre yakıt yakılacaktır.

Bölüm 3.2.2' den elde edilen veriye göre taş ocağındaki malzemeyi kamyonlara yükleyen ekskavatör toplamda 72 saat çalışmaktadır. Ekskavatör saatte 25 litre mazot yakmaktadır. Bu durumda toplam çalışma süresi boyunca 1800 litre mazot yakmaktadır.

Taş ocağında patlatma yapmak için kaya delme makinası rock 8 saat boyunca çalışmaktadır. Saatte 22 litre mazot yakan bu iş makinesi çalışma süresi boyunca 176 litre mazot tüketir.

Bunkerleri beslemesi için çalışan çalışan yükleyici loader saate ortalama 20 litre mazot tüketir. Toplam çalışma saati olan 41 saat boyunca ise 820 litre mazot yakmaktadır.

Finişer saatte 9 litre mazot yakmaktadır. Toplam çalışma süresi olan 40 saat boyunca 360 litre mazot yakmaktadır.

Vabil ve silindirler saatte 12 litre mazot yakmaktadır. Toplam çalışma süreleri olan 80 saat boyunca 960 litre mazot yakmaktadır.

Hesaplanan ortalama değerlere göre asfalt plant 680 kwh/saat , mekanik plant 200 kwh/saat, konkasör ise 500 kwh/saat elektrik sarfiyatına neden olmaktadır.

4.1 Mazot Kullanımından Kaynaklı Karbon Emisyonu

Bölüm 4 de hesaplananlar sonucunda toplamda yakılan mazot miktarı çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Şantiye araçlarının kullandığı mazot miktarları

ARAÇ	KULLANDIĞI MAZOT MİKTARI(LİTRE)
DAMPERLİ KAMYON	23970
BITÜM TANKERİ	14824
ROCK	176
FİNİŞHER	360
EKSKAVATÖR	1800
LOADER	820
VABİL-SİLİNDİR	960
TOPLAM	42910

Karbon emisyonunun belirlenebilmesi için öncelikle enerji tüketimi hesaplanmalıdır ve bunun için harcanan toplam mazotun ton cinsinden değeri bulunmalıdır.

Mazotun özgül ağırlığı ile kullanılan toplam mazotun litre cinsinden değeri çarpılarak ton cinsinden değer bulunabilir.

$$42910 \text{ L} \times 0,7798 \text{ kg/L} \times 10^{-3} = 33,46 \text{ ton}$$

Bu işlemden sonra enerji tüketim miktarı mazotun dönüşüm faktörü olan 43,33 TJ/kt kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = 33,46 \text{ ton} \times 10^{-3} \times 43,33 \text{ TJ/kt} = 1,45 \text{ TJ}$$

Bu işlemden sonra karbon içeriğini bulabilmek için karbon emisyon faktörü olan 20,2 tC/TJ ile enerji tüketim miktarı çarpılıp gigagrama çevrilmiştir.

$$\text{Karbon İçeriği} = 1,45 \text{ TJ} \times 20,2 \text{ TC/TJ} \times 10^{-3} = 0,029 \text{ Gg C}$$

Karbondiyoksit emisyonunu bulmak için karbondiyoksit mol ağırlığı, karbon emisyonunu bulmak için karbon mol ağırlığıyla çarpım işleminin yapılması gerekmektedir.

$$\text{Karbon Emisyonu} = 0,029 \text{ Gg C} \times 0,99 = 0,029 \text{ Gg C}$$

$$\text{Karbondiyoksit Emisyonu} = 0,029 \text{ Gg C} \times 44/12 = 0,11 \text{ Gg CO}_2$$

Mazot kullanımından kaynaklı karbon emisyonunun bulunmasına dair yapılan bütün işlemler Çizelge 4.2 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 Mazot Kullanımından Kaynaklı CO₂ Emisyonu

A	B	C	D	E	F	G	H
YAKIT TÜKE- TİMİ (TON)	DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜ (TJ/kt)	ENERJİ TÜ- KETİMİ (TJ)	KARBON EMİSYONU FAKTÖRÜ (TC/TJ)	KARBON İÇERİĞİ (Gg C)	OKSİTLENEN KARBON YÜZ- DESİ	GERÇEK KARBON EMİSYONU (Gg C)	GERÇEK KAR- BONDİOKSİT EMİSYONU (Gg CO ₂)
		$C=A \times B \times 10^{-3}$		$E=C \times D \times 10^{-3}$		$G=E \times F$	$H=G \times 44/12$
33,46	43,33	1,45	20,2	0,029	0,99	0,029	0,11

4.2 Elektrik Kullanımından Kaynaklı Karbon Emisyonu

Şantiyede asfalt plentin toplamda 22 saat çalışmasından dolayı 14960 kwh, mekanik plentin 19 saat çalışmasından dolayı 3800 kwh, konkasörün 96 saat çalışmasından dolayı 48000 kwh olmak üzere toplamda 66760 kwh elektrik harcanmıştır. Çevre ve şehircilik bakanlığının sitesinden edinilen bilgiye göre; nihai elektrik enerjisinin sera gazı dönüşüm katsayısı = **0,555** kg.eşd.CO₂/kWh olmuştur.

Buna göre ;

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} = 66760 \text{ kwh} \times 0,555 \text{ kg CO}_2/\text{kwh} \times 10^{-3} = 37,05 \text{ ton CO}_2$$

Bulunan bu değer gigagrama çevrildiğinde;

$$37,5 \text{ ton CO}_2 \times 10^{-3} = 0,04 \text{ Gg CO}_2 \text{ olarak sonuç elde edilmektedir.}$$

4.3 Doğalgaz Kullanımı Kaynaklı Karbon Emisyonu

1 ton asfalt üretimi için 5 m³ doğalgaz kullanılmaktadır. 6553 ton toplam asfalt üretimimizde 32765 m³ doğalgaz kullanılmaktadır. Lng gaz yoğunluğu 0,66 kg/m³ olduğuna göre;

$$32765 \times 0,66 / 1000 = 21,62 \text{ ton Lng}$$

Bulunan bu sayı 0,048 tj/Gg ile çarpılırsa;

Enerji tüketimi=1,04 TJ olarak bulunur.

Emisyon içeriğini bulabilmek için enerji tüketimini emisyon faktörü olan 56,100 TC/TJ sayısı ile çarpmak gerekmektedir.

Emisyon İçeriği= 1,04TJ×56,1TC/TJ= 58,34 ton CO₂

Bulunan bu değer gigagrama çevrildiğinde;

58,34 ton CO₂ × 10⁻³=0,06 Gg CO₂ olarak sonuç elde edilmektedir.

4.4 Su Kullanımı Kaynaklı Karbon Emisyonu

Mekanik plentte karışımın hazırlanmasından dolayı 594000 litre su ihtiyacımız oluşmuştu. Bu sayıyı emisyon faktörü olan 0,0014×10⁻³ Gg CO₂/L sayısı ile çarpıldığında sonuç elde edilecektir. Ancak sonuç oldukça küçük olduğundan dolayı hesaplamalarda dikkate alınmayacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim krizi ve küresel ısınma gibi sorunların hızla artış gösterdiği Dünyada bu sorunların baş nedenlerinden biri olan karbon emisyonlarının tespiti yapılması son derece önemlidir. Karbon salınımı azaltılmadığı takdirde küresel olarak iklim değişikleri yaşanacak. Dünyanın bazı bölgelerinde aşırı sıcak ve kurak havalar gözlenirken bazı bölgelerinde ise çok yoğun yağış ve fırtına gözlemlenecek Bununla birlikte bazı bitki türleri artık yetişmeyecek ve bu durum sonucunda da gıda krizi gibi durumların oluşması da kaçınılmaz olarak görülüyor. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak artan buharlaşma ile birlikte toprak kayması, sel gibi doğa olaylarının artması ve iklim dengesi ve mevsim döngülerinin değişmesi öngörülmektedir. İklim değişikliğinin bir diğer etkisi de ormanlık alanların azalması yönünde olacaktır. Bu durumda yiyecek bulamayan yaban hayvanları şehirlere doğru ilerleyip burada insan yaşamı için bir tehlike oluşturacaktır. Buradan hareketle karbon emisyonlarının azaltılması dünyadaki bütün canlılar için hayati önem taşımaktadır.

Karbon emisyonunun başlıca nedenlerinden biri enerji üretimi ve kullanımından meydana gelen süreçtir. Gün içerisinde kullandığımız elektrik enerjisini daha tasarruflu kullanarak ve enerji tasarrufu daha yüksek elektrikli aletler kullanarak karbon emisyonu azaltılabilmektedir. Ayrıca enerji üretiminde yenilenebilir enerji olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi sistemleri tercih etmek karbon emisyonunun azaltılmasında önemli bir faktördür.

Seyahatlerimizde bireysel araç, tren veya uçak yerine otobüsü tercih etmek karbon emisyonunun azaltılmasında büyük bir etkidir. Ayrıca seyahatlerde havayolunu tercih etmemek karbon emisyonunu azaltmak açısından en doğru tercih olacaktır. Bu durumun nedeni uçakların en fazla karbon salınımı yapan araçlardır.

Geri dönüşümün karbon emisyonunun azaltımında payı oldukça büyüktür. Geri dönüşebilen ürünleri (kağıt, cam, plastik) ayıklayarak geri dönüşüm kumbaralarına atmak, bu ürünlerin üretiminde harcanan enerji miktarını azaltıp doğal kaynakların tekrar kullanılmasını da önlemek anlamına gelmektedir.

Konutlarımıza ısı izolasyonları yaptırarak evlerimizde daha az enerji kullanımını sağlamak bir başka karbon emisyonunu azaltma yöntemidir.

Bu çalışma kapsamında Denizli Çardak Şehir Geçişi projesi kapsamında 1 km’lik yol yapımı sonucu ortaya çıkan karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamada tier 1 yöntemi kullanılmıştır.

1 km uzunluğundaki asfalt kaplama yolun inşasındaki ortaya çıkan karbon emisyonu;

Mazot kullanımından kaynaklı 0,11 Gg CO₂

Elektrik kullanımından kaynaklı 0,04 Gg CO₂

Doğalgaz kullanımından kaynaklı 0,06 Gg CO₂ olmak üzere toplamda **0,21 Gg CO₂** emisyonu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmadan hareketle karbon emisyonunun en büyük faktörü mazot kullanımıdır. Şantiyeden malzemelerin sahaya nakli, yol yapım aşamasında kullanılan makinelerin harcadığı mazot karbon emisyonunu oldukça arttırmaktadır. Bu emisyon faktörünü azaltmak için farklı motor teknolojileri geliştirilmeli, elektrikli araç kullanımı yaygınlaştırılmalı, elektrik gibi daha az salınım yapan kaynaklar daha fazla tercih edilmeli, yol yapım aşaması ve sonrasında kendi elektriğini üretebilen sistemler geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

Alagöz, İ., Coşkun, E., Babaoğlu, S., Kaykaç, R. ve Cidacı, A., (2022), EÜAŞ Merkez Kampüs 2021 Yılı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2) 161–166.

ASMÜD, 2023 Asfalt Tabakaları http://www.asmud.org.tr/Asfalt_Tabakalari.asp (Erişim Tarihi: 28 Temmuz 2023)

Aşan, 2021, Sera Gazı ve Sera Etkisi Nedir? <https://www.dilekasan.com/sera-gazlari-nelerdir/> (Erişim Tarihi: 9 Mayıs 2023)

Aygün, 2021 Dünyanın geleceği Çin'e mi bağlı? <https://www.trthaber.com/haber/cevre/dunya-nin-gelecegi-cine-mi-bagli-> (Erişim Tarihi:8 Temmuz 2022)

BBC, 2022 İklim krizi: Türkiye'nin sera gazı salımları diğer ülkelere kıyasla ne durumda? <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-60939869> (Erişim Tarihi:8 Temmuz 2022)

Bozkurt Y., Kayış A., (2023) Ulaştırma Sistemlerinin Çevre Sorunlarına Etkisi Açısından Havayolu Taşımacılığı ve Küresel Isınma İlişkisi, *Aizanoi Academia*, 1(1) 14-31

Choi J., (2023) Strategy for reducing carbon dioxide emissions from maintenance and rehabilitation of highway pavement, *Science Direct*, 209, 88-100

Edemen M., Engin V., Boynukara E., Narin E., Yalçın M., Küçükilhan H., Kuş H., Tutar M., Kavlak A. (2023) Küresel Isınma, Küresel Isınmanın Nedenleri ve Sonuçları Dünya Ve Türkiye Üzerine Olası Etkileri, *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)* 91(10), 37-48

EPA 2023, Overview of Greenhouse Gases <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#nitrous-oxide> (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)

Eurostat, 2023, AB’de üç aylık sera gazı emisyonları https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quarterly_greenhouse_gas_emissions_in_the_EU (Erişim Tarihi: 19 Kasım 2023)

Global Energy Monitor, 2021, Global Coal Plant Tracker <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-59088481> (Erişim Tarihi:8 Temmuz 2022)

KPMG, 2020, Ulaşım Sektörünün Karbonsuzlaştırılması için Finansmanın Arttırılması <https://kpmg.com/tr/tr/home/gorusler/2020/09/ulasim-sektorunun-karbonsuzlastirilmesi.html> (Erişim Tarihi: 9 Mayıs 2023)

Küresel Karbon Projesi (GCP), (2022). Global Carbon Atlas <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/kuresel-karbonun-yarisindan-fazlasini-uc-ulke-saliyor/2588391#> (Erişim Tarihi: 5 Temmuz 2022)

Li X., Wu S., Wang F., You L., Yang C., Cui P., Zhang X., (2023). Quantitative Assessments Of GHG And Vocs Emissions Of Asphalt Pavement Contained Steel Slag , *Construction and Building Materials*, 369, 130606

Özcan T., Asfalt Plent Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59 Sayfa

Peng B., Cai C., Yin G., Li W., Zhan Y. (2023). Evaluation System For CO₂ Emission Of Hot Asphalt Mixture, *Science Direct*, 2(2), 116-124

Semptrio, (2023). Karbon Ayak İzi Nedir? <https://www.semptrio.com/blog/birincil-karbon-ayak-izi> (Erişim Tarihi:12 Temmuz 2022)

Somuncu, M. (tarih yok) Ulaşım, enerji, çevre, https://acikders.ankara.edu.tr/plugin-file.php/149281/mod_resource/content/0/14%20Ula%C5%9F%C4%B1m%2C%20enerji%20ve%20%C3%A7evre.pdf4 (Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2023)

T.C Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020, Sektörlere Göre Toplam Seragazi Emisyonları, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-seragazi-emisyonlari-i-101864> (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)

T.C Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022, Ulaştırma Türüne Göre Seragazi Emisyonları <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790> (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023)

Tuğaç, Ç. (2022) İklim Değişikliği Krizi ve Şehirler, *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi* 1(1), 38-60

TÜİK, 2021, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2019-37196#:~:text=Sera%20gaz%C4%B1%20envanteri%20sonu%C3%A7lar%C4%B1na%20g%C3%B6re,CO2%20e%C5%9Fd.%20olarak%20hesapland%C4%B1>. (Erişim Tarihi: 9 Mart 2022)

UNEP (2022). Cities and Climate Change. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climatechange> (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2023)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yusuf YABANERİ

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	-
Lisans	Uşak Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği Bölümü	2019
Lise	Hoca Ahmet Yesevi Lisesi	2014

Mesleki Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2019-2021	Oze Grup	İnşaat Mühendisi
2021-2022	Madanoğlu İnşaat	Şantiye Şefi
2022-2023	Madanoğlu İnşaat	Genel Koordinatör Yardımcılığı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-