



**HAZIR BETON SANTRALİNDE KARBON AYAK  
İZİNİN DEĞERLENDİRMESİ**

**Mahmut YEŞİLYURT**

**Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**2023**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HAZIR BETON SANTRALİNDE KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRMESİ**  
(Carbon Footprint Assessment on Ready-Mix Concrete Batching Plant)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut YEŞİLYURT

Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN

Erzurum  
Ocak, 2023



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Graduate School of Natural and  
Applied Sciences

**T.C.**  
**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü**  
**TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI**

**HAZIR BETON SANTRALİNDE**  
**KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRMESİ**

Doç.Dr.Beyhan KOCADAĞİSTAN danışmanlığında, Mahmut YEŞİLYURT tarafından hazırlanan bu çalışma, 26/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Bilimleri Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr.Öğr.Üyesi.Sinan KUL  
*Bayburt Üniversitesi*

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Doç.Dr.Beyhan KOCADAĞİSTAN  
*Atatürk Üniversitesi*

Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi: Dr.Öğr.Üyesi.Fatma Ekmekyapar TORUN  
*Atatürk Üniversitesi*

Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim  
Kurulunun .../.../.... tarih  
ve ..... sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN**

**Enstitü Müdürü**

Aslı Islak İmzalıdır



## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and  
Applied Sciences

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

### ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞISTAN danışmanlığında sunulan “Hazır Beton Santralinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%0	30
Kuramsal Temeller	%0	30
Materyal ve Metot	%0	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	%4	20
Sonuçlar ve Öneriler	%9	20
Tezin Geneli	%13	25

**Not:** Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Mahmut YEŞİLYURT	Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞISTAN
27.1.2023	27.1.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında ilgisi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Beyhan KOCADAğİSTAN 'a ve Muhammet Kaan YEŞİLYURT 'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen eőim Yeőim YEŞİLYURT 'a, kıymetli hocalarıma ve çok değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında destekleri ve sevgileriyle her zaman yanımda olan aileme sonsuz őükranlarımı sunarım.

Mahmut YEŞİLYURT

Ocak 2023

## ÖZET

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**HAZIR BETON SANTRALİNDE**  
**KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRMESİ**  
**Mahmut YEŞİLYURT**  
**Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞISTAN**

**Amaç:** Bu çalışmada, inşaat sektöründe hizmet veren bir beton santrali tesisine ait beton üretimi faaliyetinin neden olduğu sera gazı emisyonunun karbondioksit eşdeğeri cinsinden hesaplanması ve karbon ayak izinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Yöntem:** Bu çalışmada, DEFRA ve IPCC gibi uluslararası düzeyde kabul görmüş organizasyonların yayınladıkları katsayılar, yöntemler, standartlar ve metotlar kullanılarak, IPCC 2006 raporunda yer alan Tier yaklaşımlarına göre hazır beton santralinin enerji ve su tüketiminden kaynaklanan karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır.

**Bulgular:** Çalışma kapsamında tesisten alınan tüketim verileri ile karbon ayak izi hesaplaması ton karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmış, hesaplama sonuçlarına göre tüketim miktarlarının neden olduğu toplam emisyonun 1038,396 ton karbondioksit eşdeğeri olduğu bulunmuştur.

**Sonuç:** Tesis 2021 yılında toplam 116000 metreküp hazır beton üretmiş, birim üretim başına karbon ayak izi 8,95 kg karbondioksit eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Tesiste en fazla karbon ayak izi oluşumuna neden olan birimler dizel yakıt ve elektrik tüketimi olduğu görülmüş, tesisin karbon ayak izinin azaltılması için bu iki tüketimde tasarruf edilmesi ve gereksiz tüketimin azaltılması tavsiye edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hazır beton santrali, hazır beton üretimi, karbon ayak izi, IPCC Tier-1,  
**Ocak 2023, 42 Sayfa**

## ABSTRACT

**MASTER THESIS**  
**CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT ON**  
**READY-MIX CONCRETE BATCHING PLANT**  
**Mahmut YEŞİLYURT**  
**Supervisor: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN**

**Purpose:** This study aims to calculate the greenhouse gas emission caused by the concrete production activity of a concrete batching plant serving in the construction sector in terms of carbon dioxide equivalent and to determine the carbon footprint.

**Method:** In this study, carbon footprint calculations arising from the energy and water consumption of the ready-mixed concrete plant were made according to the Tier approaches included in the IPCC 2006 report by using the coefficients, methods, standards and methods published by internationally recognized organizations such as DEFRA and IPCC.

**Findings:** Within the scope of the study, the carbon footprint calculation with the consumption data taken from the facility was calculated as tons of carbon dioxide equivalent, and according to the calculation results, the total emission caused by the consumption amounts was found to be 1038,396 tons of carbon dioxide equivalent.

**Results:** The facility produced a total of 116000 cubic meters of ready-mixed concrete in 2021, and the carbon footprint per unit production was calculated as 8,95 kg carbon dioxide equivalent. It has been seen that the units that cause the most carbon footprint formation in the facility are diesel fuel and electricity consumption.

**Keywords:** Ready-mixed concrete plant, ready-mixed concrete production, carbon footprint, IPCC Tier-1

**January 2023, 42 Pages**

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	i
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ .....	i
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
İklim Değişikliği ve Küresel Isınma .....	3
İklim Değişikliği ve Nedenleri .....	3
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP).....	6
Sera Gazları.....	6
Su buharı (H <sub>2</sub> O): .....	8
Karbondiyoksit (CO <sub>2</sub> ).....	8
Metan (CH <sub>4</sub> ).....	10
Nitröz oksit (N <sub>2</sub> O) .....	11
Ozon (O <sub>3</sub> ).....	11
Sülfür Hekzaflorür (SF <sub>6</sub> ), Karbonflorokarbon (CFCS), Hidroflorokarbonlar (HFCS), Perflorokarbonlar (PFCS).....	12
İklim Değişikliği Mevzuatları.....	12
Ulusal mevzuatlar .....	12
Uluslararası mevzuatlar ve protokoller.....	13
Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	13
Kyoto Protokolü.....	14
Viyana Sözleşmesi .....	14
Montreal Protokolü .....	14
Paris Anlaşması.....	14
Karbon Ayak İzi.....	14

IPCC Karbon Ayak İzi Hesaplama Metodolojisi .....	15
Türkiye’de karbon ayak izi .....	17
Hazır beton.....	19
Hazır beton üretimi .....	21
Hazır beton kullanım alanları .....	22
Hazır beton santrallerinin çevresel açıdan değerlendirilmesi .....	22
MATERYAL ve YÖNTEM .....	24
Tesis Bilgileri.....	24
Hazır Beton üretimi .....	24
Hazır beton üretimi iş akım şeması açıklaması .....	26
Proses çalışma prensibi .....	26
Kilitli parke taşı beton bordür üretimi .....	27
Kilitli parke taşı beton bordür ünitesi iş akım şeması açıklaması.....	28
Proses çalışma özeti .....	28
Tesiste oluşan atıklar .....	29
Hava emisyonları .....	29
Tesiste oluşan atık su .....	29
Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi .....	29
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	42

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> İnsan Kaynaklı Sera Gazları (Paterson, 1996).....	4
<b>Tablo 2.</b> Sera Gazlarının GWP Değerleri ve Atmosferdeki Konsantrasyonları (IPCC, 2007)..	6
<b>Tablo 3.</b> Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması ve Değerlendirilmesi İçin Metot ve Standartlar (Toröz, 2015).....	7
<b>Tablo 4.</b> Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020) (TÜİK Kurumsal, 2022).....	18
<b>Tablo 5.</b> Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020)(TÜİK Kurumsal, 2022).....	19
<b>Tablo 6.</b> Dünyada ve Türkiye’de Hazır Beton Üretimi (THBB, 2021).....	20
<b>Tablo 7.</b> Beton Santrali Yıllık Tüketim Verileri.....	31
<b>Tablo 8.</b> Yakıtların Net Kalorifik Değerleri (IPCC, 2006).....	31
<b>Tablo 9.</b> Enerji Tüketimi Verileri .....	31
<b>Tablo 10.</b> Yakıtların Emisyon Faktörleri.....	32
<b>Tablo 11.</b> IPCC Tier 1 Yaklaşımına Göre 2021 Yılı Karbon Ayak İzi Hesabı .....	32
<b>Tablo 12.</b> Hazır Beton Santrali Hesaplanan Sera Gazı Emisyonları .....	33
<b>Tablo 13.</b> Çalışma Sonucunun Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalarla Karşılaştırılması .....	36

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Küresel İklim sistemi (IPCC, 2001).....	5
Şekil 2. Sera etkisi şematik gösterimi (Türkeş, 2008).....	7
Şekil 3. 1880’den bugüne atmosferik ve buz içi CO <sub>2</sub> , Güneş Enerjisi ve Küresel Sıcaklık verileri korelasyonu (CO <sub>2</sub> .Earth, 2019).....	8
Şekil 4. Küresel ölçekte aylık ortalama CO <sub>2</sub> konsantrasyonu (40 yıllık) (NOAA, 2022) .....	10
Şekil 5. Yıllık küresel ölçekte CO <sub>2</sub> konsantrasyonu artışı (NOAA, 2022) .....	10
Şekil 6. Türkiye sektörlerine ve gazlara göre emisyon oranları(TÜİK Kurumsal, 2022).....	11
Şekil 7. Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu (1990-2020) (TÜİK Kurumsal, 2022).....	18
Şekil 8. Tesis genel vaziyet planı .....	24
Şekil 9. Hazır beton üretimi vaziyet planı.....	25
Şekil 10. Hazır beton üretimi iş akış şeması .....	26
Şekil 11. Kilitli taş bordür üretimi vaziyet planı .....	27
Şekil 12. Kilitli taş bordür üretimi iş akış şeması .....	28
Şekil 13. Toplam CO <sub>2</sub> eşdeğeri emisyonunun gazlara göre dağılımı .....	33
Şekil 14. Toplam CO <sub>2</sub> eşdeğeri emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı .....	34
Şekil 15. CO <sub>2</sub> emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı .....	34
Şekil 16. CH <sub>4</sub> emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı .....	35
Şekil 17. N <sub>2</sub> O emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı .....	35

## KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

### Simgeler

Gg	Giga gram
kg	kilogram
kW	kilowatt
Mt	Milyon ton
kg/yıl	kilogram bölü yıl
kW/yıl	kilowatt bölü yıl
%	yüzde
lt	litre
lt/yıl	litre bölü yıl
lt	litre
m <sup>3</sup>	metreküp
m <sup>3</sup> /yıl	metreküp bölü yıl
ppm	milyonda bir
ppb	milyarda bir
ppt	binde bir
tJ	ton jul
ton/yıl	ton bölü yıl

### Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
BM	Birleşmiş Milletler
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
DEFRA	Birleşik Krallık Hükümeti Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı
COP	BMİDÇS Taraflar Toplantısı
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
OTİM	Ozon Tabakasını İncelten Maddeler
CO <sub>2e</sub>	Karbondioksit eşdeğeri

## GİRİŞ

Teknoloji ve sanayinin gelişmesine bağlı olarak insanların ihtiyaçları da değişim göstermiştir. İnsanların yaşamsal ihtiyaçları denildiğinde akla gelen beslenme, barınma, ısınma, giyim ve ulaşım ihtiyaçları artık çok temel düzeyde kalmış ve ihtiyaçlar çeşitlenmiş sınırları da genişlemiştir. Yeni ihtiyaçlarının içinde teknolojik ürünler, sosyal yaşam, moda, eğlence, seyahat gibi modern dünya ihtiyaçları da yer almıştır. Doğal kaynakların bunları karşılaması imkânsız hale gelerek beraberinde birçok çevresel soruna neden olmuştur.

Çevresel sorunların üzerinde etkili olan üretim ve tüketim kapasitesinin yüksek oluşunun nedenleri arasında artan nüfus, endüstriyelleşme ve kentleşme büyük rol oynamakta ve doğal kaynakların azalması, biyolojik çeşitliliğin azalması, iklim değişikliği, çevresel kirlilik ve çölleşme dünyanın dengesini her geçen gün daha da bozmaktadır. Atmosferde iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının yoğunluğunun artışı yaklaşık 250 yıl kadar önce başlayarak fosil yakıt ile faaliyetini sürdüren fabrikalardan, enerji tesislerinden ve motorlu araçlardan büyük miktarlarda karbondioksit atmosfere verilmek suretiyle devam etmektedir. Diğer yandan çöplerin ve organik atıkların büyük kütleler halinde çürümesi ile de büyük miktarda metan gazı atmosfere karışmaktadır (Önal, 2005). Özellikle 1. Sanayi devriminden endüstrileşme ve kullanılan enerjinin büyük bir kısmının fosil yakıtlardan elde edilmesi, tarımsal üretimin artmasına bağlı olarak tarım tekniklerinin ve teknolojilerinin değişmesi, dünya çapında taşımacılık ve ulaşımın artması ve daha birçok gelişme atmosferde ciddi bir sera gazı konsantrasyonu artışına neden olmaktadır. Sera gazlarının ve dünyanın ortalama sıcaklığının buna bağlı artışı sonucunda birçok negatif etkiler açığa çıkmaktadır. Sera gazlarının neden olduğu bu negatif etkileri durdurmak adına pek çok ülke çeşitli çalışmalar yaparak, uluslararası protokoller imzalayarak ve uygulamaya koyarak önlemler geliştirmektedirler. İklim değişikliğiyle ve küresel ısınma sıkıntısıyla karşı karşıya gelen dünyada, daha az karbon üreten bir ekonomiye geçiş yapmak için adımlar atılıp, bu yönde çalışmalar yapılmaktadır.

Çeşitli standartlar ve metodolojiler sera gazlarının etkisini en aza indirmek için geliştirilmektedir. Ülkelerin bu konuya gereken önemi ve desteği vermeleri, geliştirilen metodolojiler ve standartların sürdürülebilmesi açısından önem teşkil etmektedir. Atmosferde uzun süre kalabilen sera gazları etkisi bu sera etkisi yapan gazlarının atmosferdeki yoğunluğunun artması durdurulsa bile, uzun bir süre atmosferik sera gazı konsantrasyonları artmaya devam edebilir ve bundan dolayı sıcaklık depolayan okyanuslar hava ve su

sıcaklıklarında artışlar sebebiyle iklim değişiklikleri devam edecektir. Bunun sonucu olarak bu etkiler iklim ve canlı yaşamına etki etmeye devam edecektir. İnsanın doğaya verdiği zararın boyutlarının belirlenmesi için 1990'lı yılların başında ekolojik ayak izi ortaya çıkmış ve bu kavram üzerinde çalışıldıkça ve detaylandıkça 2000'li yıllarda karbon ayak izi kavramı ortaya çıkmıştır (semtrio.com, 2022). Bu çalışmada karbon ayak izi hesaplamalarında büyük öneme sahip inşaat sektörü ve gelişmelerle sıkça kullanılan hazır beton sektörü baz alınarak incelenerek azaltılmasına yönelik öneriler belirlenmiştir.



## KURAMSAL TEMELLER

### İklim Değişikliği ve Küresel Isınma

Dünyamızda hızlı nüfus artışı ve gereksinimlerin karşılanması sonucu biyolojik, kimyasal ve fiziksel etmenlerin arasındaki doğal dengelerin bozulması iklimde bazı değişikliklere sebep olmaktadır. Bu değişimlerin en büyüğü dördüncü jeolojik zamanda yaşanan değişimler olup, bu değişimlerden buzul çağı ve büyük iklimsel değişimler iklimin günümüzde bilinen son halini almasını sağlamıştır. Doğal bir olay olan sera etkisi; dünya üzerinde canlılığın devam etmesi için güneşten alınan enerjinin bir kısmının uzaya geri yansıtılması bir kısmının ise tutulması ile dünyanın ortalama sıcaklığının yaşanabilir seviyede olmasını sağlamaktadır. 19. yüzyıl ortalarından itibaren sanayi devrimi ile başlayan ve gelişmeye devam eden sanayileşme, üretim ve tüketim alışkanlıklarını değiştirmiş ve dünyada katı, sıvı ve gaz atıklardan kaynaklanan etkileri ile ekolojik ve iklimsel değişikliği negatif yönde artırmıştır. Böylece insan faaliyetleri dünyanın sera etkisine katkıda bulunmaya başlamıştır. Özellikle atmosfere verilen gaz atıklardan dolayı sera gazlarının ( CO<sub>2</sub> (Karbon dioksit), N<sub>2</sub>O (Nitröz Oksit), CH<sub>4</sub> (Metan), CFCs (Kloroflorokarbonlar), HFCs (Hidroflorür karbonlar), PFCs (Perflorokarbonlar), SF<sub>6</sub> (Sülfürhekza florid) vb.) atmosferdeki konsantrasyonunun artmasıyla dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığının artması ve sonucunda küresel ısınmayı meydana getirmiştir (Akın, 2006). Küresel ısınma olgusu, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin sonucu olarak, insan yaşamı, flora ve fauna üzerinde ortaya çıkmış ve çevresel sorunlarının ne kadar büyük ve etkili sonuçlar oluşturabileceği tüm dünya ülkeleri tarafından anlaşılmıştır.

İklim değişikliği ise küresel ısınmanın sonuçlarından biri olup, bu değişiklik boyutları ve uzun vadeli etkileri sonucunda insan hayatını tehlikeye atan bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. İklim değişikliğinin şu an için görülen etkilerinden bazıları; okyanus su sıcaklıklarındaki artış, hava sıcaklıklarındaki artış ile buzulların erimesi sonucu deniz seviyesinde yükselme ve olağan dışı taşkın sel yağışlar gibi doğa olaylarındaki artış gibi etkilerdir. Küresel ısınmanın sonuçlarından biri olarak ortaya çıkan iklimsel değişimlerden en fazla etkilenen ve etkilerini sürdüreceği olan ülkelere de farklı iklim tiplerine sahip olan ülkemiz Türkiye olabilir (Demirbaş, 2018).

### İklim Değişikliği ve Nedenleri

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde ki tanıma göre; "iklim değişikliği,

karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” tir (iklim.gov.tr, 2022).

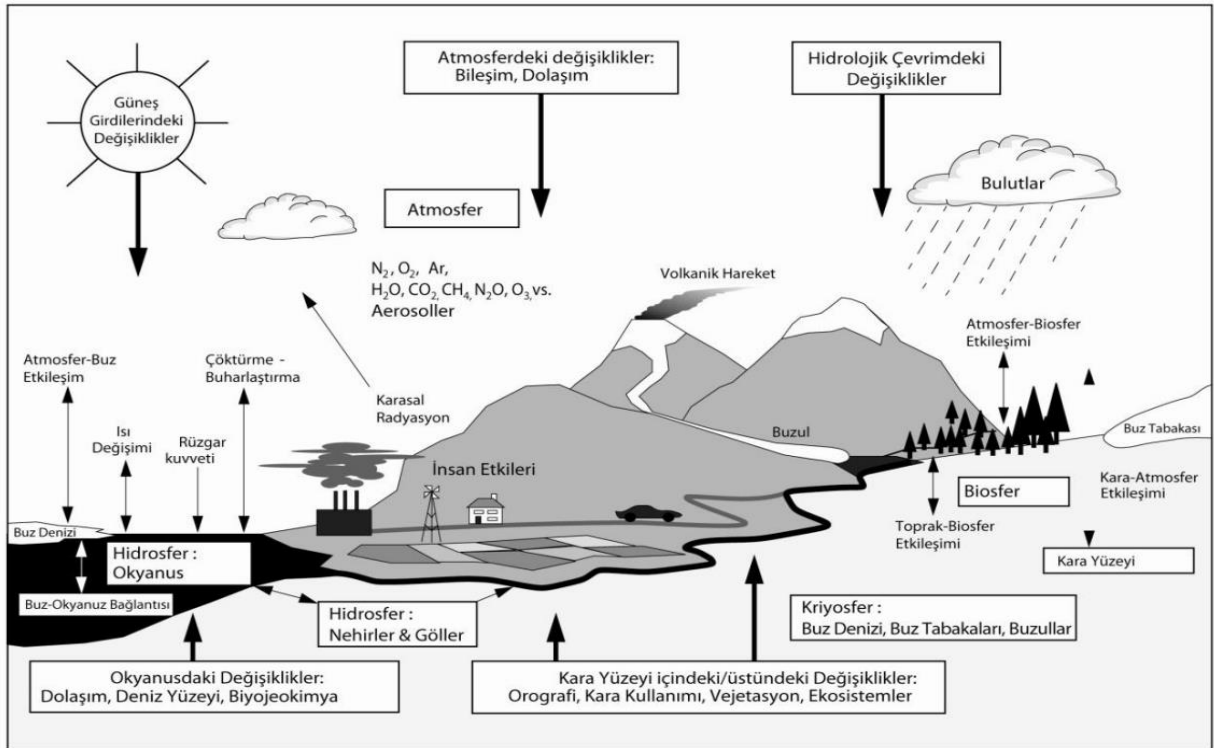
İklim başlı başına bir sistem olarak atmosfer, güneşlenme, sıcaklık, basınç, rüzgâr, yağış, bulutluluk, buharlaşma gibi elemanlardan oluşup, bu elemanların sürekli olarak birbirleri ile etkileşimi ile değişiklik göstermektedir. İklim sisteminin normal ve dengeli olması (sera etkisi ile) güneş enerjisine bağlı olmaktadır. (Çerçi, 2021).

Yapılan bazı araştırmalarda dünyanın ikliminin ısındığı gözlemlenmektedir. Bu ısınma böyle devam ederse 2060 yılında 4°C seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu değişiklik küçük gibi görünse de dünyada bu denli bir ısınmanın etkilerinin büyük olabileceği ve bu ısınmanın önümüzdeki 100 yılda artmaya devam edeceği düşünülmektedir. Sanayi devriminden bu yana atmosferdeki (CO<sub>2</sub>) %30, Metan (CH<sub>4</sub>) %200 den fazla, (N<sub>2</sub>O) ise %15 kadar artmıştır (wwf.org.tr, 2022). Bu gazların oranının atmosferde artışı yeryüzünde sıcaklığın gittikçe artmasına sebep olmaktadır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de hangi insan faaliyetinin hangi sera gazının artışına neden olduğu gösterilmiştir.

**Tablo 1.** İnsan Kaynaklı Sera Gazları (Paterson, 1996)

Sera Gazı	Kaynağı
Karbon dioksit	Fosil yakıt tüketimi, Ormanların tahribi, Toprak kullanım yöntemleri Pirinç yetiştiriciliği,
Metan	Atık-Biyokütle yakma prosesleri, Fosil yakıt tüketimi, Gübre üretimi Aerosol sprey,
Kloroflorokarbon	Çözücü, sabun, Soğutucu madde, Paket üretimi
Öncü gazlar	Metan ve ozon kimyası
Nitrojen oksit	Fosil yakıt tüketimi
Metan olmayan hidrokarbonlar	Sıvı yakıt ve çözücülerin buharlaşması
Karbon monoksit	Fosil yakıt ve biyokütle yakımı

Küresel ısınma, dünyanın her bölgesinde sıcaklıkların artması durumu değildir, dünyanın bir bölgesinde sıcaklıkların anormal artması buna bağlı olarak orman yangınlarının hızla yayılması, çölleşme durumunun artması ve insan yaşamını tehlikeye sokacak seviyelere gelmesi anlamına gelir. Diğer taraftan da dünyanın başka bölgelerinde aşırı yağışların etkisiyle erozyonların, sel felaketlerinin ve başka diğer doğa olaylarının yaşanması durumudur. Dünyanın küresel iklim sistemi aşağıda **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de gösterilmiştir. Şekildeki ince oklar iklim elemanlarının etkileşimini, koyu oklar ise iklim değişiminden etkilenebilecekleri ifade etmektedir.



Şekil 1. Küresel iklim sistemi (IPCC, 2001)

Küresel ısınmanın iklim değişikliklerine etkileri;

- Taşkın, sel, orman yangını, çölleşme gibi doğa olaylarının artması,
- Dünya üzerinde su kaynakları ısınarak canlı yaşamında olumsuzlukların yaşanması,
- Su ihtiyacının artması ve buna bağlı olarak atık su miktarının artışı,
- Kuraklaşma ve bundan dolayı salgın hastalıkların artması,
- Pek çok doğa olayının zincirleme şekilde meydana gelmesi,
- Aşırı ısınmayla nehirlerin, göllerin ve su kaynaklarının buharlaşma ile su kapasitelerinin azalmasıdır (IPCC, 2001).

## Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)

Küresel ısınma potansiyeli atmosferdeki gazların kalış süreleri ve enerji tutma kapasiteleri olup, sera gazlarını birbirlerinden ayıran özellikleridir ve aynı zamanda küresel ısınmaya etkilerinin de bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Küresel ısınma potansiyeli (Global Warming Potential); bir sera gazının karbondioksit (1 GWP kabul edilir) gazını referans alarak 100 yıllık sürede küresel ısınmaya etkisini belirlemek için kullanılan bir terim olup karbondioksitin kaç katı etkisi olduğunun ölçülmesiyle tespit edilir. Sera gazlarının atmosferdeki ortalama konsantrasyonları, küresel ısınma potansiyelleri ve atmosferdeki ömürlerini veren, IPCC tarafından 2007 yılında yayımlanan raporda listelenen veriler aşağıdaki da **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** derlenerek gösterilmiştir.

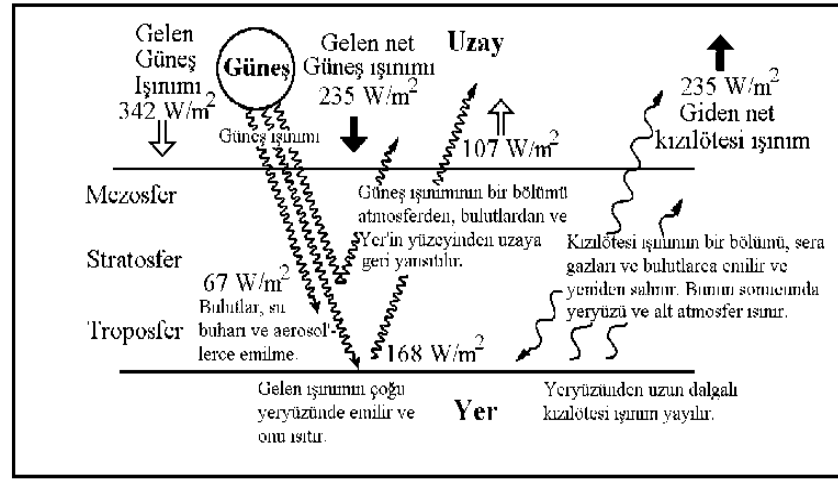
**Tablo 2.** Sera Gazlarının GWP Değerleri ve Atmosferdeki Konsantrasyonları (IPCC, 2007)

Sera Gazı	Atmosferdeki Ömrü (yıl)	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Atmosferdeki Konsantrasyonu
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	100-300	1	399,5 ppm
Metan (CH <sub>4</sub> )	12	21	1834 ppb
Nitröz Oksit (N <sub>2</sub> O)	114	310	328 ppb
Sülfür Hekzaflorür (SF <sub>6</sub> )	3200	23900	8,6 ppt
Karbonflorokarbon (CFC'ler)	45-1700	4600-10200	72-232 ppt
Hidroflorokarbonlar (HFC'ler)	1,4-270	140-11700	84 ppt
Perflorokarbonlar (PFC'ler)	2600-50000	6310-13200	-

Küresel ısınmaya neden olabilecek büyük orana sahip sera gazlarının atmosferde belli oranlarda tutulması gerektiği Kyoto Protokolü ile belirlenmiş olup, Protokol, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CFCs, HFCs, PFCs (Perflorokarbonlar), SF<sub>6</sub> gazlarının karbon ayak izi hesaplamasında kullanıldığını yayımlanmıştır. Bu protokole imza atan ülkeler bu gazların belirlenen değerlerin altında tutmaları için tedbirler almakta ve ayrıca CFC'ler için ise Montreal Protokolüne uymaktadırlar.

## Sera Gazları

Doğal atmosferde içerisinde barındırdığı gazlar %78,08 azot, %20,95 oksijen, %0,0377 karbondioksit, %0,25 su buharı ve geri kalanı ise neon, helyum, argon gibi asal gazlardan oluşur. Karbondioksit oran olarak küçük gibi gözükse de en önemli sera gazıdır. (Türkeş, 2008). Şekil 2 de sera gazları ve doğal sera etkisi görülmektedir.



**Şekil 2.** Sera etkisi şematik gösterimi (Türkeş, 2008)

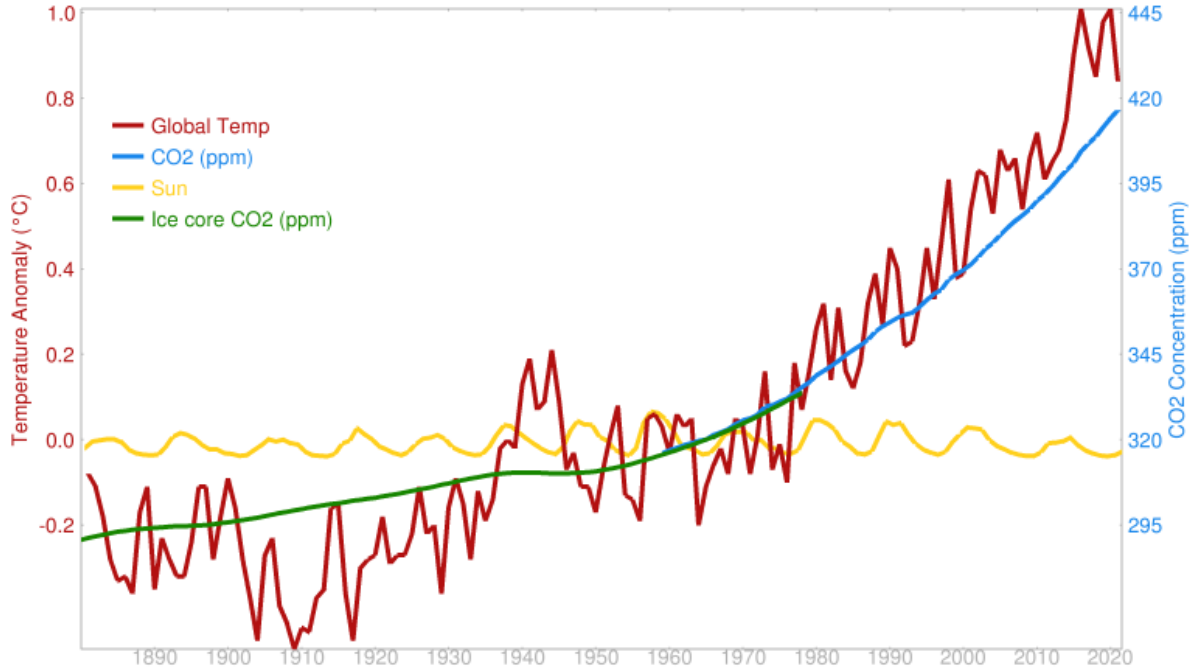
Güneşten dünyaya gelen güneş radyasyonu atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşarak bir kısmı soğurularak belli oranda tekrar uzaya yansır. Atmosferdeki radyasyon gazlar tarafından tutulur ve bir sera etkisi oluşturarak dünyanın belirli bir derece sıcaklıkta kalması sağlanır. Bu doğal sera etkisi sayesinde dünya sıcaklığı canlı yaşamının devam edebileceği sıcaklıkta tutularak canlı yaşamı sürdürülmektedir (Apaydın, 2002). Atmosferde bulunan bu gazların konsantrasyonunun artan fosil yakıt kullanımı ile artmasıyla orantılı olarak tutulan güneş radyasyonu ve dünya sıcaklığının artması olayına sebep olmaktadır. 1930'lu yıllardan sonra sanayide kullanılmaya başlanan sentetik gazlar (soğutma gazları gibi) da atmosferin sera etkisini yükseltmektedir. Sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve değerlendirilmesi için metot ve standartlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'deki gibidir.

**Tablo 3.** Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması ve Değerlendirilmesi İçin Metot ve Standartlar (Toröz, 2015)

Rapor	Metot/Standart
Sera Gazı Azaltım Hesaplamaları	IPCC Metodolojileri
Ömür Döngü Analizleri (LCA)	PAS 2050, ISO 14048, PAS 2060
Kurum ve Kuruluşlar için Envanter Hazırlama	GHG Protocol, ISO 14064
Karbon Ticareti	Gönüllü Karbon Piyasaları (VCS, Temiz Kalkınma Mekanizması, Gold Standard, Ver +, Social Carbon, Ortak Uygulama

Küresel ısınma üzerinde etkili parametrelerin değerlendirilmesinde farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan Bernard Herd tarafından oluşturulmuş uzun yıllar süren veri

korelasyonu **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de verilmiştir. Bu veri korelasyonunu incelendiğinde güneş enerjisi seviyesinde az miktarda bir artış olmasına rağmen küresel ısınma CO<sub>2</sub> konsantrasyonuyla birlikte artarak bunun sonucunda buzul erimesini de arttırmış olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.** 1880'den bugüne atmosferik ve buz içi CO<sub>2</sub>, güneş enerjisi ve küresel sıcaklık verileri korelasyonu (CO<sub>2</sub>.Earth, 2019)

Artan sıcaklıklarla birlikte iklim değişiklikleri ve küresel ısınma olayları artış göstermektedir. Ayrıca alınan verilerden 1880 yılından beri en sıcak 3. Temmuz olarak Temmuz 2022 kayda geçmiş ve küresel ortalama yüzey sıcaklığı, ortalamanın +1,15 °C üzerine çıkmıştır. Bir diğer veride ise 2021 yılı küresel ısınma +1,12°C ile 1880 yılından beri en sıcak 6. yıl olmuştur (CO<sub>2</sub>.Earth, 2019).

### **Su buharı (H<sub>2</sub>O):**

Sera gazını etkileyen elemanlardan biri de su buharı olup, atmosferde nem ve bulutlar şeklinde bulunarak bölge coğrafyası, rakım, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak miktarı değişmektedir. Bulut yapıları güneşten gelen ışığı hem tutar hem de yansıtırken su buharının atmosferde bulunması su döngüsü ile olmakta ve konsantrasyonu %0-%2 arasında değişmektedir.

### **Karbondiyoksit (CO<sub>2</sub>)**

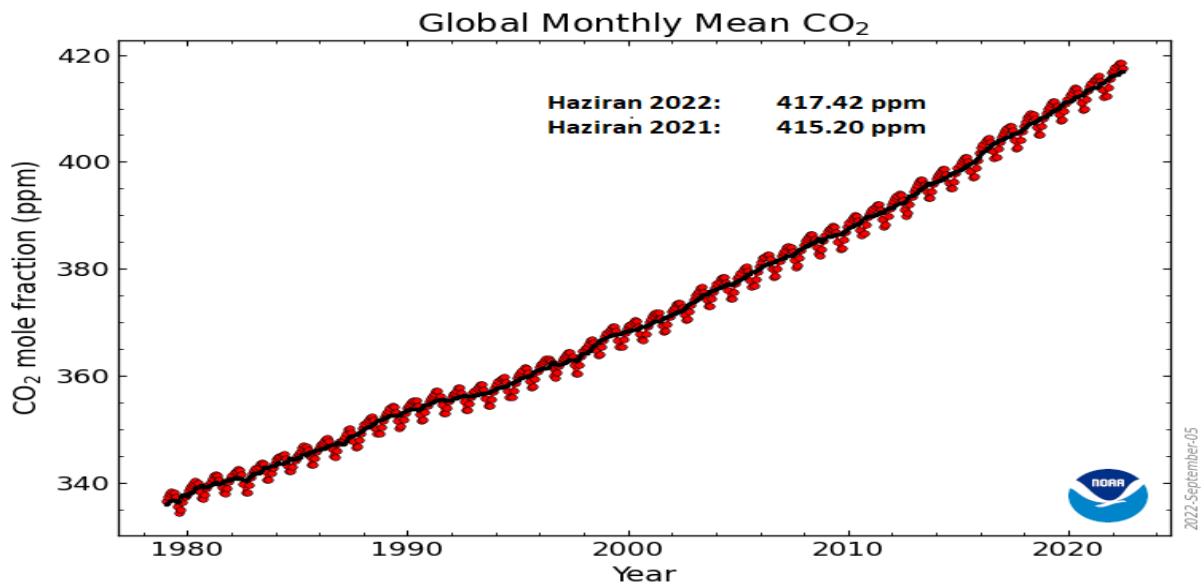
Atmosferdeki konsantrasyonu ve sera etkisini artırmadaki rolü nedeniyle küresel ısınma ve sera etkisi denildiğinde en büyük orana sahip gaz karbondiyoksit (CO<sub>2</sub>) tir. Karbondiyoksitin

atmosferdeki yoğunluğundaki artış doğrudan veya dolaylı yollar ile olabilir, fosil yakıtın yakılması ve oluşan gazın atmosfere ulaşması doğrudan, elektrik tüketimi, uçak veya toplu taşıma seyahatleri, atık bertaraf işlemleri, taşeron aktiviteleri, ürün satın alma işlemleri ve araç makine kiralama işlemleri ile ulaşması ise dolaylı yoldan olmaktadır.

İsveçli bilim adamı Svante Arrhenius 1896 yılında iklim değişikliği üzerinde karbondioksitin etkileri üzerine çalışmalar yaparak buzulların erimesinde ve geri çekilmesinde atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranındaki değişimlerin önemli olduğunu değerlendirmiştir. Ayrıca CO<sub>2</sub> miktarı ile yeryüzü sıcaklığı arasında bağlantı olduğunu ve atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 2 katına çıkması halinde yeryüzündeki sıcaklığın yaklaşık 6°C'lik bir artış gösterebileceğini ifade etmiştir. (Tüzer ve Doğan, 2021). Karbondioksitin atmosferdeki konsantrasyonunun artması insan faaliyetleri ve yaşamsal ihtiyaçlarının karşılanmasından dolayıdır. Dünyada sanayi ve teknoloji gelişmiş ve üretilebilen ürünlerin hem türü artmış hem de birim zamanda üretim miktarı artmıştır. Bu şekilde hızlı üretilen ürünler arkasından da hızlı tüketim ve atık oluşumu gerçekleşmiştir. Karbondioksit her aşamada ya üretilen atık olmuş ya da doğal kaynakların azalmasından dolayı karbondioksit tüketen canlıların yani fotosentez yapan canlıların onu tüketmesi engellenmiştir.

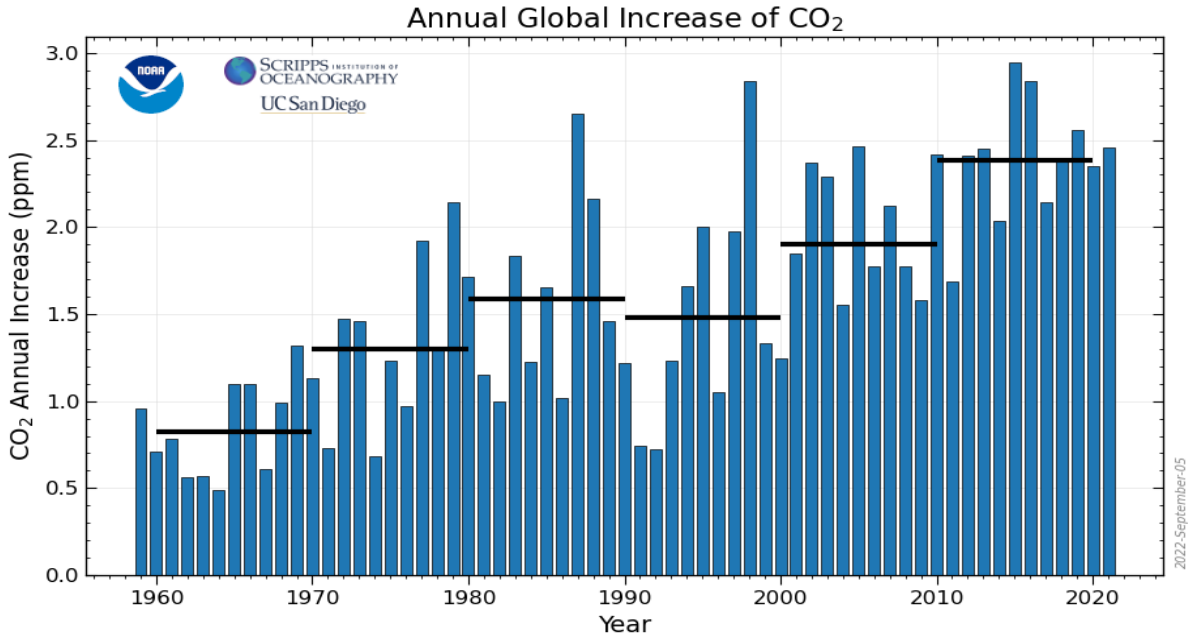
Küresel İzleme Laboratuvarı, dünya genelinde 4 gözlem evinden, 8 adet anlık ölçüm kulesinden ve 50 den fazla bölgede uçaklarla havadan alınan tüp hava numunelerinin analiz edilmesinden elde edilmiş veriler CO<sub>2</sub> değerleri olarak izlenmektedir (NOAA, 2022).

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de Küresel İzleme Laboratuvarı tarafından Dünya genelinde 1980 yılından itibaren günümüze kadar aylık ortalama atmosferde ölçülen CO<sub>2</sub> konsantrasyonu değerleri incelendiğinde atmosferdeki değerlerinin düzenli olarak arttığı ve Haziran 2022 itibari ile 417,42 ppm seviyesine geldiği görülmektedir.



**Şekil 4.** Küresel ölçekte aylık ortalama CO<sub>2</sub> konsantrasyonu (40 yıllık) (NOAA, 2022)

2020 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam emisyon 5,981 Mt CO<sub>2</sub> eşdeğer olarak bulunmuş ve bu emisyon miktarının %79 CO<sub>2</sub>, %11 CH<sub>4</sub>, %7 N<sub>2</sub>O ve %3 F-gazlar dan olmuştur En büyük paya sahip karbondioksit miktarının kaynağı irdelendiğinde ise; %33 (ulaşım-taşımacılık), %31 elektrik enerjisi üretimi, %16 endüstriyel faaliyetler, %12 ticaret ve ikamet faaliyetleri ve %8 inin ise diğer faaliyetler den kaynaklandığı tespit edilmiştir (US EPA, 2017). Küresel İzleme Laboratuvarı tarafından dünya genelinde 1960 yılından itibaren 2020 kadar yapılmış CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışı gösteren grafik **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** te verilmiştir.



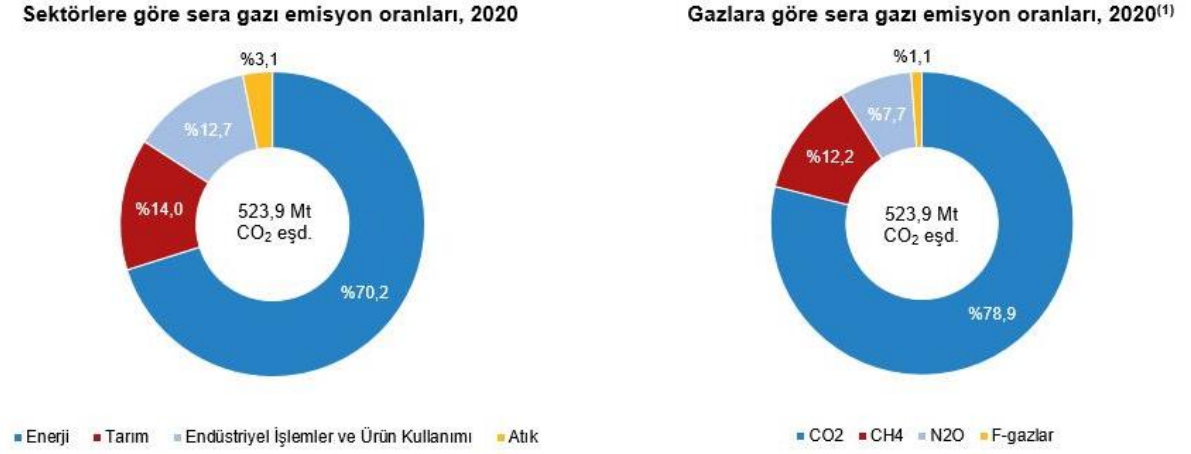
**Şekil 5.** Yıllık küresel ölçekte CO<sub>2</sub> konsantrasyonu artışı (NOAA, 2022)

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** deki verilerden CO<sub>2</sub> değerinin sürekli bir artış davranışında olduğu görülmekte olup, 2010-2020 yılları arasında konsantrasyonun 2 – 2,5 ppm civarında arttığı ve bu artışın fosil yakıt kullanımıyla yapılan taşımacılık ve enerji sektörü kaynaklı olduğu kaydedilmiştir.

### **Metan (CH<sub>4</sub>)**

Karbondioksitten sonra küresel ısınmaya en fazla neden olan gaz metandır. Karbondioksite göre sera etkisi yaklaşık 21 kat fazladır. CH<sub>4</sub> gazı anaerobik çürüme, ham petrol ve doğalgaz madenciliği, organik maddelerin çürüme süreçleri, biyolojik atıksu arıtma tesisleri, akarsu havzaları ve hayvan dışkısı fermantasyonları sonucu açığa çıkmaktadır. Metan hem insan kaynaklı hem de doğal kaynaklar dan atmosfere salınabilmektedir. Metanın doğal olarak donmuş toprak altında, doğalgaz rezervlerinde ve göllerin altına sedimentasyon sonucunda

bulunan bir gazdır. Şekil 6 da Türkiye için sektörlere ve gazlara göre sera gazı emisyon oranları dağılımı verilmiştir.



**Şekil 6.** Türkiye sektörlere ve gazlara göre emisyon oranları(TÜİK Kurumsal, 2022)

TÜİK verilerine göre grafikler incelendiğinde toplam CO<sub>2</sub> emisyonları 2020 yılında %31,6 elektrik ve ısı üretimi, %85,4 enerji sektörü, %14,2 sanayi ve ürün kullanımı sektörü, %0,4 tarım ve atık sektör kaynaklı olduğu belirlenmiştir. CH<sub>4</sub> emisyonlarının %61'i tarım, %22,1'i atık, %16,9'u enerji ve %0,02'si endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklandığı tespit edilmiştir.

### **Nitröz oksit (n<sub>2</sub>o)**

N<sub>2</sub>O anestezi sırasında da kullanılan “güldüren gaz” olarak bilinir karbondioksit ve metandan sonra en güçlü etkiye sahip sera gazı olup atmosferde kalış süresi 121 yıldır ve karbondioksite göre ısı tutma kapasitesi (GWP) 310 kat daha fazla olan bir sera gazıdır (IPCC, 2007). N<sub>2</sub>O fosil yakıt kullanımından, naylon üretiminde kullanıldığı bilinen adipik asit ve gübre ve madencilik sektöründe kullanılan nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) üretiminden kaynaklanmaktadır. (Marchal ve diğerleri, 2011).

### **Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon doğal olarak atmosferin stratosfer tabakasında bulunan bir gazdır. Yüksek enerjili ultraviyole güneşten gelen ultraviyole ışınları emerek bu şekilde zararlı güneş ışınlarının dünya yüzeyine ulaşmasını engeller. Oksijen ve serbest oksijen atomuna dönüşür daha sonra bu serbest oksijen atomu başka bir oksijen molekülü ile birleşerek yeniden ozon oluşur ve bu şekilde kendini yenileyen ve ultraviyole ışınlarını emme özelliği olan bir tabaka olarak çalışır.

## **Sülfür Hekzaflorür (SF<sub>6</sub>), Karbonflorokarbon (CFCS), Hidroflorokarbonlar (HFCS), Perflorokarbonlar (PFCS)**

CFCs, HFCs, PFCs ve SF<sub>6</sub> sera etkisi gösteren gazlar olup GWP yani küresel ısınma potansiyeli yüksek olan gazlardır. Doğal olarak oluşan gazlar olmayıp birçok sanayi faaliyetinde farklı özelliklerinden dolayı kullanılan ancak daha sonra Ozon gazı üzerinde negatif etkileri olduğu görülünce kullanımı ve üretimi Montreal Protokolü ile durdurulan gazlardır. Ozon molekülünün yeniden oluşumunu engelleyerek stratosferde ozon konsantrasyonunun azalmasına (ozon tabakası incilmesi) neden olurlar. Ozon tabakasının incilmesi sonucunda filtrelenmeden dünya yüzeyine ulaşan UV ışınların özellikle Ekvator bölgesinde cilt kanseri ve başka cilt hastalıklarına sebep olmuştur. Bu gazlar, alüminyum üretimi, magnezyum üretimi, semi-kondüktör (yarı iletken) üretiminde, termik özelliklerinden dolayı soğutma teknolojilerinin üretiminde ve spreylerde kullanılmıştır (Özlem, 2013). Dünyanın ihtiyaçlarına göre iklim değişiklikleri, küresel ısınma, sera gazları ve çevre kirliliğini önleme ve değerlendirmeleri için ülkeler müzakereler, antlaşmalar, bildirimler, protokoller imzalamaktadırlar.

## **İklim Değişikliği Mevzuatları**

### **Ulusal mevzuatlar**

Türkiye'nin de taraf olduğu uluslararası mevzuatların ilgili hükümlerinin ulusal alanda uygulanması ve sınır değerlerin belirlenmesi için ulusal mevzuatlar yayınlanmış ve yürütmeye konulmuştur. Uluslararası sözleşmeler ve müzakereler düzenlenerek ihtiyaçlar ve gereklilikler düzenlenerek Türkiye 2006 da Ulusal Sera Gazı Envanteri ve Ulusal Bildirimi doğrultusunda 2009 da Kyoto protokolüne taraf olarak AB ye uyum sürecinde çalışmalara başlamıştır. Ayrıca 29.09.2021 tarih 85 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı İklim Değişikliği Başkanlığı kurulmuş ve karar, tebliğ, yönetmelik ve kanunlar yayınlanarak çalışmalar başlatılmıştır. Küresel ısınma ve sera gazları ile ilgili yönetmelik, kanunlar ve tebliğler;

- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun,
- Çevre Kanunu,
- Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik,
- Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik,
- İklim Değişikliği Başkanlığı Hizmet Birimleri ile Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik

- Havacılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik
- Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik
- Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik
- Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı İstatistik Sistemi Veri Yönetmeliği
- Yapı Malzemeleri Yönetmeliği
- Motorlu Araçlarda İklimlendirme Sistemlerinden Çıkan Emisyonlarla İlgili Tip Onayı Yönetmeliği
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
- Ozon Tabakasını İncelten Maddeler ve Florlu Sera Gazlarının İthaline İlişkin Tebliğ
- Florlu Sera Gazı İçeren veya Çalışması Bu Gazlara Dayanan Ekipmana Müdahale Eden Gerçek ve Tüzel Kişilerin Belgelendirilmesine İlişkin Tebliğ
- Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması ve Doğrulayıcı Kuruluşların Akreditasyonu Tebliği
- Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ
- Gönüllü Karbon Piyasası Proje Kayıt Tebliği olarak sıralanmıştır (mevzuat.gov.tr, 2022).

### **Uluslararası mevzuatlar ve protokoller**

İklim değişikliği ve küresel ısınma nedeniyle ilk uluslararası çalışmalar 1979'da Dünya Meteoroloji Teşkilatı ile Birinci Dünya İklim Konferansı'nda olmuştur. Bu konferansta, fosil yakıt kullanımı sonucu sera gazlarında artış, iklim değişiklikleri, çölleşme, kuraklık, kıtlık gibi felaketlerin geleceğin büyük çevre sorunlarını yaratacağı ve önlemleri için yapılması gerekenlerin tespiti ele alınmıştır (Arı, 2010).

#### ***Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi***

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 1992 yılında Rio'da yapılan ön görüşme ile Yeryüzü Zirvesinde hazırlanılarak 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye bu sözleşmeye 24.05.2004 tarihinde 189. Taraf ülke olarak imza atmıştır (iklim.gov.tr, 2022) Bu sözleşmenin uygulanabilirliğinin başarılı olması için gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir kalkınmaları ve ekonomik büyümelerinin desteklenmesi sağlanmaktadır (Arı, 2010).

### ***Kyoto protokolü***

Kyoto protokolü, 11.12.1997 tarihinde COP 3 (üçüncü taraflar konferansı) de toplanarak dünya çapında sera gazlarının azaltılmasına yönelik bağlayıcı hedefler ve önlemler alan bir protokol olup, 16.02.2005 tarihinde uygulama adına yürürlüğe girmiştir. (Öztürk ve Öztürk, 2019) Bu protokol belirtilen azaltım hedefini yakalamak için mekanizmaları ve uyumsuzluk durumunda ise yaptırımları içermektedir. Türkiye 26.08.2009 tarihinde çalışmalar çerçevesinde bu protokole taraf olmuştur (iklim.gov.tr, 2022). Protokole göre; taraf ülkeler doğrudan insan faaliyeti sonucu oluşan sera gazları toplam emisyonunu, 1990 yılındaki seviyesinden minimum %5 altına indireceklerini kabul etmişlerdir (Öztürk ve Öztürk, 2019).

### ***Viyana sözleşmesi***

Viyana Sözleşmesi 1985 yılında kabul edilmiştir. Sözleşme ozon tabakasını incelten ve ozon tabakasının yapısını bozan Kloroflorokarbonların azaltılması, insan kaynaklı faaliyetlere karşı, insan ve çevre sağlığını korumaya yönelik tedbirlerin alınması üzerine tarafları görevlendirmiştir. (iklim.gov.tr, 2022)

### ***Montreal protokolü***

1987 yılında “Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü” kabul edilmiştir. Bu protokolde pek çok Kloroflorokarbonlar ve bazı yangın söndürme kimyasallarının üretimini ve tüketimini kısıtlayan yaptırımlar uygulanmaktadır. Türkiye 19.12.1991 tarihinde bu protokole taraf olmuştur (mfa.gov.tr, 2022).

### ***Paris anlaşması***

2020 yılı ve sonrasında küresel ısınma ve iklim değişikliği için alınacak önlemler belirlemek için Paris Anlaşması, 2015 yılında BMİDÇS de imzalanarak 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. Mart 2021 tarihi ile birlikte bu anlaşmaya 191 ülke taraf olmuştur (wikipedia.org, 2020). Paris anlaşması küresel ısınmanın iklim üzerindeki etkilerini önemli ölçüde azaltmak için ortalama sıcaklık artışını 2 °C artış seviyesinde sabit tutmak ve 1,5 °C seviyesine geriletmesini amaçlamaktadır (Ahmetoğlu, 2019).

### **Karbon Ayak İzi**

Karbondioksit sera gazları içerisinde en büyük orana sahip olduğundan “Karbon Ayak İzi” hesaplamasında ana bileşen olarak kabul edilerek kullanılır. Karbon ayak izi kavramı ilk olarak William E. Rees ve Mathis Wackernagel tarafından ekolojik ayak izi kavramının bir parçası olarak ortaya çıkmıştır (Bazan, 1997). Karbon ayak izi, atmosfere yaşamsal faaliyetler

sonucu salınan gazlardan karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu gazların sera gazları adı altında en büyük orana sahip karbondioksit cinsinden eş değer CO<sub>2</sub> miktar gram (CO<sub>2</sub>e) olarak değerlendirilerek hesaplanmasıdır. Bireylerin ya da toplumların tüm yaşamsal faaliyetleri sonucunda doğaya salınan (CO<sub>2</sub>) emisyon miktarına/eşdeğerine o bireyin ya da topluluğun karbon ayak izi denilmektedir (Chen, Zhang ve Han, 2021). Modern yaşama geçiş ve nüfus artışı ile öne çıkan sera gazı kaynakları, enerji üretimi ve kaynak kullanımı, taşıt ve toplu taşıma, sanayi ve tarımsal kullanımlar ve benzeri diğer insan faaliyetleri sonucu oluşan emisyonlardır. Karbon ayak izi temelde iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar birincil ve ikincil karbon ayak izi olarak adlandırılır. Birincil karbon ayak izinde temel bileşen evsel ve endüstriyel ısınma ve aydınlatma, enerji tüketimi ve ulaşım ve taşıma sonucu oluşan doğrudan fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır. İkincil karbon ayak izi ise kullanıma sunulana kadar tüm üretim kullanım ve tabiatta bozulma sonucunda ortaya çıkan dolaylı CO<sub>2</sub> emisyonları olarak ifade edilmektedir. Bu verilerle karbon ayak izi hesabında hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre 3 ana yaklaşım ile hesaplama yapılır. *Tier* adı verilen bu yaklaşımlar 3 farklı kategoriden oluşur. Bunlar *Tier 1*, *Tier 2* ve *Tier 3* yaklaşımlarıdır. *Tier 1* yaklaşımında, ülkenin enerji istatistiklerinden alınan veriler ve kullanılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ile emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapılır. *Tier 2* yaklaşımında ise *Tier 1*'e belirlenmiş ve ülkeye veya belirli bölgelere ait özel emisyon faktörleri ile yakma teknolojileri kullanılır. *Tier 3* yaklaşımında ise, yakıt istatistikleri ve yakma teknolojisine göre belirlenmiş teknolojiye bağlı emisyon faktörleri ile yakma tesislerinin yakıtı ait ısı güçleri ve istatistiksel bilgiler kullanılır (Kotchen ve Mansur, 2016).

### IPCC Karbon Ayak İzi Hesaplama Metodolojisi

Karbon ayak izi hesaplamaları (IPCC) yöntemine göre yapılmaktadır. Bu hesaplamada kullanılan formül ise *Emisyon = Yakıt Tüketimi x Emisyon Faktörü* şeklindedir (semtrio.com, 2022).

CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplanabilmesi için;

- Tüketilen yakıt miktarı,
- Tüketilen yakıtın enerji değeri,
- Tüketilen yakıtı uygun emisyon faktörü bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Karbon ayak izi hesabında denklem(1) kullanılır.

$$T_E = T_G \times KD_{net} \quad (1)$$

Burada;

T<sub>E</sub>: Enerji tüketimi (tJ)

$T_G$ : Gerçekleşen tüketim (Gg)

$KD_{net}$ : Net Kalorifik değer (tJ/Gg)

Tüketilen enerji bulunduktan sonra yakıtın oksitlenme oranı ve belirlenmiş emisyon faktörü kullanılarak neden olduğu emisyon her gaz için ayrı ayrı hesaplanabilir. Bu hesaplama için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$CO_2$  GWP değeri 1 olduğu için ayrıca GWP değeri ile çarpılmaz ancak  $CH_4$  ve  $N_2O$  gazlarından meydana gelen karbon ayak izinin hesaplanmasında GWP katsayısı ile çarpılması sonucu  $CO_2$  eşdeğeri değerine ulaşılır. Sırasıyla denklem 2 de  $CO_2$ , denklem 3 de  $CH_4$  ve denklem 4 de  $N_2O$  hesaplamaları yapılmaktadır.

$$E_{CO_2} = T_E \times P_C \times EF \quad (2)$$

$$E_{CH_4} = T_E \times P_C \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{CH_4} \times G \quad (3)$$

$$E_{N_2O} = T_E \times P_C \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{N_2O} \times G \quad (4)$$

Burada;

$E_{CO_2}$ : Karbondioksit emisyonu (kg  $CO_2$ )

$E_{CH_4}$ : Metan emisyonu (kg  $CH_4$ )

$E_{N_2O}$ : Nitrozoksit emisyonu (kg  $N_2O$ )

$T_E$ : Enerji tüketimi (tJ)

$P_C$ : Oksitlenme oranı (%)

$EF$ : Yakıt Emisyon Faktörü ( $\frac{kg\ CO_2}{tJ}$ ,  $\frac{kg\ CH_4}{tJ}$ ,  $\frac{kg\ N_2O}{tJ}$ )

Tüketilen elektrik için karbon ayak izi hesaplamasında aşağıdaki formüller kullanılır.

$$E_{CO_2} \text{ kg } CO_2 = T_G \times EF \quad (5)$$

$$E_{CH_4} \text{ kg } CH_4 = T_G \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{CH_4} \times G \quad (6)$$

$$E_{N_2O} \text{ kg } N_2O = T_G \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{N_2O} \times G \quad (7)$$

Burada;

$E_{CO_2}$ : Karbondioksit emisyonu (kg  $CO_2$ )

$E_{CH_4}$ : Metan emisyonu (kg  $CH_4$ )

$E_{N_2O}$ : Nitrozoksit emisyonu (kg  $N_2O$ )

T<sub>G</sub>: Gerçekleşen elektrik tüketimi (KW)

EF: Elektrik Emisyon Faktörü ( $\frac{kg CO_2}{kW}, \frac{kg CH_4}{kW}, \frac{kg N_2O}{kW}$ )

G: GWP katsayısı

Tüketilen su için karbon ayak izi hesaplamasında aşağıdaki formüller kullanılır.

$$E_{CO_2} \text{ kg } CO_2 = T_G \times EF \quad (8)$$

$$E_{CH_4} \text{ kg } CH_4 = T_G \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{CH_4} \times G \quad (9)$$

$$E_{N_2O} \text{ kg } N_2O = T_G \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{N_2O} \times G \quad (10)$$

Burada;

E<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Karbondioksit emisyonu (kg CO<sub>2</sub>)

E<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Metan emisyonu (kg CH<sub>4</sub>)

E<sub>N<sub>2</sub>O</sub>: Nitrozoksit emisyonu (kg N<sub>2</sub>O)

T<sub>G</sub>: Gerçekleşen su tüketimi (m<sup>3</sup>)

EF: Su Emisyon Faktörü ( $\frac{kg CO_2}{m^3}, \frac{kg CH_4}{m^3}, \frac{kg N_2O}{m^3}$ )

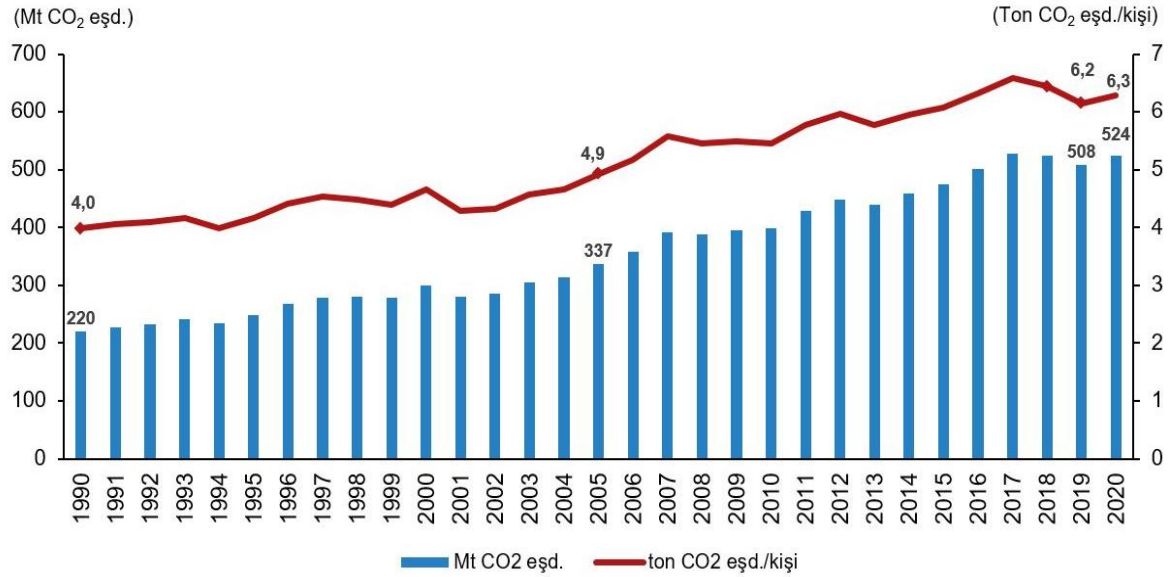
G: GWP katsayısı

Karbon ayak izinin azaltılması bu hesaplamalardan sonra hesaplamada kullanılan emisyon kaynakları incelenerek oluşturulacak alternatif ve daha çevre dostu çözümlerin geliştirilmesi ile mümkün olabilir

2004 yılında yapılan çalışmalar ile insan faaliyetleri sonucu sera etkisi yapan gaz emisyonlarının %56'sının fosil yakıt kullanımı ile ortaya çıkan karbondioksit kaynaklı olduğu bildirilmiştir. İklim değişiklikleri, küresel ısınma kuraklık ve çölleşme ile ormanlık alanlardaki azalmanın da %17 gibi bir paya sahip olduğu bildirilmiştir (IPCC, 2006).

### **Türkiye'de karbon ayak izi**

Türkiye İstatistik Kurumunun istatistiksel verileri incelenerek 1990 yılından başlanarak kaydedilen sera gazı verileri **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu veriler incelendiğinde 2020 yılında atmosfere verilen toplam sera gazı en yüksek değer olan 523,9 Mt CO<sub>2</sub>e (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) seviyesinde olduğu görülmekte ve bu kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonunun 6,4 tCO<sub>2</sub>e olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.** Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu (1990-2020) (TÜİK Kurumsal, 2022)

Ülkemizde sera gazı emisyonlarının sektörlere göre özellikle enerji, sanayi ve ürün kullanımı, tarım, atık alanlarında dağılımı TÜİK verilerine göre Tablo 4 de verilmiştir.

**Tablo 4.** Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020) (TÜİK Kurumsal, 2022)

	(Milyon ton CO <sub>2</sub> eşd.)										1990-2020 değişim (%)	2019-2020 değişim (%)
	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
<b>Toplam emisyon</b>	<b>219,7</b>	<b>299,0</b>	<b>398,7</b>	<b>474,5</b>	<b>500,8</b>	<b>528,3</b>	<b>524,0</b>	<b>508,1</b>	<b>523,9</b>	<b>138,4</b>	<b>3,1</b>	
Enerji	139,6	216,0	287,8	342,0	361,7	382,4	374,1	365,4	367,6	163,3	0,6	
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	23,0	26,3	49,0	59,2	63,5	66,4	68,0	58,6	66,8	190,5	14,0	
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	73,2	58,8	7,5	
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,4	48,0	2,1	

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Tablo 4 te yer alan 2020 verilerine göre %70,2 (367,7 Mt CO<sub>2</sub>e) ile enerji sektörü en büyük orana sahipken, en düşük oran ise %3,1 (16,2 Mt CO<sub>2</sub>e) ile atık sektörüdür. Sera gazlarının içinde en büyük oranlara sahip gazlara ait emisyon değerleri Tablo 5 de verilmiştir.

**Tablo 5.** Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020)(TÜİK Kurumsal, 2022)

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	1990-2020 değişim (%)	2019-2020 değişim (%)
Toplam emisyon	219,7	299,0	398,7	474,5	500,8	528,3	524,0	508,1	523,9	138,4	3,1
CO <sub>2</sub>	151,7	229,9	316,0	384,3	405,3	430,2	422,6	401,7	413,4	172,6	2,9
CH <sub>4</sub>	42,5	43,7	51,6	52,8	55,6	56,8	60,3	63,1	64,0	50,6	1,4
N <sub>2</sub> O	25,0	24,8	27,4	32,3	34,4	35,6	35,5	37,0	40,5	62,2	9,4
F-gazlar	0,6	0,7	3,6	5,0	5,5	5,7	5,7	6,2	6,0	860,6	-3,8

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir. F-gazlar florlu gazlardır.

Tablo 5 de toplam sera gazı emisyonu oluşturan gazlardan en büyük pay genel olarak CO<sub>2</sub> (karbondioksit) 'e en küçük pay ise F-gazlara aittir. Bu gazların hangi sektörlerden kaynaklandığı incelendiğinde; CO<sub>2</sub> (karbondioksit) emisyonu en fazla enerji sektöründen ve en az ise tarım ve atık sektörlerinden, CH<sub>4</sub> (metan) emisyonu en fazla tarım sektöründen ve en az endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, N<sub>2</sub>O (nitröz oksit) emisyonu en fazla tarım sektöründen, en az endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklanmıştır. (TÜİK Kurumsal, 2022)

### Hazır beton

İnsanoğlunun barınma ve yerleşme ihtiyacı sonucunda oluşan, artan ve sürekli gelişen bina, yapı ve yapı malzemeleri ilk çağlardan beri kullanılmaktadır. Bir yapı malzemesi olarak kullanılan çimento ve bağlayıcılar, tarih boyunca çeşitli şekillerde kullanılmış ve birçok eserin günümüze kadar ulaşmasında önemli rol oynamıştır. Farklı coğrafyalarda örneğin; Mısır'da piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcıların kullanılması, Roma' da Pantheon ve Colloseum gibi yapılarda doğal hidrolik yapıştırıcı olarak puzolan kullanılması ve Orta Asya ve Anadolu'da su sarnıcı, cami, köprü vb. yapılarda horasan harcı denilen bir harç kullanılması, yapı malzemesinin ana bileşenini oluşturan betonun gelişimini göstermektedir. Günümüzde kullanılan betonun kullanımı ise 1817'de yapay çimentonun mucidi Louis Vicat ile başlayarak, Joseph Monier ile devam etmiştir. Çalışmalarında paslanabilen demir yerine tel kafes ile güçlendirilmiş çimentolu karışımlarla çiçek saksıları, sandıklar, borular ve su depoları üretmek için denemeler yapmıştır (Daniel ve Lobo, 2014; Engin, 2022). Joseph Aspdin'in Portland Çimentosunu kullanmasıyla isteğe ve ihtiyaçlara göre betonun kalitesi ve üretim teknolojisi gelişerek devam etmiştir. (Ferruh, Tümer ve Selçuk, 2004). İlk hazır beton sektörü 1903 yılında Almanya'da başlamış ve Türkiye ise bu sektöre 1976 yılında, 25 hazır beton şirketi ve 30 üretim tesisi ile girmiştir (Ferruh ve diğerleri, 2004). 1988 yılında hazır beton sektörünün gelişmesi ile ihtiyaçlar doğrultusunda bir birlik olarak kurulan Türkiye Hazır Beton Birliği' 2020 verilerine göre Türkiye'de tesisler artmış ve 542 hazır beton şirketi, 1032 üretimin

tesisine ulaşmıştır (THBB, 2022a). Tablo 6 da Dünya da ve Türkiye’de hazır beton üretimi verilmiştir.

**Tablo 6.** Dünyada ve Türkiye’de Hazır Beton Üretimi (THBB, 2021)

Ülkeler	Üretim (Milyon m <sup>3</sup> )		Tesis Sayısı	Tesis başı üretim (Bin m <sup>3</sup> )	Kişi başı üretim (m <sup>3</sup> )
	2020	2021	2021	2021	2021
Avusturya	11,5	12,8	255	50,2	1,4
Belçika	12,4	14,0	235	59,6	1,2
Danimarka	2,8	3,1	96	32,3	0,5
Finlandiya	2,9	2,9	193	15	0,5
Fransa	37,0	40,6	1856	21,9	0,6
Almanya	55,3	54,2	1900	28,5	0,7
İrlanda	4,7	4,7	220	21,4	0,9
İtalya	28,7	35,8	1800	19,9	0,6
Hollanda	7,4	7,2	188	38,3	0,4
Polonya	25,7	26,6	1096	24,3	0,7
Portekiz	5,7	6,2	231	26,8	0,6
Slovakya	3,0	2,9	280	10,4	0,5
İspanya	22,8	25,8	1601	16,1	0,5
İngiltere	20,7	23,6	1062	22,2	0,4
İsrail	20,8	21,1	226	93,4	2,4
Norveç	3,7	3,6	208	17,3	0,7
Türkiye	95,0	105,0	1106	94,9	1,3

Küresel büyüme ve nüfus artışı ile inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan beton, Dünya’da yılda kişi başı 3.8 tonun üzerinde üretilirken, imalat ve tedarik süreci sırasında yüksek karbondioksit emisyonlarına sahip olması nedeniyle karbon ayak izi açısından önemli bir değere sahiptir. Gelişmiş ülkelerde ve özellikle Avrupa ülkelerinde çevresel etkileri dikkate alınarak kontrol edilmesi sağlanmaktadır (Petek Gursel, Masanet, Horvath ve Stadel, 2014; Xuan, Poon ve Zheng, 2018).

2021 yılında Türkiye’de bir önceki yıla oranla sektördeki firma sayısı %11, tesis sayısı ise %7 oranında artmıştır. 1988’de hazır beton firma sayısı 25 iken 2019’da 450, 2020’de 542, 2022’de 600 olurken hazır beton tesisi sayısı ise yıllara göre sırasıyla 30, 900, 1032, 1106 olurken sıralama da 2021 yılında tesis sayısı açısından beşinci sırada yer almıştır (THBB, 2021). Çağın gereği sera gazı emisyonlarını azaltmayı karşılamak için beton, hazır beton ve

çimento üretimini azaltmak için küresel ölçekte politikalar ve eylem planları geliştirilmelidir. Hazır beton üretiminde farklı sınıflar kullanılmakta kalite ve miktar ayarlamaları yapılmaktadır. Hazır betonun sınıflandırılması için birçok kriter kullanılmaktadır bunlardan bazıları; istenen kıvam, en büyük agrega tane büyüklüğü, basınç dayanımı, birim ağırlık, üretim, uygulanacağı yer ve bina yapısı esas alınmaktadır. Yapılan beton ve özel amaçlı beton şeklinde sınıflandırma yapılabilir. Kıvamına göre; K1 – K5, en büyük agrega boyutuna göre; D1 – D4, basınç dayanımına göre; C14 – C100, birim ağırlığına göre; hafif, normal, ağır, uygulandıkları yere göre; püskürtme, kuru, yaş, lifli, özel amaçlı betonlar; ferrocement beton, vakumlu beton, viskobeton, endüstriyel zemin betonu, grobeton ve dekoratif beton olarak sınıflandırılabilirler (Muhammed, 2021).

### **Hazır beton üretimi**

Beton, agrega (kum, çakıl, kırma taş gibi taneli farklı mineral yapıya sahip inorganik malzemeler ince ya da kaba), çimento ve suyun, istenen beton sınıfına uygun isteğe ve ihtiyaca yönelik kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek homojen olarak karıştırılarak başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşır sertleşerek mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir. Hazır beton, bilgisayar sistemleri ile modern olarak istenilen oranlarda standartlara uygun bir araya getirilen malzemelerin, beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen ve istenen kıvam ve miktarda tüketiciye 'taze beton' olarak plastik kıvamda sertleşmemiş teslim edilen betona denmektedir. Hazır beton üretiminin su ölçme ve karıştırma işlemlerine ve hazır beton santrallerinde veya transmikserde yapılmasına göre kuru sistem ve yaş sistem iki şekli bulunmaktadır.

- Kuru karışimli hazır beton, agrega ve çimentosu belirli oran ve miktarlarda hazır beton santrallerinde veya transmikserde hazırlanan, belli suyu ve varsa kıvam yardımcısı kimyasal katkısı tüketiciye teslim aşamasında ölçülüp karıştırılarak hazırlanan hazır betondur. Önemli nokta olarak su miktarı ve karıştırma süresidir.
- Yaş karışimli hazır beton, su, kimyasal katkı maddeleri dahil tüm elemanları beton santralinde ölçülen ve karıştırılan hazır hale getirilen hazır betondur. Hazır Betonun kalitesini belirleyen 5 temel aşama söz konusudur.
  1. Ölçme
  2. Üretim (karıştırma, hazırlama)
  3. Taşıma
  4. Yerleştirme
  5. Bakım ve Kür

Bunlardan ilk üç aşama hazır beton üretimi sırasında, son iki aşaması ise tüketiciye teslimden sonra yerine getirilmektedir. Günümüzde gelişmiş ülkelerdeki tüm betonarme inşaatlarında hazır beton kullanılmaktadır (THBB, 2022b).

### **Hazır beton kullanım alanları**

Hızlı nüfus artışı, endüstrileşme ve kentsel yaşamın cazip hale gelmesi sonucunda modern kentsel yapılar, binalar, yol ve köprüler ve altyapı sistemleri, su ve atık su sistemleri ve tesisler çimento esaslı beton ve çelikten yapılmakta olup en yaygın kullanılan bileşenler olarak değerlendirilmektedir. Çimento ve beton, dayanıklılıkları, kolay ve çok geniş yelpazede kullanılabilirliği nedeniyle inşaat ve yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir. 2019 verilerine göre bu üretim proseslerinde ve transfer taşıma aşamasında kullanılan güç, enerji ve fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonları miktarı azımsanmayacak kadar büyük yer kaplarken, küresel emisyonların da yaklaşık %10 unu oluşturmaktadır. Bu etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler alınması çevresel açıdan önem arz etmektedir. Bu önlemler arasında; alternatif yapı malzemelerine ve yardımcı elemanlara yönelmek, çevreci malzemeleri üretmek, çevresel riskleri en aza indirebilmek için teknolojiler geliştirmek, geri dönüşümü teşvik etmek ve sürdürülebilir çevre için yapı malzemeleri geliştirmek yer alır (Belaïd, 2022).

Hazır beton, günümüzde en çok kabul gören yapı malzemelerinden olup, betonun kullanıldığı her yapıda, kullanım alanına sahiptir. Konvansiyonel betona göre işçilikten ve zamandan tasarruf sağlayarak, ihtiyaca göre kalite sınıfında üretilerek çağdaş, temiz bir çalışma imkânı sunar. Hazır Beton;

- Kaliteli sağlam beton üretimi,
- Kontrol imkânı sağlaması,
- Standartlara uygunluk (istenen sınıf ve miktarda üretim imkânı),
- Beton, çimento, sıva, kalıp malzemesi üretiminden tasarruf edilebilmesi,
- Zamandan tasarruf,
- İşçilikten tasarruf,
- Büyük projelerde hızlı çalışma imkânı,
- Kraft kâğıdından tasarruf,
- Daha az beton atığı,
- Çevre temizliği ve çevre sağlığına önem vermesi nedeniyle tercih edilmektedir.

### **Hazır beton santrallerinin çevresel açıdan değerlendirilmesi**

- Şantiyede Alınacak Önlemler

Üretim sonrası transfer sırasında ve beton dökümünden sonra trans mikserlerde beton artıkları kalması durumunda bu artıklar belli bir yerde biriktirilmeli, döküleceği yere kadar taşınırken çevre kirliliğini önlemek için önlemler alınarak, trans mikserlerden çevreye dökülmesi önlenmelidir. Tesiste su kullanımı sırasında kullanım ve yıkama yapılırken özenli davranılarak su tasarrufu sağlanmalıdır. Geri kazanılmış su kullanılıyorsa; geri kazanım tankına (dinlendirme havuzuna) iletilmeli ve atık su çıkışı önlenmeli, tesis drenaj sistemi sağlanmalıdır.

- Beton geri kazanım

Geri dönüştürülen beton, farklı amaçlarda kullanılma imkânı sağladığından, farklı amaçlarda, yapılarda değerlendirilmeli, çukur, su kanalları, tesis önü peyzaj çalışmalarında vb. kullanılırken çukur vb. gibi eksikliklerde dolgu malzemesi olarak ve öğütülerek farklı boyutlarda agrega olarak kullanılır hale getirilmelidir.

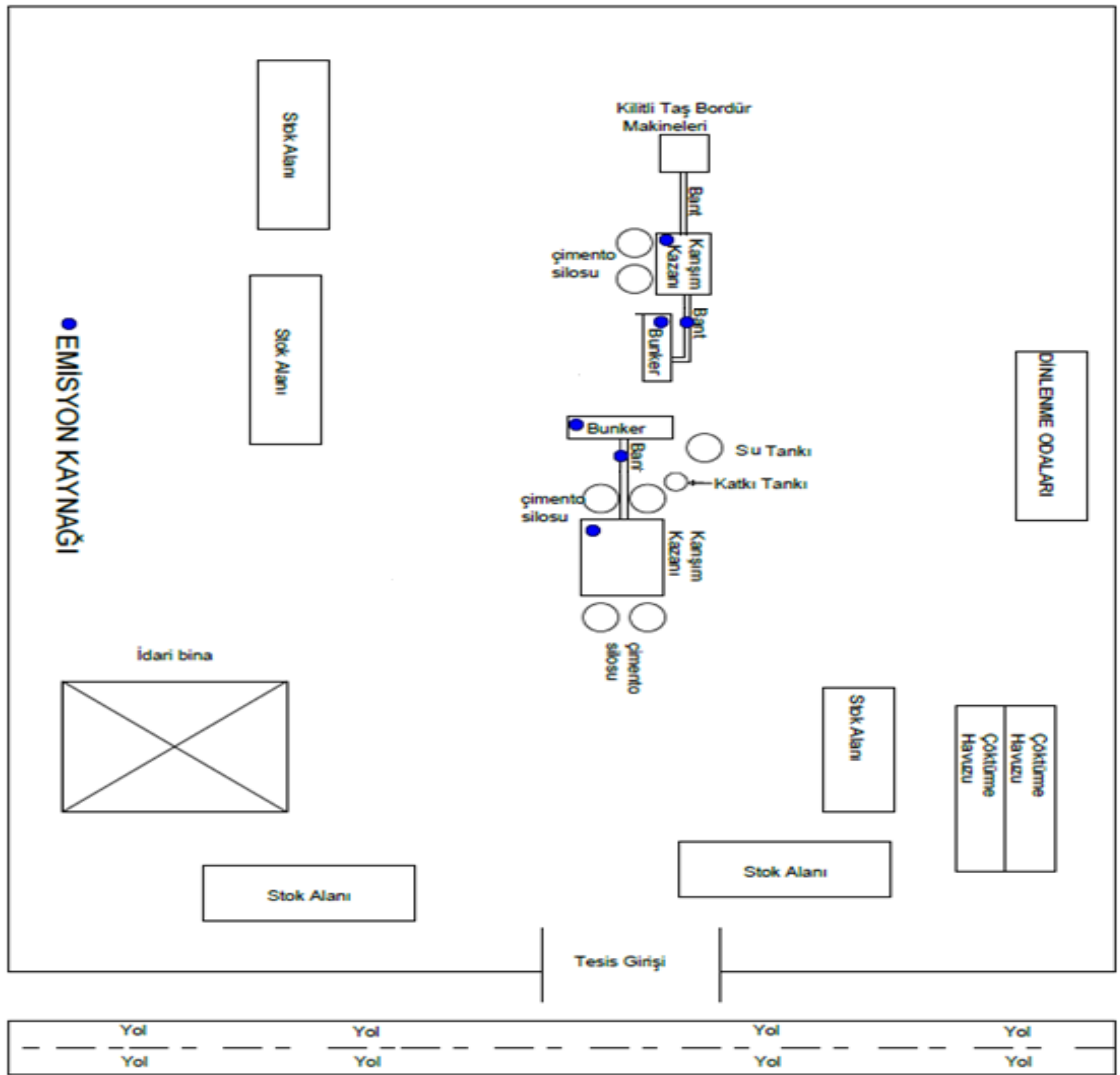
- Tesiste Alınacak Önlemler

Tesise ait metal, kâğıt, ahşap, bidon, plastik vb. her türlü atık malzeme geri dönüşebilir şekilde yeniden kullanılmalı veya bertaraf edilmelidir. Evsel atıkların (çöp) düzenli olarak uygun bir yerde biriktirilmeli belediyeler yoluyla toplanmalıdır (megep.meb.gov.tr, 2012).

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Tesis Bilgileri

Çalışma da karbon ayak izi hesaplanacak hazır beton santrali 953 m<sup>2</sup> kapalı olmak üzere toplam 17855 m<sup>2</sup> alanda kurulu olup, tesiste 33 çalışan sabit olmak üzere bu sayı iş yükünün artması durumunda sezonluk işçi ile artmaktadır. Tesis genel vaziyet planı Şekil 8 de verilmiştir.

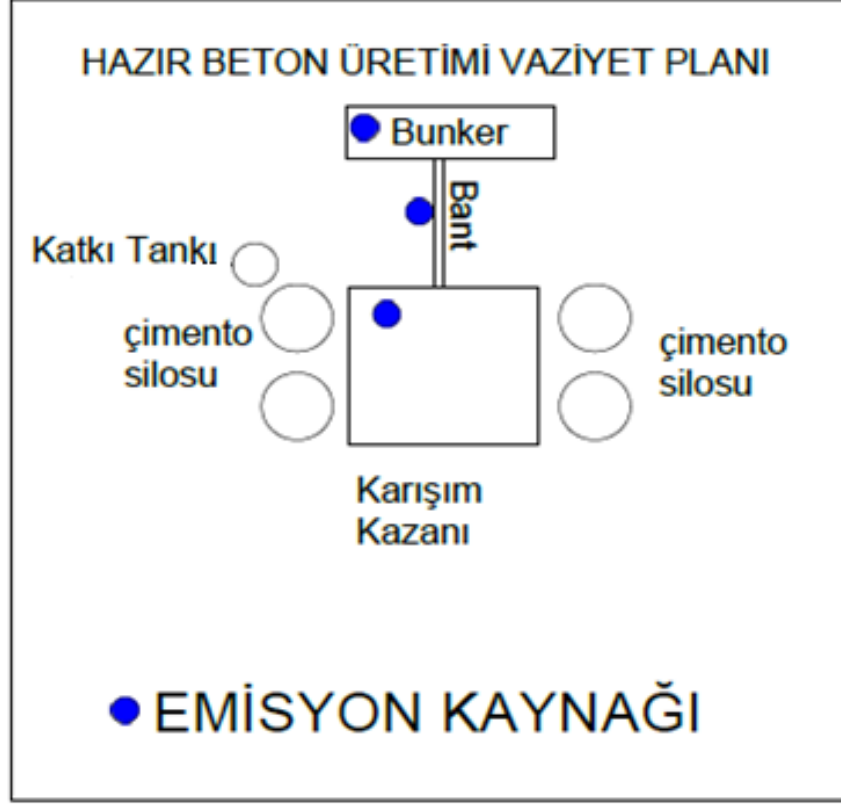


Şekil 8. Tesis genel vaziyet planı

### Hazır Beton üretimi

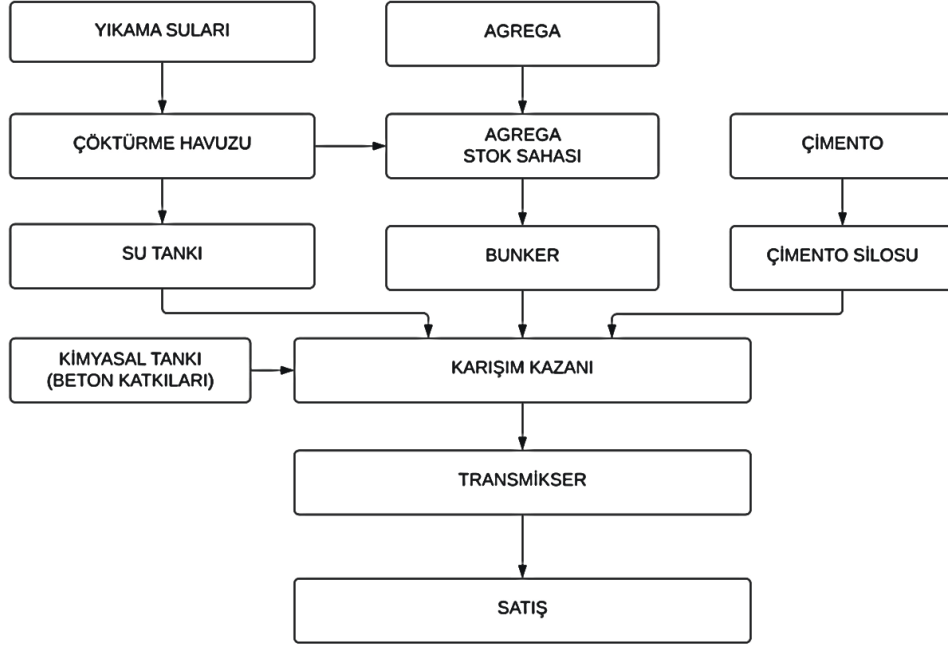
Hazır beton üretimi kapasitesi kapasite raporuna göre yıllık 184320 m<sup>3</sup> olmasına rağmen 2021 yılında toplam 116000 m<sup>3</sup> hazır beton üretimi yapılmıştır. Hazır beton üretimi için

hammadde hazır olarak tesise nakliye edilmekte ve üretim sonrası hazır beton alıcıya transmikserler ile teslim edilmektedir. İş takvimi aralığında yıllık olarak hazır beton santralinde hazır beton ve kilitli taşı beton bordür üretimi yapılmaktadır. Hazır beton üretimi vaziyet planı Şekil 9 da verilmiştir.



**Şekil 9.** Hazır beton üretimi vaziyet planı

Hazır beton üretimi iş akış şeması Şekil 10 da verilerek her bir proses açıklamaları aşağıda verilmiştir.



**Şekil 10.** Hazır beton üretimi iş akış şeması

#### *Hazır beton üretimi iş akım şeması açıklaması*

**Su Tankı:** Hazır beton üretiminde karışım için gerekli kullanılacak su depolanarak buradan temin edilmektedir.

**Çöktürme Havuzu:** Mikserlerin, santralin ve sahanın yıkanması ile oluşan atık suyun toplanıp, çöktürme işlemi ile fiziksel arıtmasının yapıldığı ünedir.

**Bunker:** Hazır beton üretimi için gerekli agreganın (kum) doldurulduğu ünedir.

**Çimento Siloları:** Hazır beton üretimi için gerekli çimento malzemesinin bulunduğu ünedir.

Beton imalatında kullanılacak çimento, çimento fabrikasından alınarak silolara doldurulur ve hazırlanacak betonun kalite, miktar ve türüne göre karışım kazanına aktarılır.

**Karışım Kazanı:** Hazır beton üretimi için gerekli agrega çimento ve suyun karışımının sağlandığı ünedir.

**Transmikser:** Hazırlanan karışımın nakliyesi için kullanılan transmikser araçlarına dolununun yapıldığı noktadır.

#### *Proses çalışma prensibi*

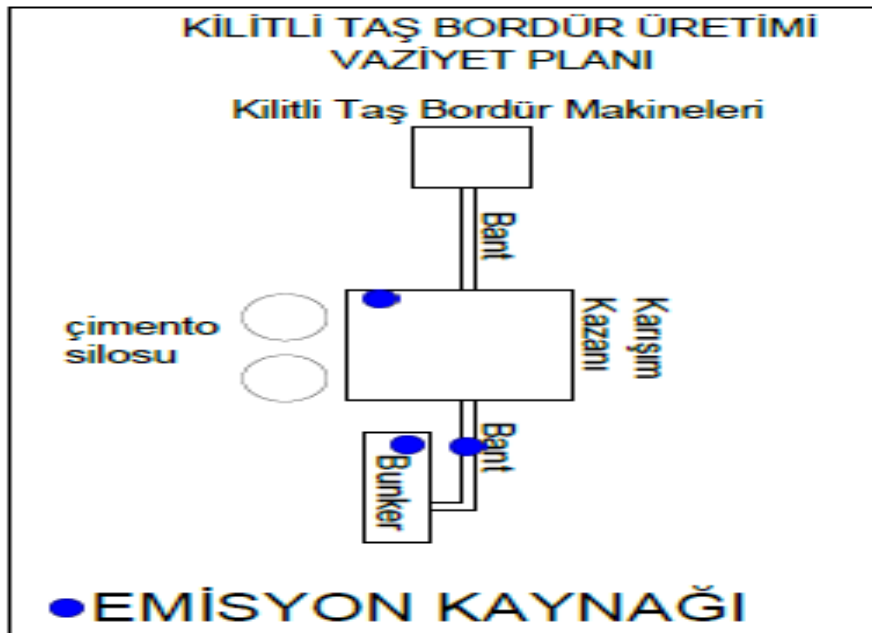
Hazır alınan agrega tesis içerisindeki stok alanına getirilerek üretim aşamasında iş makinaları yardımı ile bunkere boşaltılan malzeme taşıyıcı bant yardımı ile yıkama ve eleme

noktasına iletilir. Burada eleme işlemi gerçekleştirildikten sonra bantlardan gelen malzeme stok sahasında biriktirilir. Tesiste hazırlanan yıkanmış elenmiş kum iş makineleri yardımıyla bunker içerisine boşaltılır. Hareketli bantlar yardımı ile bunkerdeki malzeme karıştırma kazanına iletilir. Su tankındaki su istenen miktarda pompa yardımıyla karıştırma kazanına iletilir. Çimento silolarındaki çimento helezonları yardımıyla karıştırma kazanına iletilir. Karıştırma kazanına gelen bu tüm malzemeler istenen beton sınıfı, kalitesi ve miktarında bu kazanda istenilen oranlarda karıştırılır. Üretilen hazır beton dolun noktasından transfer mikser araçlarına doldurulur. Mesai bitiminde tesise dönen mikser araçları çöktürme havuzunun birinci basamağında eğimli bölgede suyla yıkanır. Buradan çıkan atıksu ikinci havuza boru yardımıyla aktarılır. Burada bekletilen suyun çökmesi sağlanır. Yüzeyde kalan su sonraki havuza alınarak buradan pompa yardımıyla kullanılmak üzere su tankına gönderilir. Bu şekilde mikserlerin yıkanmasından çıkan atık su tamamen sistem içerisinde tekrar kullanılarak atık oluşumu önlenmektedir.

### **Kilitli parke taşı beton bordür üretimi**

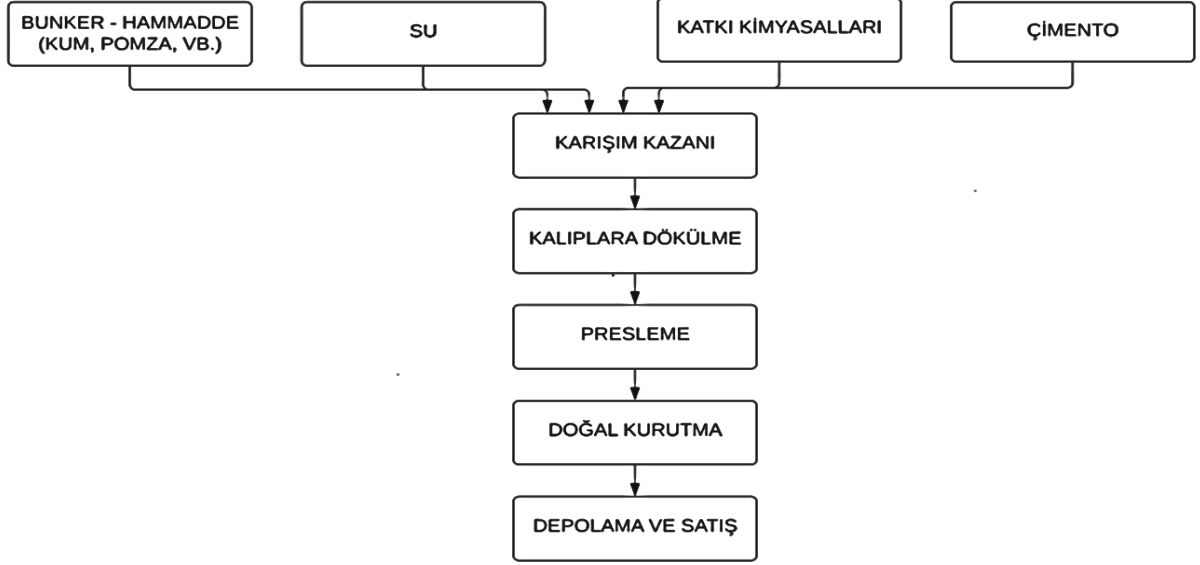
Tesiste bu üniteye Kilitli Parke Taşı Beton Bordür Üretimi yapılmaktadır. Yıllık üretim kapasitesi 6790 ton/yıl kilitli taş, 1474 ton/yıl bordür üretilmektedir. Tüm bu ürünler aynı makine ile üretilmekte olup istenilen ürüne ait kalıp pres makinesine yerleştirilerek üretim gerçekleştirilir.

Üniteye ait vaziyet planı Şekil 11 de verilmiştir.



Şekil 11. Kilitli taş bordür üretimi vaziyet planı

Üretime ait iş akış şeması Şekil 12 de verilmiştir.



Şekil 12. Kilitli taş bordür üretimi iş akış şeması

### ***Kilitli parke taşı beton bordür ünitesi iş akım şeması açıklaması***

**Su Tankı:** Ürün üretiminde karışım için kullanılacak suyun depolandığı alandır.

**Bunker:** Üretim için gerekli malzemenin doldurulduğu ünitelerdir.

**Çimento:** Beton imalatında kullanılacak çimento, çimento fabrikasından alınarak silolara doldurularak betonun türüne göre karışım kazanına aktarılır.

**Katkı Kimyasalları:** Üretim için gerekli katkı kimyasallarının bulunduğu ünitelerdir.

**Transmikser:** Üretim için gerekli malzeme ve suyun karışımının sağlandığı ünitelerdir.

**Kalıplara Dökme:** Bant ile tanışan malzeme kalıplara döküldüğü alandır.

**Presleme:** Malzemenin kalıplarda sıkıştırıldığı makine.

**Kurutma:** Ürünlerin doğal olarak kurutulduğu yer.

**Stok Sahası:** Üretilen ürünlerin biriktirildiği alan ve satışa hazırlandığı alandır.

### ***Proses çalışma özeti***

Kilitli parke, kaldırım taşı vb. beton yapı elemanlarının üretiminde üretilecek malzemenin özelliğine uygun hammadde su ve gerekli ise katkı maddesi beraber harç deposuna alınır. Harç deposunda homojen bir yapı oluşturmak amacıyla malzemeler karıştırılır. Karıştırmadan sonra üretilecek malzemeye ait kalıplara doldurularak sıkıştırılır. Daha sonra kalıptan çıkarılan malzeme doğal yollarla kurumaya bırakılır. Yeterince kuruyan malzeme alan içerisinde depolanır veya piyasaya arz edilir.

### **Tesiste oluşan atıklar**

Tesiste idari binadan ve çalışanların günlük faaliyetlerinden kaynaklanan evsel atıklar oluşmaktadır. Bu atıklar ilgili belediye birimleri tarafından alınmaktadır. Ayrıca çöktürme havuzunda biriken sediment yeniden üretime dahil edilmekte, üretime dahil edilemeyecek durumda olan ise yeniden işlenmek üzere kırma eleme tesisine gönderilmektedir. Tesiste başka atık oluşmamaktadır.

### **Hava emisyonları**

Hazır Beton ve kilitli taş – bordür üretimi ünitesinde agreganın depolanması ve agreganın bunkere boşaltılması sırasında toz emisyonu oluşmaktadır. Ayrıca tesiste yakıt kullanılan bir sistem ve tesisin üretim prosesinde ısı işlem gerektiren herhangi bir sistem bulunmamaktadır.

Tesiste hava emisyon azaltıcı tedbirler alınmakta olup bunlar aşağıdaki gibidir:

- Savurma yapılmadan yükleme boşaltma yapılmaktadır.
- Tesis içi yollar ve alanlar düzenli olarak sulanmakta ve temizlenmektedir.
- İşletmede yakma tesisi mevcut değildir.
- Açıkta depolanan yağma malzemenin üzeri nemli tutulmaktadır.

### **Tesiste oluşan atık su**

Tesiste üretim prosesi esnasında oluşan atıksular, saha yıkama suları ve transmikserlerin içerisinde kalmış betonun yıkanmasından oluşan atıksular çöktürme havuzlarında dinlendirildikten sonra saha içerisinde sulanması ve tekrar kullanılmak üzere depolanmaktadır. Alıcı ortama herhangi bir deşarj olmamaktadır. Oluşan evsel nitelikli atıksular Erzurum Büyükşehir Belediyesinin kanalizasyon hattına verilmektedir.

### **Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi**

Bu çalışmada, karbon ayak izi DEFRA ve IPCC gibi uluslararası düzeyde kabul görmüş organizasyonların yayınladıkları emisyon dönüşüm faktörleri kullanılarak, Tier 1 yaklaşıma göre hesaplamaları yapılacaktır. Karbon ayak izi hesabında sistem ( tesis) içinde tüketilen veriler

$$T_E = T_G \times KD_{net} \quad (1)$$

Denklemini ve uygun katsayıları kullanılarak CO<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>,NO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır.

CO<sub>2</sub> emisyonu hesaplanabilmesi için;

- Tüketilen yakıt miktarı,
- Tüketilen yakıtın enerji değeri,
- Tüketilen yakıtı uygun emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Hesaplamalar yapılırken IPCC raporunda her yakıt için ayrı ayrı verilmiş emisyon faktörleri, kalorifik değerleri esas alınmıştır. Elektrik tüketimi ve su tüketimine bağlı karbon ayak izi hesaplamasında DEFRA tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri kullanılmıştır. Fosil yakıtlar için karbon ayak izi hesaplanırken yanma işleminden kaynaklanan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarının küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak CO<sub>2</sub> eşdeğerine çevrilerek hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesaplamasında kullanılacak denklemler aşağıda verilmiştir.

$$E_{CO_2} = T_E \times P_C \times EF \quad (2)$$

$$E_{CH_4} = T_E \times P_C \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{CH_4} \times G \quad (3)$$

$$E_{N_2O} = T_E \times P_C \times EF \Rightarrow E_{CO_2} = E_{N_2O} \times G \quad (4)$$

Karbon ayak izi hesaplamasında IPCC(2006) Tier-1 yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda IPCC 2006 rehberinde karbon ayak izine konu yakıtlar için; emisyon faktörleri, yakıtların net kalorifik değerleri, oksitlenebilen karbon yüzdeleri ve karbon içerikleri rehberde belirlenmiştir ve hesaplamalarda bu veriler kullanılmıştır.

Hazır beton üretimi faaliyeti sonucunda karbon ayak izi oluşumuna neden olan faaliyetler nakliye-ulaşım, elektrik tüketimi, su tüketimi ve tesis ısıtmasından oluşmaktadır. Tesisteki bütün araçlar dizel yakıt kullanmakta, tesis ısınması kömür ile sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan tüm veriler firmanın kayıtlarından alınmıştır

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

2021 yılına ait hazır beton santrali tesis içi yıllık tüketim verileri **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Beton Santrali Yıllık Tüketim Verileri

Tüketim	Miktar
Dizel Yakıt	329.629 lt/yıl
Katı Yakıt (Linyit Kömür)	10.000 kg/yıl
Su	22.791.200 lt/yıl
Elektrik	703.112,92 KW/yıl

Hesaplamalarda yakıt tüketimi ton üzerinden hesaplandığı için dizel yakıtın hacimden ağırlığa dönüştürülmesi gerekmektedir. TSE tarafından yayınlanan TS EN 590 standart otomotive yakıtları ile ilgili standartları belirlemektedir, bu standarttaki değerler referans alınarak dizel yakıtın yoğunluğu 0,830 gr/lt olarak alınmıştır.(TSE, 2022)

Yakıtların net kalorifik değerleri IPCC raporundan derlenerek **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de verilmiştir.

**Tablo 8.** Yakıtların Net Kalorifik Değerleri (IPCC, 2006)

Yakıt	Net Kalori Değeri (KD <sub>net</sub> )
Dizel	43 tonJ / Gg
Linyit Kömür	11,90 tonJ / Gg

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de verilen net kalorifik değerler ile hesaplanan enerji tüketimi verileri Tablo 9 da verilmiştir.

**Tablo 9.** Enerji Tüketimi Verileri

Tüketim			Tüketim	Net Kalori Değeri	Enerji Tüketimi
			T <sub>G</sub> (Gg)	KD <sub>net</sub> (ton J / Gg)	T <sub>E</sub> (ton J)
Dizel	329.629,00	lt	0,27359	43,00	11,76
Linyit	10.000,00	kg	0,01000	11,90	0,12

Tüketilen enerji miktarına bağlı olarak ne kadar CO<sub>2</sub> üretildiğini gösteren emisyon

faktörleri IPCC ve DEFRA raporları incelenerek Tablo 10 da derlenerek verilmiştir.

**Tablo 10.** Yakıtların Emisyon Faktörleri

	Birim	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Kaynak
Dizel	kg/tJ	74100	3,9	3,9	(IPCC, 2006)
Linyit Kömür	kg/tJ	101000	10	1,5	(IPCC, 2006)
Elektrik	kg/KW	0,19121	0,0008	0,00137	(DEFRA, 2022)
Su	kg/m <sup>3</sup>	0,149	0	0	(DEFRA, 2022)

Yukarıdaki tablolarda verilen değerler kullanılarak yapılan hesaplamada tesisin 2021 yılındaki tüketimlerine göre elde edilen emisyon hesabı Tablo 11 de ve hazır beton santrali toplam sera gazı emisyonları Tablo 12 de verilmiştir.

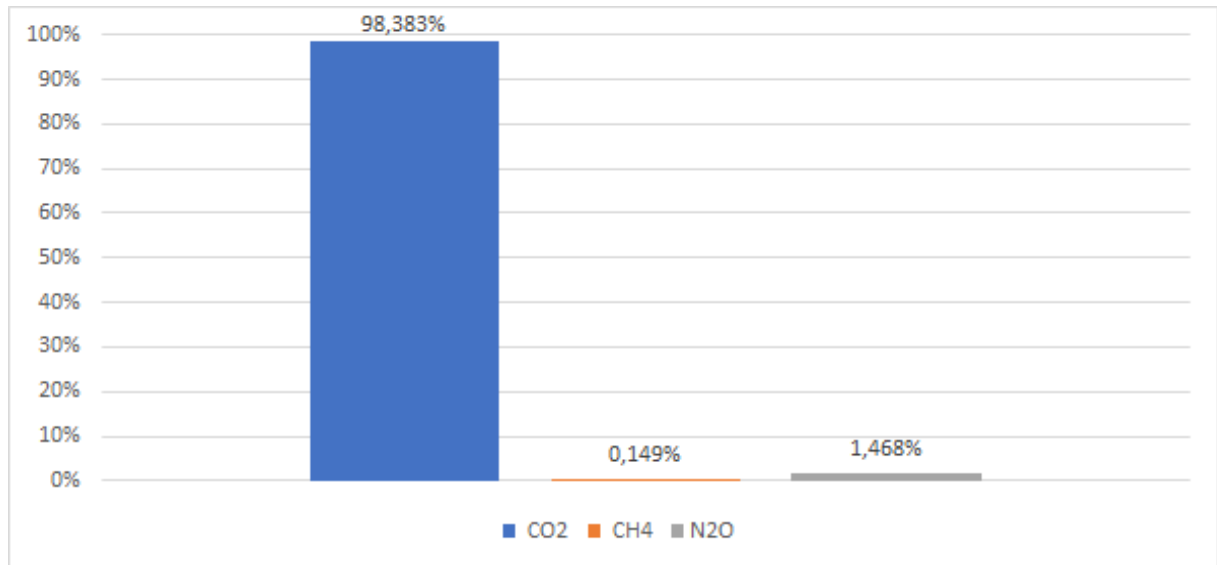
**Tablo 11.** IPCC Tier 1 Yaklaşımına Göre 2021 Yılı Karbon Ayak İzi Hesabı

	Oksitlenme Oranı	Emisyon Faktörü	Gaz Emisyonu	GWP	CO <sub>2</sub> e Emisyonu	
	Pc	EF	kg E	G	t CO <sub>2</sub> e E <sub>CO2</sub>	
<b>CO<sub>2</sub></b>						
Dizel	1,00	74100	kg CO <sub>2</sub> / ton J	871.746,41	1	871,746
Linyit	1,00	101000	kg CO <sub>2</sub> / ton J	12.019,00	1	12,019
Elektrik		0,19121	kg CO <sub>2</sub> e/KW	134.442		134,442
Su		0,149	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	3.396		3,396
<b>CH<sub>4</sub></b>						
Dizel	1,00	3,9	kg CO <sub>2</sub> / ton J	45,88	21	0,964
Linyit	1,00	10	kg CO <sub>2</sub> / ton J	1,19	21	0,025
Elektrik		0,0008	kg CO <sub>2</sub> e/KW	562		0,562
Su		0	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0		0,000
<b>N<sub>2</sub>O</b>						
Dizel	1,00	3,9	kg CO <sub>2</sub> / ton J	45,88	310	14,223
Linyit	1,00	1,5	kg CO <sub>2</sub> / ton J	0,18	310	0,055
Elektrik		0,00137	kg CO <sub>2</sub> e/KW	963		0,963
Su		0	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0		0,000

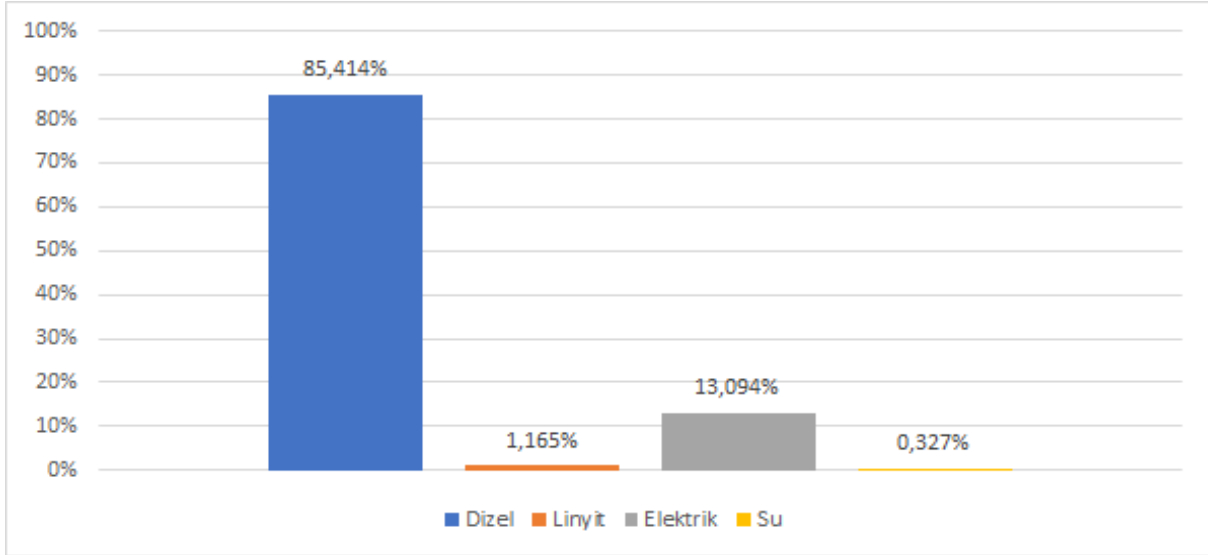
**Tablo 12.** Hazır Beton Santrali Hesaplanan Sera Gazı Emisyonları

Emisyonlar	Miktarlar (tCO <sub>2e</sub> )
<b>CO<sub>2</sub> Emisyonu</b>	
Dizel	871,746
Linyit	12,019
Elektrik	134,442
Su	3,396
<b>CH<sub>4</sub> Emisyonu</b>	
Dizel	0,964
Linyit	0,025
Elektrik	0,562
Su	0,000
<b>N<sub>2</sub>O Emisyonu</b>	
Dizel	14,223
Linyit	0,055
Elektrik	0,963
Su	0,000
<b>Toplam</b>	<b>1.038,396</b>

Hazır beton santralinde yapılan çalışmada, tesisten alınan tüketim verileri ile karbon ayak izi hesaplaması ton CO<sub>2e</sub> olarak yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre tüketim miktarlarının neden olduğu toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonu değeri 1038,396 ton CO<sub>2e</sub> olduğu bulunmuştur. Bu toplam değerin %98,383 ‘ü (1021,604 ton CO<sub>2e</sub>) CO<sub>2</sub> emisyonu, %0,149 ‘u (1,551 ton CO<sub>2e</sub>) CH<sub>4</sub> emisyonu ve %1,468 ‘i (15,242 ton CO<sub>2e</sub>) N<sub>2</sub>O emisyonundan oluşmaktadır ve Şekil 13 te gösterilmiştir.

**Şekil 13.** Toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonunun gazlara göre dağılımı

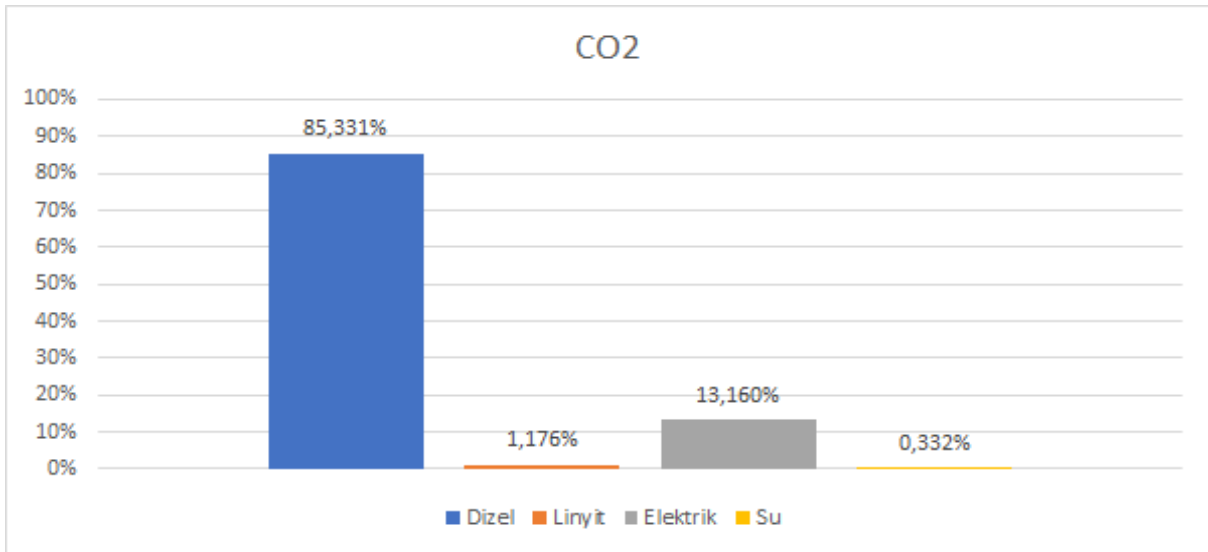
Toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonu değeri tüketilen kaynaklara göre irdelenmesi yapıldığında en fazla emisyonu dizel yakıt tüketiminin (886,933 ton CO<sub>2</sub>e) neden olduğu, en az ise su tüketiminin (3,396 ton CO<sub>2</sub>e) neden olduğu Şekil 14 te görülebilmektedir. Elektrik tüketimi (135,968 ton CO<sub>2</sub>e) ikinci sırada ilken Linyit tüketimi (12,099 ton CO<sub>2</sub>e) ise üçüncü sıradadır.



Şekil 14. Toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı

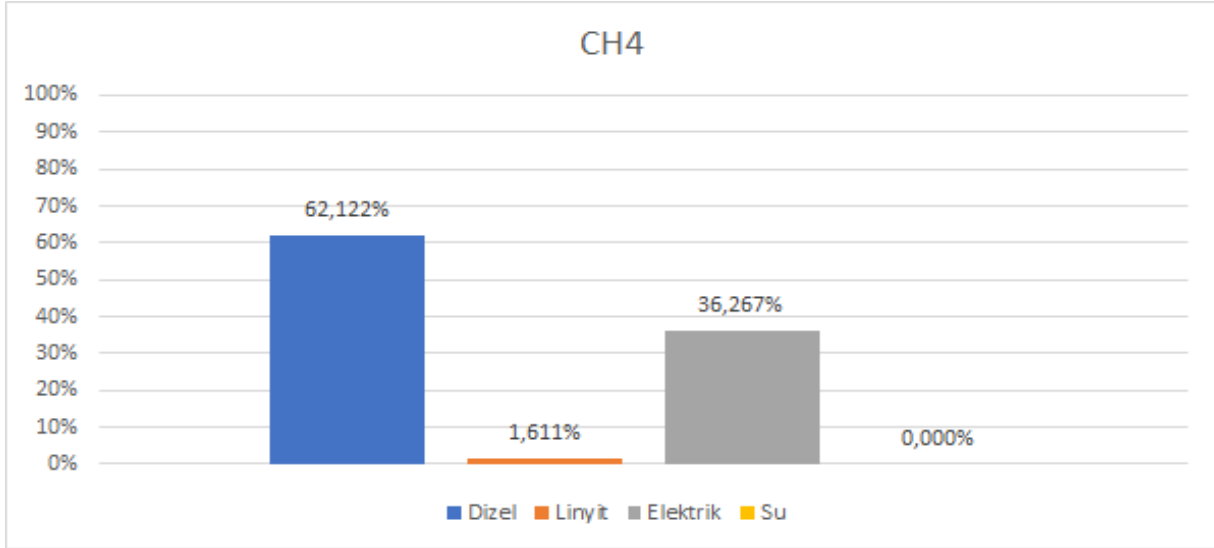
Ekvador'un Ucanca da yapılan bir çalışmada hazır beton santraline ait hesaplamalarda 1 m<sup>3</sup> hazır beton üretmek için 42,83 kg CO<sub>2</sub> hesaplanmış ve toplam emisyonun. %80 ini nakliye giderlerinin oluşturduğu verilmiştir (Vázquez-Calle, Guillén-Mena ve Quesada-Molina, 2022).

Gazlar özelinde tüketimlerin ne şekilde oranlandığı ise Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

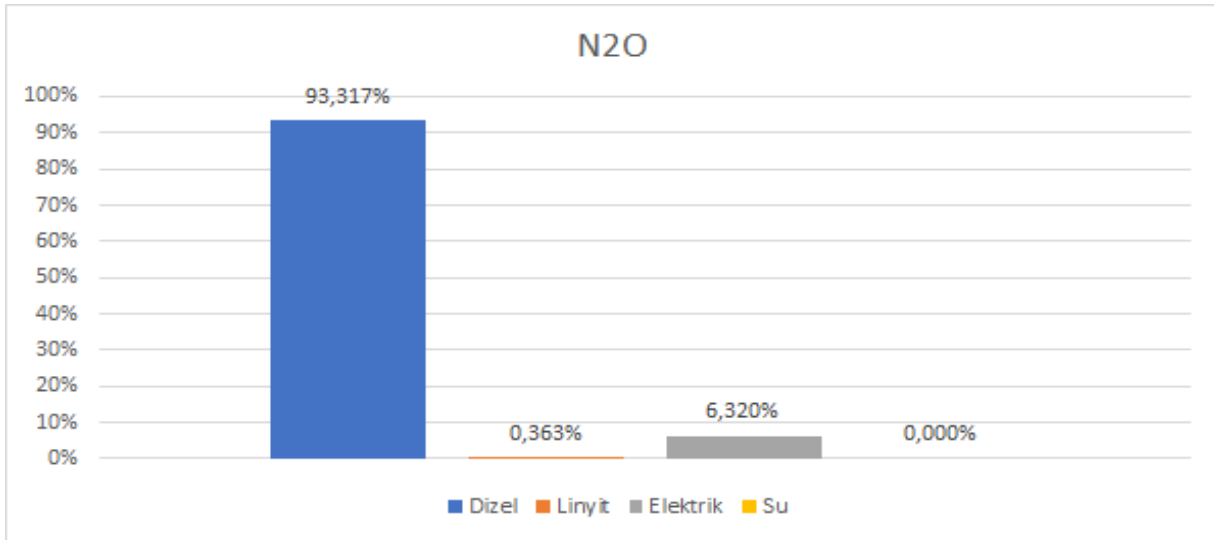


Şekil 15. CO<sub>2</sub> emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı

Şili de beton santralleri üzerine yapılan bir çalışmada 1000 milyon ton su, 1500 ila 2000 milyon ton çimento ve 10.000 milyon ton agrega tüketmekte en az tüketim ve karbon ayak izi su tüketimine ait olmaktadır. Her yıl yaklaşık 4000 milyon ton Portland çimentosu üretilmesine rağmen, sadece çimentonun yaklaşık yarısı beton için kullanılır, geri kalanı harç, sıva ve bloklar için kullanılmaktadır (Muñoz Sanguinetti ve Quiroz Ortiz, 2014). Şekil 15 de grafikten de görüleceği gibi karbon emisyonlarının en büyük miktarı dizel yakıtlara aitken en az miktar su kullanımına ait %0.332 değeri olmuştur.



Şekil 16. CH<sub>4</sub> emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı



Şekil 17. N<sub>2</sub>O emisyonu tüketilen kaynaklara göre dağılımı

Karbon ayak izi tespiti konusunda yapılmış bazı diğer çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlara Tablo 13 da yer verilmiştir. Farklı sektörlerde yapılan çalışmalar, literatür değerleri incelendiğinde tesis karbon ayak izi değeri ortalama değerlerde olup ek önlemlerle fosil yakıt kullanımına alternatif kaynaklar kullanılarak azaltılması sağlanacaktır. Emisyon değerlerini

azaltmak için farklı alternatif maddeler kullanılarak ta en büyük emisyon payına sahip nakliye gideri olarak dizel yakıtların azaltılması çalışmaları yapılmaktadır. Portland çimento yerine uçucu kül karışımı beton kullanılarak yapılan bir çalışmada nakliye için harcanan yakıt ve dolayısıyla emisyon miktarı %21 ve %38 gibi bir azalma sağlamış ve mesafe ne kadar uzak olursa olsun betonda uçucu kül kullanımı ile CO<sub>2</sub> emisyonu azaltması arasında bir orantı olduğu ispatlanmıştır (Tangüler ve Gürsel, 2015).

**Tablo 13.** Çalışma Sonucunun Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalarla Karşılaştırılması

Çalışılan Sektör	Sonuç	Kaynak
Beton Üretimi	1.038,3964 ton CO <sub>2</sub>	Bu çalışmanın sonucu
Geri Kazanım	8,60 ton CO <sub>2</sub>	(Demirbaş, 2018)
Kâğıt Üretimi	98,95 ton CO <sub>2</sub>	(Özlem, 2013)
Üniversite Yerleşkesi	2.753,20 ton CO <sub>2</sub>	(Çerçi, 2021)
Asfalt Plant	4.110,00 ton CO <sub>2</sub>	(Özcan, 2019)
Kauçuk Endüstrisi	71.000,00 ton CO <sub>2</sub>	(Mutlu, 2018)
Diyarbakır İli	1.900.000 ton CO <sub>2</sub>	(Atabey, 2013)
Çimento Üretimi	3.594.000,136 ton CO <sub>2</sub>	(Şahin, 2019)

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Barınma ve altyapı, yol, su ve atık su sistemleri, her türlü bina ve yapılarının temel bileşeni olan beton, hazır beton ve çimento üretimi ve nakliye sırasında dünya genelinde sera gazları büyük bir oranda atmosfere salınmaktadır. Hazır beton sektöründe yenilikçi teknolojiler kullanılarak karbon ayak izi azaltmak için sürdürülebilir inşaat ve sürdürülebilir ekonomi hedeflenmelidir. Karbon ayak izini azaltmak için enerji verimliliğinin artırılması, her aşamada tasarruf yoluna gidilmesi atık ısı geri kazanımının sağlanması, atık değerlendirme yapılması ve Portland çimento kullanımını azaltılarak alternatif hammaddelerin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca hükümetlerce çimento esaslı malzemeleri için yeni düzenlemeler ve standartlar getirilmesi gerekmektedir. Çimento bazlı beton kullanımında yenilikçi çözümler ile insanlık adına sıfır karbon anlayışı desteklenmelidir. Karbon ayak izini azaltmaya yönelik bir diğer alternatif madde kimyasal madde ve yardımcıları seçilmesi konusudur. Örneğin nano malzemeler inşaat sektöründe katkı ve yüzey kaplama olarak kullanımı ile kullanılan yapı malzemesinin hafif olmasını sağlamakta ve mukavemetini de son derece artırmakta ve çevre dostu, sürdürülebilir ve doğada kaynakların minimum kullanımına yardımcı olmaktadır.

Bu tez kapsamında karbon ayak izi değerlendirmesi yapılan hazır beton santralinde, karbon ayak izinin hesaplanmasında 2021 yılına ait tesis enerji giderleri dizel yakıt tüketimi, elektrik tüketimi, linyit tüketimi ve su tüketimi gibi sera gazı salınımına neden olan faaliyetler üzerinden, IPCC Tier-1 yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Karbon ayak izinin tespit edilmesi tesisten üretilen sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi açısından çok önemlidir.

Tesisin karbon ayak izi hesabında 329629 lt/yıl dizel yakıt, 10000 kg/yıl linyit, 703113 KW/yıl elektrik, 22791200 lt/yıl su tüketimi üzerinden yapılmış, sonuç olarak karbon ayak izi 1038,3964 ton CO<sub>2e</sub> olarak hesap edilmiştir. Tesis 2021 yılında toplam 116000 m<sup>3</sup> hazır beton üretmiş, birim üretim başına karbon ayak izi 8,95 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonunun tüketilen kaynaklara göre irdelenmesi yapıldığında sırayla dizel yakıt tüketimi 886,933 ton CO<sub>2e</sub>, elektrik tüketimi 135,968 ton CO<sub>2e</sub>, linyit tüketimi 12,099 ton CO<sub>2e</sub> ve ise su tüketimi 3,396 ton CO<sub>2e</sub> emisyon oluşturduğu tespit edilmiştir.

Tesiste en fazla karbon ayak izi oluşumuna neden olan iki tüketim dizel yakıt ve elektrik tüketimidir. Elektrik kullanımında güneş enerji santralleri kullanımı, gündüz saatlerinde etkili güneş ışığından daha fazla faydalanmak için sensörlü lambaların kullanılması ve tesis içerisinde elektrik tasarrufuna yönelik eğitimler verilerek, bilgilendirme kartları kullanılması, dizel yakıt

tüketiminde; kullanılan motorlu araçların periyodik bakımlarının yapılması, hız yapılmaması, hareketsiz iken motorun durdurulması ve aşırı yüklenilmemesi ile tasarruf tedbirleri kapsamında değerlendirilebilir ve bu iki kaynaktan oluşan karbon ayak izinde düşüş sağlayabilir. Diğer yandan su tasarrufu, binalarda ısı izolasyonu ve ısının korunmasına yönelik ilave tedbirler de alınabilir.



## KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu, S. ,2019. İnşaat Sektöründe Karbon Ayak İzi ve Örnek Hesaplamalar. Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akın, G. ,2006. Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46(2), 29–43. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dtcfdergisi/issue/66772/1044205> (27.9.2022).
- Apaydın, A. ,2002. Sera Etkisi Yapan Gazlar ve Küresel Isınma. Mavi Gezegen, 2002(6), 24–29.
- Arı, İ. ,2010. İklim Değişikliği ile Mücadelede Emisyon Ticareti ve Türkiye Uygulaması. Planlama Uzmanlık Tezi,Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Atabey, T. ,2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. Yüksek Lisans Tezi,Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Bazan, G. ,1997. Our Ecological Footprint: reducing human impact on the earth. Electronic Green Journal, 1(7). doi:10.5070/g31710273
- Belaïd, F. ,2022. How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges? Resources, Conservation and Recycling Advances, 15(April), 200084. doi:10.1016/j.rcradv.2022.200084
- Çerçi, M. ,2021. IPCC TIER 1 ve DEFRA Metodları İle Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi,Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan.
- Chen, R., Zhang, R. ve Han, H. ,2021. Where has carbon footprint research gone? Ecological Indicators, 120, 106882. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106882>
- CO2.Earth. ,2019. Earth’s CO2 Home Page. CO2.earth. <https://www.co2.earth/> (28.09.2022)
- Daniel, D. G. ve Lobo, C. L. ,2014. User’s Guide to ASTM Specification C94/C94M on Ready-Mixed Concrete: 2nd Edition. ASTM International (2. bs.). 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International. doi:10.1520/MNL49-EB
- DEFRA. ,2022. Greenhouse gas reporting: conversion factors 2022. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022> (01.12.2022)
- Demirbaş, F. ,2018. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi,Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Engin, Y. ,2022. Sürdürülebilir Hazır Beton Üretimi. Türkiye İnşaat Mühendisliği 18. Teknik Kongre ve Sergisi içinde . İstanbul. <https://www.santiye.com.tr/surdurulebilir-hazir-beton-uretimi-3893.html>.
- Ferruh, K., Tümer, A. ve Selçuk, U. ,2004. Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü. <http://atilimlab.com.tr/makaleler/Turkiyede-ve-dunyada-hazir-beton-sektoru.pdf> (21.12.2022)
- iklim.gov.tr. ,2022. Sözleşme ve Protokoller - İklim Değişikliği Başkanlığı. <https://iklim.gov.tr/> (06.10.2022)

- IPCC. ,2001. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change (C. 57). Cambridge, UK. doi:10.1256/004316502320517344
- IPCC. ,2006. Intergovernmental Panel on Climate Change: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3). IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- IPCC, I. P. O. C. C. ,2007. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Science, (October 2009), 1009. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>.
- Kotchen, M. ve Mansur, E. ,2016. Reassessing the contribution of natural gas to US CO2 emission reductions since 2007. Nature Communications, 7, 10648. doi:10.1038/ncomms10648
- Marchal, V., Dellink, R., Vuuren, D. Van, Clapp, C., Château, J., Lanzi, E., ... Vliet, J. Van. ,2011. OECD Environmental Outlook to 2050 Chapter 3: Climate Change. Organization for Economic Co-operation and Development, (November), 90. doi:10.1787/9789264122246-en
- megep.meb.gov.tr. ,2012. HAZIR BETON ÜRETİMİ 582YIM285. Ankara. [https://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Hazır Beton Üretimi.pdf](https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Hazır%20Beton%20Üretimi.pdf)
- mevzuat.gov.tr. ,2022. Mevzuat Bilgi Sistemi Mevzuat Bilgi Sistemi. [https://www.mevzuat.gov.tr/\(07.10.2022\)](https://www.mevzuat.gov.tr/(07.10.2022))
- mfa.gov.tr. ,2022. Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü / T.C. Dışişleri Bakanlığı. <https://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa> (02.01.2023)
- Muhammed, D. ,2021, 1 Aralık. Beton Çeşitleri Nelerdir. <https://www.sanalsantiye.com/beton-cesitleri-ve-temel-ozellikleri/> (21.12.2022)
- Muñoz Sanguinetti, C. ve Quiroz Ortiz, F. ,2014. Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile. Revista Hábitat Sustentable, 4(Lci), 16–25. <http://remaderas.ubiobio.cl/ojs/index.php/arquitect/article/viewArticle/906>.
- Mutlu, V. ,2018. KauçuEndüstrisinde Karbon AyıZınıBelirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi,Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- NOAA. ,2022. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Carbon Cycle Greenhouse Gases. Global Monitoring Laboratory. <https://gml.noaa.gov/ccgg/data/co2.html> (28.09.2022)
- Önal, Z. ,2005. Kırmızı Alarm Küresel Isınma. Mavi Gezegen, 2005(12), 51–55.
- Özcan, T. ,2019. Asfalt Plent Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Sİvas.
- Özlem, B. ,2013. Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, M. ve Öztürk, A. ,2019. BMİDÇS’den Paris Anlaşması’na: Birleşmiş Milletler’in İklim Değişikliğiyle Mücadele Çabaları. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(4), 527. doi:10.25287/ohuiibf.494667
- Paterson, M. ,1996. Global warming and global politics. Global Warming and Global Politics. Routledge. doi:10.4324/9780203437711

- Petek Gursel, A., Masanet, E., Horvath, A. ve Stadel, A. ,2014. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement and Concrete Composites*, 51, 38–48. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005>
- Şahin, M. T. ,2019. Karbon Ayak İzi Uygulamaları: Çimento Fabrikası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- semtrio.com. ,2022. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri. <https://www.semtrio.com/blog/karbon-ayak-izi-hesaplama-yontemleri> (01.10.2022)
- Tangüler, M. ve Gürsel, P. ,2015. Türkiye ' de Uçucu Küllü Betonlar İçin Yaşam Döngüsü Analizi Giriş. 9. Ulusal Beton Kongresi içinde (ss. 431–441). Antalya.
- THBB. ,2021. Türkiye hazır beton sektörü istatistikleri 2021.
- THBB. ,2022a. Türkiye Hazır Beton Birliği. <https://www.thbb.org/> (21.12.2022)
- THBB. ,2022b. Beton Nedir? | Türkiye Hazır Beton Birliği. <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-nedir> (30.12.2022)
- Toröz, A. S. ,2015, 20 Şubat. Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). <http://hdl.handle.net/11527/13061> adresinden erişildi.
- TSE. ,2022. TS EN 590 Otomotiv yakıtları - Dizel (motorin) - Gereklere ve deney yöntemleri (No: TS EN 590).
- TÜİK Kurumsal. ,2022. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862> (02.01.2023)
- Türkeş, M. ,2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26–37. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/idec/issue/36965/450247> (27.9.2022).
- Tüzer, M. ve Doğan, S. ,2021. İklim Değişikliğinin Bilimsel Temelleri. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 10(3), 639–656. doi:10.3334/CDIAC/CLI.006
- US EPA. ,2017. Overview of Greenhouse Gases | US EPA. Us Epa. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (28.09.2022)
- Vázquez-Calle, K., Guillén-Mena, V. ve Quesada-Molina, F. ,2022. Analysis of the Embodied Energy and CO2 Emissions of Ready-Mixed Concrete: A Case Study in Cuenca, Ecuador. *Materials*, 15(14), 4896. doi:10.3390/ma15144896
- wikipedia.org. ,2020. Paris Anlaşması - Wikipedi. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Paris\\_Anlaşması](https://tr.wikipedia.org/wiki/Paris_Anlaşması) (10.10.2022)
- wwf.org.tr. ,2022. İklim Değişikliği. [https://www.wwf.org.tr/ne\\_yapiyoruz/iklim\\_degisikligi\\_ve\\_enerji/iklim\\_degisikligi/](https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/iklim_degisikligi/) (02.01.2023)
- Xuan, D., Poon, C. S. ve Zheng, W. ,2018. Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 136(February), 238–247. doi:10.1016/j.resconrec.2018.04.007

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Mahmut YEŞİLYURT
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzurum Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Anadolu Üniversitesi, Açık öğretim Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
	TOBB Çevre Mühendisleri Odası
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
	1. Yeşilyurt M., Kocadağistan B. Carbon Footprint Evaluation of a Ready-Mixed Concrete. <i>NanoEra</i> (2023)