

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL KARBON AYAK İZİNİN
HESAPLANMASI: ÇİMENTO SANAYİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Selin YAŞAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Başak TAŞELİ

Aralık 2022
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL KARBON AYAK İZİNİN
HESAPLANMASI: ÇİMENTO SANAYİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Bu tez 16/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Yüksel ARDALI
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Cengiz MUTLU
Üye

Prof. Dr.
Başak TAŞELİ
Üye

Prof. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Selin YAŞAR

16/12/2022

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimize destek veren, sonsuz bilgi ve tecrübelerinden faydalanma Őansına sahip olduğum saygıdeğer danıŐmanım Prof. Dr. Başak TAŞELİ hocama sonsuz Őükranlarımı sunuyorum. Ayrıca jüri başkanı Prof. Dr. Yüksel ARDALI, jüri üyesi Prof. Dr. Cengiz MUTLU'ya öneri ve değerlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalıŐmanın verilerini edinmemde ve bu aŐamaya getirmemde büyük katkıları olan firma çalıŐanlarına, tez çalıŐmalarım süresince desteğini bir an olsun eksiltmeyen arkadaşım Mahmut SOYLU'ya teşekkür ediyorum.

Beni bugünlere getiren, maddi manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve bana bu dünyayı ilk anlatanlar olan canım annem Yasemin YAŞAR ve canım babam Hüseyin YAŞAR'a, canım kardeşlerim Mustafa YAŞAR ve Tuncer YAŞAR'a teŐekkürü borç bilirim, benim için yaptığınız her Őey için müteŐekkirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolarLİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Küresel İklim Değişikliği Kavramı.....	4
2.2. Sera Gazları ve Etkileri	5
2.2.1. Karbondioksit (CO ₂)	6
2.2.2. Metan (CH ₄)	7
2.2.3. Diazot monoksit (Nitröz Oksit) (N ₂ O).....	7
2.2.4. Su Buharı (H ₂ O)	8
2.2.5. Ozon (O ₃)	8
2.2.6. Kloroflorokarbon (CFC)	9
2.3. Sera Gazlarının Türkiye ve Dünya Ölçeğindeki Mevcudiyeti ve Önemi	10
2.4. Küresel Düzeyde İklim Değişikliğine İlişkin Düzenlemeler	11
2.4.1. Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi.....	11
2.4.2. Kyoto protokolü	13
2.4.3. Paris antlaşması	14
2.4.4. Avrupa yeşil mutabakatı.....	15
2.4.5. Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli (IPCC)	18
2.5. Karbon Ayak İzi Kavramı	19
2.6. Çimento Sanayinde Karbon Ayak İzi Çalışmaları.....	23

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Üretim Süreçleri.....	29
3.1.1. Çimento faaliyetleri.....	29
3.1.2. Hammadde hazırlama.....	30
3.1.3. Farin üretimi	32
3.1.4. Klinker üretimi	34
3.1.5. Paketleme	37
3.2. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Enerji Kullanımı ve Emisyonlar	38
3.2.1. Toz (Partikül madde).....	40
3.2.2. Azot oksitler	41
3.2.3. Kükürt dioksit	42
3.2.4. Karbondioksit (CO ₂)	43
3.2.5. Karbon monoksit (CO).....	43
3.2.6 Toplam organik bileşikler.....	43
3.2.7. Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve dibenzofuranlar (PCDF)	44
3.2.8. Hidrojen klorür ve hidrojen florür.....	44
3.2.9. Metaller ve bileşikleri	44
3.3. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Yakıt ve Proses Emisyon Hesapları	45
3.3.1. Yakıt emisyonlarının hesaplanması.....	46
3.3.2. Proses emisyonlarının hesabı	50
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	52
4.1. Klinker Kaynaklı CO ₂ Emisyonu Hesabı.....	52
4.2. Yakıt Ve Atıklardan Kaynaklanan CO ₂ Emisyonu Hesabı	55
4.2.1. Linyit kaynaklı emisyonlar	56
4.2.2. Petrol koku kaynaklı emisyonlar.....	56
4.2.3. Fuel oil kaynaklı emisyonlar	57
4.2.4. Atıktan türetilmiş yakıt (ATY) kaynaklı emisyonlar	58
4.2.5. Ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) kaynaklı emisyonlar	58
4.2.6. Arıtma çamuru kaynaklı emisyonlar	59
4.2.7. İkame yakıt kullanım karbon emisyon hesapları	61
4.3. Elektrik Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar.....	62

4.4. N ₂ O Emisyon Hesapları	64
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	66
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	77



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	:Avrupa Birliği
ATY	:Atıktan Türetilmiş Yakıt
AYM	:Avrupa Yeşil Mutabakatı
BMİDÇS	:Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COP	:Conferences of the Parties (Tarafların Konferansı)
ETS	:Emisyon Ticaret Sistemi
IPCC	:Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
NKD	:Net Kalorifik Değer
OECD	:Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı)
SKD	:Sınırdaki Karbon Düzenleme
UNEP	:UN Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
WMO	:World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
ÖTL	:Ömrünü Tamamlamış Lastik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sera etkisinin şematize edilmesi.....	6
Şekil 2.2. Ülkemizde 1990–2020 aralığındaki toplam ve kişi başı sera gazı emisyonları.....	11
Şekil 3.1. Seçilen fabrikanın hammadde ocağı (kalker) iş akım şeması.....	31
Şekil 3.2. Seçilen fabrikanın hammadde ocağı (kil) iş akım şeması.....	31
Şekil 3.3. Kırıcılar, ön homojenizasyon (Preblending) ünitesi iş akım.....	33
Şekil 3.4. Kömür değirmeni, farin değirmeni ve döner fırın ünitesi iş akım şeması.....	35
Şekil 3.5. Seçilen fabrikanın paketleme ünitesi iş akım şeması.....	37
Şekil 3.6. Türkiye’deki çimento tesisleri.....	38
Şekil 3.7. Yakıt emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan yöntem seçimi için karar ağacı	47
Şekil 3.8. Proses emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan yöntem seçimi için karar ağacı	51
Şekil 4.1. Yıllara göre emisyon değerleri (tonCO ₂ e/yıl).....	60
Şekil 4.2. Yakıttan ve elektrik kullanımından kaynaklı emisyon değerlerinin karşılaştırılması	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Sera gazlarının CO ₂ 'e göre küresel ısınma potansiyel değerleri.....	9
Tablo 2.2. Avrupa yeşil mutabakat eylem alanları.....	17
Tablo 3.1. Uluslararası iklim değişikliği paneli emisyon listesi.....	39
Tablo 3.2. Çimento üretiminde varsayılan belirsizlik değerleri	46
Tablo 3.3. 2017-2021 yılları arasında kullanılan yakıt miktarları.....	47
Tablo 3.4. Yakıtlar için kabul edilen değerler.....	49
Tablo 4.1. Firmanın yıllara sari klinker miktarı.....	52
Tablo 4.2. Net kalorifik değer (NKD) ile bağlantılı yakıt emisyon faktörleri ve yakıt kütlesi başına NKD	52
Tablo 4.3. 2017–2021 yılları arasındaki klinker üretim ve emisyon verileri.....	55
Tablo 4.4. 2017-2021 yılları arası kullanılan yakıt ve atık miktarları.....	55
Tablo 4.5. 2017-2021 yılları arası kullanılan linyit kaynaklı emisyon miktarları....	56
Tablo 4.6. 2017-2021 yılları arası kullanılan petrol koku kaynaklı emisyon miktarları.....	57
Tablo 4.7. 2017-2021 yılları arası kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları.....	57
Tablo 4.8. 2017-2021 yılları arası kullanılan atıktan türetilmiş kaynaklı emisyon miktarları.....	58
Tablo 4.9. 2019-2021 yılları arası kullanılan ömrünü tamamlamış lastik kullanımı kaynaklı emisyon miktarları.....	59
Tablo 4.10. 2018-2021 yılları arası kullanılan arıtma çamuru kullanımı kaynaklı emisyon miktarları.....	59
Tablo 4.11. 2017 – 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan emisyon verileri.....	60
Tablo 4.12. 2017 – 2021 yılları arasında kullanılan alternatif yakıtlara ikame olabilecek konvansiyonel yakıt verileri.....	61
Tablo 4.13. 2017-2021 yılları arasında elektrik kullanımı kaynaklı emisyon miktarları.....	63

ENDÜSTRİYEL KARBON AYAK İZİNİN HESAPLANMASI: ÇİMENTO SANAYİ ÖRNEĞİ

ÖZET

İnsani faaliyetler sonucu oluşan, birçoğu havanın doğal bileşiminde eser miktarda yer alan sera gazları ve bunların atmosferde birikim yapması ile oluşan yer kürenin ısınmasına sebep olan çevresel kirlilik, dünyayı geri dönülmez bir iklim değişikliği ile karşı karşıya bırakmaktadır. İklim değişikliğinin birçok sebebi olsa da en önemli sebebi fosil yakıtların yanma süreçleriyle ortaya çıkan emisyonlardır.

Bu çalışmada hâlihazırda çimento ve klinker üretimine devam eden ve Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği'ne kaydı bulunan özel bir çimento fabrikasının 2017-2021 yılları arasını kapsayan üretim ve tüketim verileri değerlendirilmiş, elde edilen veriler Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) standartları kapsamında hesaplamalara tabi tutulmuştur. 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan (Kapsam 1) toplam emisyon miktarları sırasıyla 0.37863 Mt CO₂e/yıl, 0.4359 Mt CO₂e/yıl, 0.316775 Mt CO₂e/yıl, 0.392366 Mt CO₂e/yıl ve 0.334037 Mt CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Fabrikanın elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonu (Kapsam 2) 2017 yılında 79220 ton CO₂e/yıl iken 2019 yılında 61695 ton CO₂e/yıl'a gerilemiştir. 2021 yılında ise emisyon 69812 ton CO₂e/yıl'a yükselmiştir.

Yıllar içinde fabrikanın artan müşteri talebiyle birlikte petrol koku sarfiyatında artış olması beklendiğinden fabrikanın 2019 yılında alternatif yakıt olarak Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL) kullanımına başlaması ile, petrol koku sarfiyatında bir önceki yıla göre %25 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu tercih bile 2019 yılı toplam emisyon değerinin bir önceki yıla ait emisyon değerine göre yaklaşık %27 oranında azalmasına sebep olmuştur. Aynı şekilde 2021 yılında kullanılan 26355 ton Atıktan Tüketilmiş Yakıt (ATY) sayesinde aynı yıl petrol koku kullanım miktarı, bir önceki yıla oranla % 26 azalarak 78225 ton değerine gerilemiştir. Çalışmada, atıktan tüketilmiş yakıt ile elde edilen yanma verimini elde etmek için belirli bir miktarda linyit kullanılsaydı oluşan emisyon miktarları ne olurdu sorusunun cevabı da aranmıştır. 2017 yılında atıktan tüketilmiş yakıt yerine petrol koku tercih edilmesinin yaklaşık %38 oranında, linyit tercih edilmesinin ise yaklaşık olarak %43 oranında emisyonda artışa sebep olacağı hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, Çimento Sanayi, CO₂ Emisyonu, Çimento Üretimi Kaynaklı Emisyonlar, Sera Etkisi, Sera Gazları.

CALCULATION OF INDUSTRIAL CARBON FOOTPRINT: CEMENT INDUSTRY EXAMPLE

SUMMARY

Greenhouse gases, which are formed as a result of anthropogenic activities, many of which are found in trace amounts in the natural composition of the air, and environmental pollution, which are caused by the accumulation of these in the atmosphere, cause the world to warm up facing with an irreversible climate change. Although there are many reasons for climate change, the most important reason is the emissions resulting from the combustion processes of fossil fuels.

In this study, the production and consumption data covering the years 2017-2021 of a private cement factory, which is currently continuing to produce cement and clinker and registered with the Turkish Cement Industrialists' Association, were evaluated and the data obtained were calculated within the scope of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) standards. Total emissions from fuel and waste (Scope 1) between 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021 are 0.37863 Mt CO₂e/year, 0.4359 Mt CO₂e/year, 0.316775 Mt CO₂e/year, 0.392366 Mt CO₂e/year and 0.334037 Mt CO₂e, respectively. The factory's emissions from electricity usage (Scope 2) decreased from 79220 tons CO₂e/year in 2017 to 61695 tons CO₂e/year in 2019. In 2021, emissions increased to 69812 tons CO₂e/year.

Since it is expected that there will be an increase in petroleum coke consumption with the increasing customer demand of the factory over the years, it has been determined that there has been a 25% decrease in petroleum coke consumption compared to the previous year, with the factory starting to use End-of-Life-Tire (ELT) as an alternative fuel in 2019. Even this preference caused the total emission value of 2019 to decrease by approximately 27% compared to the emission value of the previous year. Likewise, due to 26355 tons of Refuse-Derived Fuel (RDF) used in 2021, the amount of petroleum coke used in the same year decreased by 26% compared to the previous year and draw back to 78225 ton. In the study, the answer to the question of what would be the emission amounts if a certain amount of lignite was used to obtain the combustion efficiency obtained with the fuel consumed from the waste was also examined. In 2017, it has been calculated that choosing petroleum coke instead of waste-consumed fuel will result in an increase of approximately 38%, and preference of lignite by approximately 43%.

Keywords: Carbon footprint, cement industry, CO₂ Emission, Cement Production Emissions, Greenhouse Effect, Greenhouse Gases.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevresel sorunların insanlık tarihi kadar eski olduğunu biliyor olmamıza karşın bir problem halinde ele alınmaları ancak 19. yüzyılın ortalarında mümkün olmuştur. Sanayi devrimi ile gözle görülür yoğunluğa erişen çevresel kirlilik bileşenleri, dünya üzerinde nüfusun hızla artışı, kentlere olan göç ve bunlara bağlı üretim ve tüketimdeki artışlar nedeniyle çevre üzerindeki negatif geri bildirimini her geçen gün daha da arttırmaktadır. Bu durum doğal kaynakların tahribi yanında yer kürenin alışlagelmiş düzeni için de büyükler tehditler içeren iklim değişikliği, çölleşme gibi çevresel sorunların artışına sebep olmaktadır. Bu sorunların en önemli ve geri dönüşsüz olanı iklim değişikliğidir ve oluşmasında etkin olan faktör insanın bizzat kendi faaliyetleridir. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan, birçoğu havanın doğal bileşiminde eser miktarda yer alan ve sera gazları olarak adlandırılan gazların, atmosferde birikim yapması ile oluşan ve yer kürenin ısınmasına sebep olan bu çevresel kirlilik, dünyayı geri dönülmez bir iklim değişikliği ile karşı karşıya bırakmaktadır.

Çimento, doğal kalker taşlarının ve kilin karışımı ile yüksek sıcaklıkta ısıtılması ve daha sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bağlayıcı malzemedir. Tanımdan anlaşılacağı üzere çimento üretimi hammadde, katkı malzemeleri ve enerji bakımından çok yüksek girdi gereksinimi olan ve bu enerji-yoğun süreçlerde yüksek miktarda fosil kaynaklı yakıt kullanılan bir prosestir. Birçok araştırmacıya göre küresel iklim değişikliğinin en önemli sebepleri arasında yer alan ve üretim prosesinde iklim değişikliğine sebebiyet veren sera gazlarını fazlaca ihtiva eden çimento sektörü, tüm endüstriler arasında sera gazı katkısı bakımından en riskli üçüncü endüstri olarak gösterilmektedir (Şahin ve Avcıoğlu, 2016; Sel ve Göktolga, 2020).

Çimento üretimi sırasında farklı fraksiyonlarda ve çevre üzerinde ciddi etkileri olan birçok kirletici oluşur. Bunların en önemli ve kayda değer olanları, çimento fırınlarında oluşan atmosferik kirleticilerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda bildirilen sonuçlara göre, çimento üretim prosesi sonucu oluşan emisyon kaynakları incelendiğinde, toplam CO₂ salınımlarının yaklaşık %5'i ve toplam sera gazı salınımlarının %3'ü şeklinde bir paya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sözü edilen rakamların net olmadığı ve kullanılan yakıt türüne göre değişiklik gösterdiği birçok çalışmada rapor edilmiştir (Sel ve Göktolga, 2020).

Küresel ısınma ya da diğer adıyla iklim değişikliğinin birçok sebebi olsa da en önemli sebebi fosil yakıtların yanma prosesleriyle ortaya çıkan emisyonlardır. Yanma ya da eksik yanma sonucunda oluşan gazların, atmosferi tıpkı bir sera gibi kaplıyor olmasından kaynaklı olarak bu gazlara sera gazı adı verilir ve yer kürede en yoğun üretilen sera gazı CO₂'tir. Bu tür gazların, atmosferin farklı tabakalarındaki davranışları incelendiğinde özellikle fosil kaynaklı yakıtlar ile yürütülen ısınma ve enerji elde etme prosesleri, küresel iklim değişikliği açısından oldukça yüksek kirlilik potansiyeline sahiptir.

Küresel iklim değişikliğinin tespit ve gelecekteki seyri noktasında, mevcut ve muhtemel CO₂ miktarını belirlemek ve güncellemek büyük bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda son yıllarda CO₂ gazlarının analizi üzerine yapılan çalışmalarda ciddi bir artış olmuş ve çalışmalar "Karbon Ayak İzi" kavramının oluşup gelişmesine zemin hazırlamıştır. Çevresel araştırmacılar tarafından son yıllarda geliştirilen "Ayak izi – footprint" kavramları, yüksek oranda doğal kaynakların kişiler tarafından ne kadar kullanıldığıнын nicel değerlerini ifade etmektedir. Çevresel etkilerin küresel çapta ele alındığı birçok araştırmaya ciddi bilgiler sağlayan ayak izi kavramının ekolojik ayak izi, karbon ayak izi ve su ayak izi şeklinde 3 türü daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik indikatörü olarak insan kaynaklı üretim-tüketim etkinliklerinin CO₂ özelinde çevresel etkilerini nicel verilerle ortaya koymamızı sağlayan bir küresel iklim değişikliği göstergesidir. Başta ülke yönetimleri olmak üzere ülke içinde faaliyet gösteren tüm endüstriler, üretim ve tüketim kaynaklı emisyon verilerini değerlendirip bir çevresel rehabilitasyon sürecini başlatabilirler.

İklim değişikliğinin küresel çapta oluşturduğu ve oluşturması muhtemel etkileri vesilesiyle 1970'li yılların başından itibaren sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik adımlar atılmıştır. Sırasıyla Viyana Sözleşmesi, Montreal Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), Paris Anlaşması ve Kyoto Protokolü ile atmosferdeki sera gazı birikimini azaltma ve iklim sistemi üzerindeki insan faaliyetlerinden kaynaklanan olumsuz etkileri önleme noktasında hukuki düzenlemelere gidilmiştir. Yürürlüğe girdiği 1994 yılından bu yana küresel iklim değişikliğini önleme çalışmaları arasında en göze çarpan sözleşme olan BMİDÇS, küresel sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulması ve buna ilave olarak halihazırdaki artışın 1,5°C'nin altında tutulmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesi konusunda önemli adımlar atmıştır. Aralık 1997'de Kyoto'da gerçekleştirilen BMİDÇS 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilen ve sanayileşmiş ülkelere bağlayıcı sera gazı salınım sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getiren Kyoto Protokolü ile sanayi sektörü gelişmiş ülkelere sera gazı emisyonlarını stabilize etmeleri konusunda bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlanmıştır (IPCC Raporu, 2018; Öztürk ve Öztürk, 2019).

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Küresel İklim Değişikliği Kavramı

Küresel iklim değişikliği genel olarak yerküreye ait sıcaklıklarda ve iklim karakteristiklerinde meydana gelen uzun vadeli değişiklikleri ifade etmektedir (Gürsoy, 2018). İklim üzerinde meydana gelen bu değişimlerin bir kısmı zaman içerisinde olası kabul edilen ve değişimi ile keskin etkilerin hissedilmediği güneş döngüsündeki değişimler gibi doğal yolla gerçekleşen değişimlerdir (Türkeş, 2008; Oğuz, 2009; Keskin ve Kanat, 2018). Ancak 1800'lerle beraber Sanayi Devrimi sonrası insan faaliyetleri fosil yakıtların yakılması nedeniyle iklim değişikliğinin başlıca sebeplerinden biri olmuştur. 20. yüzyılın başlarından bugüne dek iklimsel değişimin yanı sıra, yerkürenin alışlagelmiş iklim seyrini tamamıyla değiştirmiş ve sanayi devrimi öncesi iklim verilerine göre oldukça endişe verici bir noktaya gelmiş olduğunun kanıtıdır (Keskin ve Kanat, 2018; İğci ve Çobanoğlu, 2019).

Küresel iklim değişikliği ile küresel ısınma kavramları birbirinden farklı kavramlardır. Konunun yararlanıcıları bu terimleri her ne kadar birbirinin yerine kullanma eğiliminde olsa da küresel ısınma, küresel iklim değişikliğinin sadece bir yönünü oluşturur. Küresel ısınma tanım olarak yeryüzünde canlı yaşamı etkileyen ve çevresel değişikliklere sebep olan sıcaklık artışı şeklinde ifade edilmektedir (Özmen, 2009; Karaman ve Gökalp, 2010; Babalık ve Dursun, 2019). İki kavramın birbirine karıştırılmasının başlıca sebebi her ikisinin de meydana gelmesi sonrası oluşacak sorunların ortak oluşudur. Buzulların erimesi, deniz seviyelerinde meydana gelen artışlar, yağış tür ve rejimlerindeki değişimler, ekolojik yapıda meydana gelen olumsuzluklar hem küresel ısınmanın ve hem de küresel iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı başlıca sorunlarıdır (Keskin ve Kanat, 2018).

Çimento fabrikalarında uygulanan proseslerde emisyonla sebep olacak faktörlere örnek olarak; döner fırınlar, jeneratör, ön ısıtıcılar gösterilmektedir. Çimento sektöründe kullanılan alternatif yakıtların, hammaddelerin birlikte yakılmasıyla küresel sera gazı emisyonundan tasarruf sağlanabilmektedir (Kara ve ark., 2018).

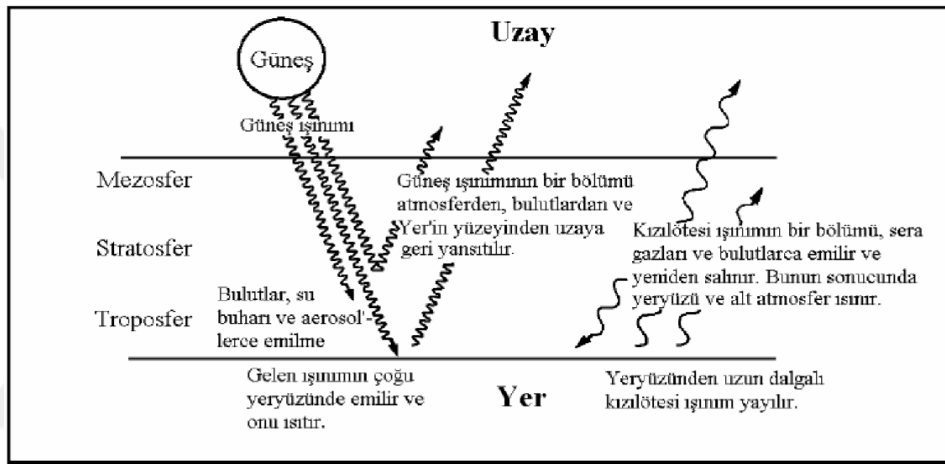
Hammadde ve alternatif yakıtların birlikte yakılmadığı durumlarda ise atıkların Yakma Tesislerinde yakılması veya düzenli depolama yapılması zorunlu hale gelecektir. Bu aşamalarda eşdeğerleri oranında sera gazı salınımı olacaktır. Fakat biyokütleden kaynaklanan CO₂ emisyonları iklim açısından nötr durumdadır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018).

2.2. Sera Gazları ve Etkileri

Sera gazları, genellikle yakıtların yanması ile oluşan ve yerkürede birikmeleri sonucu küresel iklim değişikliğine sebep olan gazların genel adıdır (Demir, 2009). Sera gazları genel olarak CO₂, CH₄, SO_x, NO_x, su buharı, O₃ ve CFC gibi sıralanabilir. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu oluşan ve yanmanın yegane kararlı son ürünü olan CO₂, diğer sera gazları arasında küresel iklim değişikliğine katkı bakımından en büyük paya sahiptir (Güleç, 2004; Atabey, 2020).

Sera gazları gerek eksik yanma gerekse tam yanma proseslerinde fazlaca ortaya çıkan gazlardır. Gelişen teknoloji, artan nüfus ve bununla birlikte değişim gösteren insan talepleri, üretilen emisyon tür ve miktarlarında aşırı artışa sebep olmaktadır. Birçoğu ekosistemin çeşitli çevrimlerinde yer almasına rağmen miktarları oldukça artış gösteren sera gazları, zamanla atmosferin katmanlarında birikim yaparak yarı saydam bir tabaka halini almaktadırlar (Demir, 2009). Bu tabaka yer kürede üretilen sera gazları ile zaman içinde kararlı bir yapıya bürünmüş ve neredeyse doğal bir katman halini almış durumdadır. Bu katman sahip olduğu yapı itibariyle yerküreden yansıyan ışınların geçişini engellemektedir. Esasen güneş ışınları oldukça yüksek enerjili ışınlar olup sahip oldukları kısa dalga boyu sebebiyle çok hızlı yer değiştirme özelliğine sahiptir (Perinçek ve ark., 2007; Şahin ve Avcıoğlu, 2016; Erdoğan, 2020). Bu ışınlar güneşi terk ettikleri andan itibaren atmosferin tüm tabakalarını herhangi

bir engeli hissetmeden hızla kat ederler. Yeryüzüne ulaştıkları anda ise enerjilerinin büyük bir kısmı yerküre tarafından soğurulduğu için geri yansıma sırasında düşük enerjili ve uzun dalga boylu bir ışın halini alarak, engellere karşı daha hassas olurlar. Sözü edilen sera gazlarının atmosfer katmanlarında oluşturduğu engelleyici tabakayı geçemeyen bu ışınlar, tekrar tekrar yerküreyle temas halinde olurlar ve bu şekilde yerkürenin soğumasına engel olurlar. Bu durum kısaca sera etkisi olarak tanımlanır ve sera etkisi küresel iklim değişikliğinin bilinen en önemli sebebi olup Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sera etkisinin şematize edilmesi (IPCC, 1994)

2.2.1. Karbondioksit (CO₂)

Genellikle fosil yakıtların yanmasıyla oluşan bu gaz bilinen en etkin sera gazı olup atmosfere karışan karbondioksitin %80-85'i fosil yakıtlar ve geriye kalan kısmı ise canlıların solunumuyla, mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2020). İnsan faaliyetleri ile olduğu bilinen karbondioksitin atmosfer içindeki derişimi sanayi devrimi ile belirgin bir artışa geçmiştir. Sanayi devriminin öncesinde atmosferdeki toplam CO₂ miktarı yaklaşık 600 milyar ton olarak tahmin edilmekle birlikte günümüzdeki araştırmalar bu miktarın yaklaşık 750 milyar ton değerlerinde çıktığını rapor etmektedir. Sera gazları içerisinde büyük paya sahip olan CO₂'in payı yaklaşık %50 oranında tahmin edilmektedir ve bu oran tek başına sera etkisinde yarı paya sahip olan bu gazı,

küresel iklim değişikliğine katkı noktasında oldukça önemli bir hale getirmektedir. Bu nedenle küresel iklim değişikliğine karşı alınacak önlemlerin başında CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar ön plana çıkmıştır (Kandil, 2008).

2.2.2. Metan (CH₄)

Metan, CO₂ ile karşılaştırıldığında atmosfer ömrü nispeten kısa olan ve küresel ısınma potansiyeli CO₂'den yaklaşık 25 kat daha fazla olan önemli bir sera gazıdır. Tüm sera gazı emisyonları içerisinde sera etkisine en büyük ikinci katkı sağlayan maddedir. CH₄ genellikle organik maddelerin anaerobik koşullar altında bozulması sonucunda ortaya çıkar. Özellikle petrol ve doğalgaz kaynaklı bir gaz olması nedeniyle sanayi devrimi ile birlikte atmosferdeki payı üç katı artış göstermiştir (Kandil, 2008). Bunların dışında metan kaynakları, sığır (geviş getiren hayvanlar) yetiştiriciliği olmak üzere hayvancılık, doğal gaz çıkarılması, taşınması ve dağıtım süreçleri ile toprak dolguları, sulak alanlardaki pirinç yetiştiriciliği, atık su arıtımı ve kömür madenciliğidir (Koyuncu ve Akgün, 2018).

2.2.3. Diazot monoksit (Nitröz Oksit) (N₂O)

Nitröz oksitin (N₂O), atmosferde kalma süresi yaklaşık olarak 114 yıl olan ve atmosferik ozon oluşumunda öncü olduğu bilinen önemli bir sera gazıdır. Atmosferde bulunma miktarı CO₂ ve metana göre oldukça düşük olan bu gaz, küresel ısınma potansiyeli bakımından karbondioksitin neredeyse 300 katı değere sahiptir. Atmosfere salınan nitröz oksitin beşte üçü okyanuslar ve toprak gibi doğal yollardan, geriye kalan beşte ikilik kısım ise biyokütle yakımı, gübre kullanımı ve çeşitli endüstriyel işlemler gibi insani faaliyetler sonucu oluşmaktadır (Koyuncu ve Akgün, 2018). N₂O, solunum yolları, gözler, burun ve boğazda iltihaplanma, astım ataklarının tetiklenmesi gibi sağlık sorunlarına sebep olmasının yanı sıra bitki örtüsünü oksidatif strese sokarak çevre üzerinde olumsuz etki yaratır. Nitröz oksitler stratosferdeki ozon konsantrasyonu ve dağılımının kontrolünde kritik role sahip birincil kaynak olarak gösterilmiştir.

2.2.4. Su Buharı (H₂O)

Havadaki su buharı (H₂O) miktarı, mevsimler içinde önemli ölçüde değişim gösterse de atmosferdeki birikimi toplam hacim içerisinde yaklaşık %4 oranındadır. Su buharı, güneşten gelen kısa dalga boylu (yüksek enerjili) ışının bir kısmını ve yerden yansıyan uzun dalga boylu (düşük enerjili) ışının büyük bir kısmını soğurma özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde önemli sera gazları arasında yer alan su buharı, atmosfere büyük oranda geniş su yüzeylerinden buharlaşma yoluyla karışarak atmosfer içerisinde sera etkisine katkısını tamamladığında yağış yoluyla yerküreye inerek buzul kütlelerinde depolanmaktadır (Şahin ve Avcıoğlu, 2016).

Küresel su buharı konsantrasyonunu insan faaliyetinin doğrudan etkilemediği düşünülmektedir. Ancak diğer sera gazlarının konsantrasyonlarında ki artış sonucu dolaylı olarak da olsa hidrolojik döngüyü etkilediği gözlemlenmiştir. Atmosferimizdeki ısınma su tutma kapasitesini arttırmaktadır. Dolayısı ile su buharı konsantrasyonunun artması bulut oluşumunu etkilediği gözlemlenmiştir. Bulutlar hem güneşten gelen hem de karadan yansıyan ışınları absorbe ederek yansıtmaktadır. Uçakların, jet motorlarından çıkan ve gökyüzüne bakıldığında uçağın arkasından bir çizgi gibi görünen karışımın içeriğinde su buharı bulunur. Uçakların seyir halinde iken gökyüzünde bıraktıkları bu iz şeklindeki yapı, ışıma etkileri bakımından bulutlara benzemektedir (Gillenwater ve ark., 2002; Çağatan, 2011).

2.2.5. Ozon (O₃)

Ozon, atmosferin stratosfer tabakasında yer alması gerekirken troposferde nadiren de olsa bulunabilmektedir. Oksijen molekülleri yüksek enerjiye sahip ultraviyole ışınlarının bombardımanına maruz kalıp parçalanarak, açığa çıkan serbest oksijen atomlarının bir bölümünden oksijen ile birleşmesi sonucu O₃ oluşturmaktadır. O₃ ultraviyole ışınlarını emme özelliğine sahiptir. Oksijenin sahip olmadığı bazı özellikleri vardır. Troposferde bulunan O₃, birinci sırada fosil yakıt kullanan taşıtlar olmak üzere araç ve tesis egzozlarında, biyokütlelerin yakılması sırasında salınan

azot oksitleri, karbon monoksit ve etilen gibi bileşiklerin güneş ışığı etkisi ile etkimesi sonucu artmaktadır (Engin, 1989).

2.2.6. Kloroflorokarbon (CFC)

Spreylerde ve soğutucu aletlerde kullanılan gazlar kloroflorokarbon gazının başlıca kaynakları olarak gösterilmektedir. Kloroflorokarbon gazı doğal kaynaklardan elde edilemez. Türkiye’de toplam kloroflorokarbon gazları emisyon oranını 1996–2004 döneminde 0.374 Tg’den 2.933 Tg CO₂ eq’ye yükseltmiştir. SF₆ ve HFC₆’nın sanayide kullanımına bağlı olarak emisyonu, bu gazların ülke içerisinde üretilmemesinden dolayı sadece ithal edilen miktarına bağlıdır. HFC emisyonları sadece HFC-134a’nın klima ve buzdolabı üreten bazı sektörler tarafından kullanılmasıyla orantılıdır. HFC’lerin emisyon miktarları, 2000-2004 yılları arasında 0.82 Tg’den 2.23 Tg’ye çıkmıştır (Çepel, 2002). Sera gazlarının CO₂’e göre küresel ısınma potansiyel değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir (IPCC, 2006).

Tablo 2.1. Sera gazlarının CO₂’e göre küresel ısınma potansiyel değerleri (IPCC, 2006)

Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü	100 Yıllık Zamanda GWP Değeri
Karbondiyoksit	CO ₂	1
Metan	CH ₄	28
Nitröz Oksit	N ₂ O	265
Hidroflorokarbonlar	HFC’ler	
HFC-23	CHF ₃	12400
HFC-32	CH ₂ F ₂	677
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1300
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4800
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	138
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3350
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	8060
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	1650

Tablo 2.1. (Devamı)

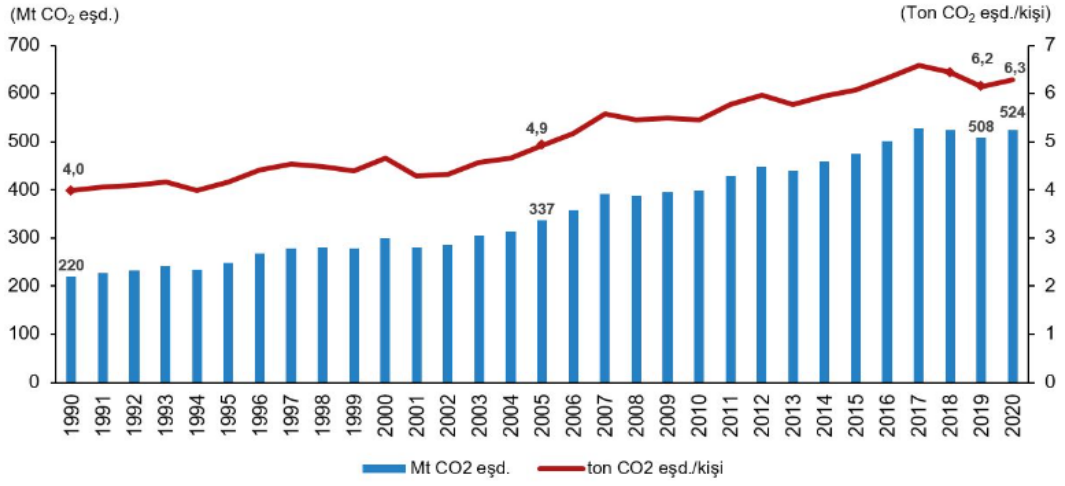
Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü	100 Yıllık Zamanda GWP Değeri
Perflorokarbonlar	PFC'lar	
PFC-14	CF ₄	6630
PFC-116	C ₂ F ₆	111000
PFC-218	C ₃ F ₈	8900
PFC-318	c-C ₄ F ₈	9540
PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	9200
PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7910
Kükürt Hekzaflorür	SF ₆	23500

2.3. Sera Gazlarının Türkiye ve Dünya Ölçeğindeki Mevcudiyeti ve Önemi

Dünyanın fazla ısınmasının sebebi olarak gösterilen sera gazlarındaki artış kontrol altına alınması gereken en önemli parametrelerdendir. 1860 yılından bugüne de tutulan kayıtlar, küresel sıcaklığın 0.5 °C - 0.8°C kadar arttığının bir göstergesidir (Andrady ve ark., 2008). Küresel ısınma, Dünya üzerinde; kutup bölgelerinde sıcak havanın artışına bağlı olarak buzulların erimesini, deniz suyu seviyesinin yükselmesini, taşkınları, kıyı kesimlerde toprak kaybını, temiz su kaynaklarının denize karışmasını, aşırı buharlaşmayı ve kuraklığa bağlı olarak yangınları, göl ve ırmak sularının azalmasını, bitki ve hayvan türlerinin yok olması ya da azalması gibi birçok olumsuz gelişmeyi de beraberinde getirmiştir (Zoray ve Pır, 2017).

Küresel iklim değişikliği sonucu, yüksek yaz sıcaklıkları, orman yangınları, yağışların ve su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme vb. olumsuz değişimler meydana gelmektedir. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de bu olumsuzluklardan etkilenmektedir. Özellikle hem küresel ısınmaya sebep olan hem de bundan etkilenen tarım sektörünün bu olumsuz durumdan daha fazla etkilendiği görülmekte olup küresel ısınma etkileri Türkiye'de de birçok olumsuzluklara neden olmaktadır (Keskin, 2018).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 1990 yılından günümüze değin her yıl değerlendirilen ve rapor edilen emisyon envanteri değerlendirmelerine göre; 2020 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %3,1 artmış olup 523,9 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) dir (TÜİK, 2022). Kişi başına düşen sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO₂ eşd., 2019 yılında 6,2 ton CO₂ eşd. ve 2020 yılında 6,3 ton CO₂ eşd. dir. Yine TÜİK tarafından 1990–2020 yılları arasını kapsayan süreç için toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu Şekil 2.2’de gösterilmiştir (TÜİK, 2022).



Şekil 2.2. Ülkemizde 1990–2020 aralığındaki toplam ve kişi başı sera gazı emisyonları (TÜİK, 2022)

2.4. Küresel Düzeyde İklim Değişikliğine İlişkin Düzenlemeler

2.4.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1992 yılında Rio de Janeiro’da (Brezilya) düzenlenerek 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmenin amacı, atmosferde tehlikeli boyutlara varan insan kaynaklı sera gazı salınımlarının, iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini önlemek ve sera gazı düzeylerini 1990 yılı seviyesinde tutmaktır. Sözleşmede ülkeler Ek-I ve Ek-II olarak iki gruba ayrılmıştır. Ek-I ülkeleri, sera gazı salınımlarının azaltılmasına yönelik politika ve önlemlerde öncü rol oynayacak ülkelerdir ve iki ülke kümesinden

oluşmaktadır. Birinci grupta 1992 yılı itibarıyla OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı) üyesi olan ülkeler ve AB (Avrupa Birliği), ikinci grupta ise Pazar Ekonomisine geçiş sürecindeki ülkeler yer almaktadır. Ek-II ülkeleri ise birinci grupta üstlenilen yükümlülüklerle ilaveten teknoloji transferi ve finansman konularında gelişmekte olan ülkelere destek verecek olan gelişmiş ülkelerden oluşmaktadır. Halihazırda Ek-I listesinde 42 ülke ve AB üye ülkeleri, Ek-II listesinde ise 23 ülke ve AB üye ülkeleri yer almaktadır.

Türkiye bu tasnifte özel bir konuma sahiptir. Sözleşmenin imza aşamasında hem Ek-I hem de Ek-II listesinde yer alıyorken, 2001 yılında Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda ülke isteği üzerine alınan kararla Ek-II listesinden çıkarılmıştır. Bu toplantıda Türkiye'nin Ek-I taraflarından farklı konumu olduğu karara bağlanmıştır. Türkiye, bu kararla Ek-I listesinde olup da geçiş ekonomisi olmayan ve "özel şartları" Taraflar Konferansı kararlarıyla kabul edilmiş olan tek ülke konumundadır.

Taraflar Konferansı (Conferences of the Parties, COP) sözleşmenin yürürlüğe girdiği 1994 yılından sonra ilk defa 1995 yılında Berlin'de düzenlenmiştir. Halihazırda 27 tanesi tamamlanmış olan konferanslar arasında en önemlisi 1997 yılında Kyoto'da düzenlenen üçüncü taraflar konferansıdır ki bu konferansta Kyoto Protokolü imzalanmıştır.

En son düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP27), Şarm El-Şeyh (Mısır) şehrinde 6-18 Kasım 2022 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. 194 ülke bir araya gelerek iklim değişikliğinin yaşamları ve geçim kaynakları kötü yönde etkilenmiş topluluklar üzerindeki etkileri ele alınarak kayıp ve hasarın finansmanı konusunda ileriye dönük bir yol belirlenmiştir. COP 27, ülkelerin küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5 °C üzerinde sınırlama taahhüdünü yeniden teyit eden bir karar paketi sunmasıyla sonuçlanmıştır. Karar paketi ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğinin kaçınılmaz etkilerine uyum sağlama eylemlerini güçlendirmenin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaç duyduğu finans, teknoloji ve kapasite geliştirme desteğini arttıran bir paket niteliğindedir.

İlk kez COP 27'de kayıp ve hasar için özel bir fon oluşturulması ve konunun resmi gündeme eklenmesi kabul edilmiştir. Hükümetler, gelişmekte olan ülkelere kayıp ve hasara yardımcı olmak için yeni finansman düzenlemelerinin yanı sıra özel bir fon oluşturmak için çağır açan bir karar almıştır. Hükümetler ayrıca, gelecek yıl COP28'de hem yeni finansman düzenlemelerinin hem de fonun nasıl faaliyete geçirileceğine ilişkin tavsiyelerde bulunmak üzere bir "geçiş komitesi" kurmayı kabul etmiştir. Geçiş komitesinin ilk toplantısının Mart 2023'ün sonundan önce yapılması beklenmektedir.

Konferansta birçok duyuru yapılarak beş kilit alanda (enerji, karayolu taşımacılığı, çelik, hidrojen ve tarım) yenilikçi bir paket başlatılmıştır. Net Sıfır Taahhütleri kapsamında Üst Düzey Uzman Grubu, COP27'de endüstri, finans kurumları, şehirler ve bölgeler tarafından güvenilir, hesap verebilir net sıfır taahhütlerini sağlamak için klavuz niteliğinde bir rapor yayınlamıştır.

Türkiye daha önce COP 26'da 2030 yılına kadar %21 emisyon azaltımı olarak verdiği taahhüdü değiştirerek %41'e yükseltmiştir.

2.4.2. Kyoto protokolü

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi sonrası sera gazı emisyonlarının küresel ölçekte artmaya devam etmesi ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin giderek daha fazla hissedilir hale gelmesi üzerine, planlanan taraflar konferansı oturumları gündemlerinde yeni yükümlülükler getirme fikri ele alınmıştır. Bu bağlamda taraflar konferansların ilki olan COP1 (1995-Berlin) konferans gündemi, genel olarak gelişmiş ülkelerin bağlayıcı yükümlülüklerini arttırmayı amaçlayan bir protokolü müzakere etmek üzerine kurulmuştur. Gelişmiş ülkelerin daha fazla sorumluluk üstlenmeleri ve mevcut Sözleşme'nin niteliğini güçlendirmek amacıyla yaklaşık iki yıl süren müzakereler sonucunda, 1997 yılında Kyoto'da gerçekleştirilen 3. Taraflar Konferansı'nda "Kyoto Protokolü" imzalanmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Günümüzde AB ile birlikte protokole halen taraf olan sayısı 191'dir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesindeki Ek-I ülkeleri, Kyoto Protokolü'nde Ek-B listesini oluşturmaktadır. Emisyon azaltımı ya da kontrollü artış yükümlülüğü olan bu ülkeler, Kyoto Protokolü kapsamında sera gazı emisyonları toplamını, 2008-2012 yılları arasındaki birinci taahhüt döneminde, 1990 yılındaki seviyenin % 5 altına düşürmeyi taahhüt amacıyla farklı oranlarda sera gazı emisyon azaltımı/sınırlandırması yükümlülükleri üstlenmişlerdir.

Kyoto Protokolünün yürürlüğe girmesini takiben Bali'de düzenlenen 2007 yılı 13. Taraflar Konferansı'nda ikinci taahhüt dönemini belirlemek amacıyla "Bali Yol Haritası" isminde bir düzenleme planı oluşturulmuş fakat devam eden 5 taraflar konferansında bu düzenleme planı üzerinde uzlaşma sağlanamamıştır. 2012 yılında Doha'da düzenlenen 18. Taraflar Konferansında uzlaşmaya varan taraflar Protokol'ün 2020 yılına kadar devam etmesi kararını almışlardır. Böylece, ikinci taahhüt dönemi 2013-2020 yılları olarak belirlenmiştir. Protokolün ikinci taahhüt dönemini oluşturan "Doha Değişikliği" ile Ek-B ülkelerinin emisyonlarını ilk taahhüt döneminden farklı olarak 2020 yılında 1990 yılına göre en az %18 azaltmaları kararlaştırılmıştır (Özmen, 2009).

2.4.3. Paris antlaşması

2015 yılında Fransa'nın başkenti Paris'te 21. Taraflar Konferansı'nda iklim değişikliğinin önemi ve iklim değişikliği ile mücadele için büyük önem taşıyan Paris Anlaşması 195 ülke tarafından imzalanmıştır. Paris Anlaşması'nda ele alınan en büyük sorun Kyoto Protokolü'nden farklı olarak, yerkürenin bugüne kadar 1°C artan ısısının 1,5°C seviyelerinde tutulmasına ve 2°C seviyelerine çıkmamasına karar verilmiştir. Bu konferansta ülkelerin iklim değişikliği ile ilgili konuda birlikte hareket etmelerinin önemi vurgulanarak taraflar bu konu hakkında tüm sorumluluklarını yerine getirmeyi kabul etmişlerdir. Ayrıca konferansta özellikle gelişmiş ülkelerin emisyonlarını sıfırlamaları ve buna istinaden tedbirler almaları önemle vurgulanmıştır. Paris anlaşmasına göre öncelikle gelişmiş ülkelerin emisyonlarını sıfırlamaları, daha sonra gelişmekte olan ülkelere teknolojik, iklimsel finans ve bu konu ile ilgili teknoloji yardımında bulunmaları gerekmektedir. Bu

kararlar doğrultusunda 2020 yılı ve sonrası gelişmekte olan ülkeler için yıllık 100 milyar dolarlık iklim finansmanı sağlaması konusunda karar verilmiştir. Paris anlaşması gereğince ülkeler kendilerine özgü iklim politikaları ile küresel ısınmayı azaltma yönünde çalışmalar yapacaktır. Ülkeler iklim değişikliğini önlemek ve emisyonları azaltmak konusunda hedeflerini belirleyerek bu mücadeleye ortak olacaklardır. Türkiye daha önce amaçlanan Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (Intended Nationally Determined Contribution-INDC) beyanını Birleşmiş Milletler'e sunmuştur. Bu beyanda, 2030 yılına kadar sera gazı salınımlarında ki artışın %21 oranında azaltılmasının hedeflendiği belirtilmiştir (Levin ve ark.,2015).

2.4.4. Avrupa yeşil mutabakatı

Avrupa Birliği Aralık 2019'da, yeni dönem Komisyonunun oluşumunun ardından Avrupa Komisyonu, Avrupa Birliği ekonomisini daha sürdürülebilir, daha yeşil, ekolojik bir seviyeye çıkarmayı amaçlayan bir politika içeriği olan Avrupa Yeşil Mutabakatını (AYM) sunmuştur. AB ülkelerinin 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını sıfırladığı, kaynak bakımından verimli, ekonomik açıdan rekabetçi bir politika izleyerek büyümeyi hedefleyen bir stratejidir (European Commission, 2021). İklim krizi ile savaşım konusunda AYM'nin hedefleri 2050 yılına dek sera gazı emisyonlarını sıfırlamak, iklim nötr olan ilk kıta olmak, yeşil ekonomiye geçiş sürecinin ekonomik bir fırsata çevirmektir. Mutabakat, uygulanacak politika maddelerinin yanı sıra, yeşil ekonomi, iklim krizini engelleyecek çeşitli dallarda çevre dostu teknolojik araştırmalara destek olmayı da amaçlamaktadır.

Mutabakat 2030 yılını önceleyen kısa vadeli hedefler ile 2050 yılını baz alan uzun vadeli iki temel hedefe sahiptir. Kısa vadede, söz konusu paydaşların 2030 yılına kadar sera gazı salınımlarındaki azaltım oranını, 1990 yılına kıyasla %55 oranında azaltmak şeklinde iken mutabakatın uzun vadede hedefi, 2050 yılına kadar bu oranı %100'e çıkarmak başka bir deyişle net sera gazı emisyonlarının sıfıra indirilmesini sağlamak olarak belirlenmiştir. Bu hedef ile Avrupa kıtasının 2050 yılına kadar iklim nötr kıta olması amaçlanmaktadır (Küçük ve Yüce, 2022).

Finansal destek, yeni hedeflerin belirlenmesi, gelişmekte olan ÷lkelere yardımda bulunmak ve uyum kapasitesinin arttırmak AYM için destek sağlanacak dört temel bileşendir. Bu temel bileşenlerin ulusal reformlar, yatırımlar ve sürekli diyalog ile desteklenmesi ve denetlenmesinde, başta yerel yönetimler olmak üzere bakanlıklar ve sivil toplum kuruluşları pay sahibi kabul edilmiştir.

AYM stratejilerinin oluşum ve uygulama aşamasında sekiz farklı eylem alanı ele alınmıştır. Kısa vadeli hedefler olarak ifade edilen 2030 yılı hedefleri için belirlenen eylem alanları ve bu alanları içeren alt eylem Tablo 2.2’de verilmiştir.

Yeşil ekonomi, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından bazı çevresel tehlikeleri ve ekolojik problemleri azaltırken aynı zamanda toplum refahını da sağlayan ekonomik bir model olarak tanımlanmıştır. Çevre politikaları ile ekonomi politikalarının bir arada uyum içerisinde sürdürülebilmesi Yeşil ekonominin hedeflerindedir. Kaynakların verimli kullanımını hedef alan döngüsel ekonomi, iklim değışikliği ile mücadele kapsamında hayata geçirilmesi hedeflenen politikalar ile ekonomik amaçlar arasında dengeli bir ilişki kurarak sürdürülebilir kalkınma kavramını temel almaktadır. Yeşil ve döngüsel bir ekonomi, yatırımlar ve büyüme stratejileri belirlenirken sera gazı salınımlarının azaltılması ile enerji ve kaynak verimliliğinin artırılmasının kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Öncelikli olan sektörlerde daha kapsamlı politikalar izlenmesi, yenilik odaklı çalışılması, mevcutta bulunan yasal düzenlemelerin incelenmesi yolu ile gerçekleşecek mevzuat değışimleri ile hazırlanacak faaliyet planları bu alanda olan dönüşümü destekleyecek ekosistemin yaratılmasını gerektirmektedir.

Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat amaçları ve Yeni Sanayi Stratejileri doğrultusunda 11 Mart 2020 tarihinde “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı’nı ilan etmiştir. Avrupa Birliği’nin döngüsel ekonomi eylem planı, sürdürülebilir ürün politikasını faaliyete geçirmeyi merkez alarak, bu kapsamdaki öncelikli sektör ve ürün değeri zincirlerini, elektronik ve bilişim teknolojileri, plastikler, piller ve araçlar, gıda, ambalaj, yapı malzemeleri, tekstil, besinler ve su olarak sıralamıştır.

Tablo 2.2. Avrupa yeşil mutabakat eylem alanları (Ticaret Bakanlığı, 2021)

Eylem alanları	Alt eylem
İklim	Avrupa iklim yasası Avrupa iklim paktı Uyum stratejileri İklim diplomasisi
Çevre	Orman stratejileri Biyçeşitlilik stratejileri Sıfır kirlilik eylem planı Döngüsel ekonomi eylem planı Atık ve geri dönüşüm Sürdürülebilirlik için kimyasal stratejiler Sürdürülebilir bataryalar Organik eylem planı Tarladan çatala stratejileri Çevre eylem planı Su ürünleri politikaları Mavi ekonomi stratejileri
Enerji	Enerji sistem entegrasyon stratejileri Renovasyon dalgası Hidrojen stratejileri Metan stratejileri Açık deniz yenilenebilir enerji stratejileri Enerji için Avrupa ötesi ağlar
Ulaşım	Sürdürülebilir ve akıllı ulaşım stratejileri Avrupa tren bağlantısı
Tarım	Ortak tarım politika reformu Ortak tarım strateji planları Organik tarım eylem planı AB tarımsal gıda politikaları Çiftlik hayvanlarının sağlığı Pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı Yiyecek etiketleme
Finans ve bölgesel gelişme	Yeni nesil AB Yeni nesil AB yeşil tahviller İyileştirme ve dirençlilik olanağı Sürdürülebilir finans Adil geçiş mekanizması
Endüstri	Endüstriyel stratejiler Avrupa batarya ittifakı Avrupa temiz hidrojen ittifakı Avrupa hammadde ittifakı Döngüsel plastik ittifakı
Araştırma ve inovasyon	Horizon Avrupa Projeleri

Ülkemiz ve Avrupa Birliği arasında imzalanmış olan Gümrük Birliği kapsamında Avrupa Birliği ile mevcut ticari entegrasyonumuzun yanı sıra ülkemizin dahil olduğu değerler zinciri dikkate alındığında, Avrupa Birliği tarafından gerçekleştirilecek politika değişikliklerinin hem enerji hem kaynak kullanımı bakımından yoğun sektörlerde faaliyet gösteren ekonomik olgularımız üzerinde önemli etkiler doğurması muhtemeldir. Özellikle sürdürülebilir ürünler açısından, başta Avrupa Birliği tarafından gösterilen hedeflerin ve gerçekleştirilmesi öngörülen düzenlemelerin yakından takibi ve bunlara uyum sağlanması, Avrupa Birliği teknik mevzuatına uyum yoluyla ülkemiz ile Avrupa Birliği arasında uygulanan serbest dolaşımın sürdürülmesi bakımından önem arz etmektedir (Ticaret Bakanlığı, 2021; Yılmaz, 2021).

2.4.5. Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli (IPCC)

1988 yılında Kuzey Amerika'daki sıcak hava dalgası ve kuraklık, iklim değişikliğinin bir göstergesi olarak uluslararası gündemde yer almıştır. Buna istinaden, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) kurulmuştur. IPCC'nin kuruluş amacı iklim değişikliğini bilimsel olarak değerlendirerek anlamak ve anlatmak ve küresel ve uluslararası düzeyde eylemler hazırlanması için reel stratejileri formüle etmek üzere 2 temel ilkeye dayanmaktadır.

IPCC çalışmalarını 3 ana grupta sürdürmektedir ve her grup kendi aralarında gruplara ve çalışma alanlarına ayrılmıştır. I. Grupta, çalışmaları uluslararası kanıtlanmış bilim insanlarından faydalanarak iklim değişikliği ile ilgili verilerin toplanması sağlanmaktadır. II. Grupta iklim değişikliğinin etkili olduğu alanlarda çalışmalarını yürütmekte ve bu alanlardaki uyum faaliyetleri gerçekleştirmektedir. III. Grupta ise, iklim değişikliği ile mücadeleyi sadece bilimsel olarak değil, iklim değişikliğine karşı ne zaman ve nasıl harekete geçileceği ile ilgili politikalar yürüten komite ve dört alt gruptan teşekkül etmektedir. IPCC ilk toplantısını 1988 yılında Cenevre'de gerçekleştirmiş olup IPCC'nin bünyesinde bulunan çalışma grupları elde ettikleri bilimsel verileri ve ortaya koydukları gelecek hakkındaki senaryoları

derleyerek değerlendirme raporu olarak sunmuşlardır. İlk değerlendirme raporu 1990 yılında yayımlanmıştır. Bu rapor Birleşmiş Millet İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin hazırlanmasına temel olmuştur. IPCC son olarak 2022 yılında yayımlanmış olup, toplamda altı adet değerlendirme raporu hazırlanmıştır (MGM, 2021).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPPC) 6. Değerlendirme Raporu kapsamında yaklaşık 4 yıl süren çalışmaların ikinci ayağı olan IPCC İkinci Çalışma Grubu'nun "İklim Değişikliği: Etkiler, Uyum ve Etkilenebilirlik" başlık yeni raporu 2022 Şubat sonunda tamamlanmıştır. Ayrıca;

- "1.5 Derecelik Küresel Isınma Özel Raporu (Yönetici Özeti)" 1-5 Ekim 2018 tarihindeki IPCC'nin 48. Oturumunda hazırlanıp yayımlanmıştır.
- "İklim Değişikliği ve Arazi Raporu" Ağustos 2019 tarihinde yayımlanmıştır.
- "Değişen İklimde Okyanuslar ve Kriyosfer" raporu Eylül 2019 tarihinde yayımlanmıştır.

2.5. Karbon Ayak İzi Kavramı

Karbon ayak izi, Dünya'nın ekosistemleri üzerindeki insan talebinin bir ölçüsü olan ekolojik ayak izi kavramından kaynaklanır. Gezegenin ekolojik yenilenme kapasitesiyle karşılaştırılabilecek, doğal sermayeye yönelik standartlaştırılmış bir talep ölçüsüdür. Bir insan popülasyonunun tükettiği kaynakları sağlamak ve ilgili atıkları asimile etmek için gerekli olan biyolojik olarak verimli kara ve deniz alanı miktarını temsil eder. Bu değerlendirmeyi kullanarak, eğer herkes belirli bir yaşam tarzını takip ederse, insanlığı desteklemek için Dünya'nın ne kadarının veya Dünya gezegeninin ne kadarının gerekli olacağını tahmin etmek mümkündür.

İnsan kaynaklı eylemler sonucu oluşan CO₂ salınımları kömür, petrol gibi fosil yakıtlarının ısınmada, enerji üretiminde ve endüstride kullanımlarından, çimento üretim faaliyetlerinden, metal ve petrol yan ürünlerinin üretilmesinden, taşıtlardan ve düzensiz depolamadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu insanî faaliyetler sonucu

artan sera gazları önüne geçilmesi gereken en önemli problemden biridir. Şahsi araç kullanımı, ısınmada kullanılan yakıt türleri, elektrik tüketimi, gıda tüketim alışkanlıkları, giysi kullanımı gibi insanî kullanımlar sonucu doğaya ciddi oranda karbon salınmaktadır (Demir, 2009). Bir bireyin, bir ülkenin veya bir kuruluşun sürdürdüğü faaliyetler sonucu atmosfere saldığı sera gazlarının karbondioksit cinsinden karşılığı karbon ayakizi olarak adlandırılmaktadır.

Karbon ayak izi artışında kurumların etkilerine bakarsak; tesislerde kullanılan yakıtlar ve türleri, arazi kullanımları, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, ulaşım, enerji ihtiyacı, atık yönetimi gibi parametreler karbon ayak izinde artışa sebep olarak gösterilmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı ile birlikte vergilerde düzenleme yapılarak sınırdan karbon düzenlemesi AB tüzüğü olarak açıklanmıştır. Bu ilgili tüzüğün enerji kullanımı yoğun 5 sektör için ithalat ve ihracatında karbon emisyonunu düşürmeye yönelik stratejiler geliştirmekle yükümlü olduğu belirtilmiştir. Bu enerji yoğun 5 sektör şu şekilde sıralanmaktadır.

- Demir – Çelik
- Alüminyum
- Çimento
- Gübre
- Elektrik

Çimento sektörü enerji yoğun sektörler arasında üçüncü sıradadır. Günümüz şartlarında kentleşme, alt yapı projeleri, sanayileşme gibi faaliyetlerin artışı karbon emisyonunu önemli oranda artırmaktadır. Çağın gelişmesi insani faaliyetlerin artması çimento sektöründe de artışa sebep olduğundan hammadde olan bu üründen vazgeçmek mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla üretim faaliyetleri sonucu oluşan karbon emisyonları tesisteki iyileştirmelerle, makine ekipman yenilenmesi ile, düzenli bakımların yapılması ile ve fosil yakıtlardan ziyade alternatif (daha az emisyona sebep olan) yakıtlar kullanılması ortaya çıkan sera gazları etkisini önemli oranda azaltacaktır. Karbon ayak izi aynı zamanda bir ürünün tüm yaşamsal döngüleri boyunca uğradığı etkileşimler sonucu oluşan CO₂ gazlarının hesaplanması için kullanılır. Bugüne dek yapılan birçok çalışmada CO₂ veya sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak adlandırılmıştır (Mirici ve Berberoğlu, 2022).

Renk ve kokusu olmayan CO₂, dünyanın ilk zamanlarından bugüne dek atmosferde yer almıştır. Atmosferdeki su buharı, karbondioksit, metan, diazot monoksit gibi gazlar insan faaliyetleri sonucu arttıkça yeryüzü daha fazla ısınmaktadır. Endüstri devrimi öncesi CO₂ değeri 280 ppm iken 2005 yılında bu değer %35'lik artışla 379 ppm'e kadar ulaşmıştır (Bıyık ve Civelekoğlu, 2018). Keeling Eğrisi, UC San Diego'daki Scripps Oşinografi Enstitüsü tarafından tutulan küresel atmosferik karbondioksit konsantrasyonunun günlük bir kayıdır. 2022'nin aralık ayında Mauna Loa Gözlemevinde CO₂ değeri erişim sağlanan günde 419,25 ppm olarak okunmuştur (Scripps Oşinografi Enstitüsü, 2022).

Kişisel karbon ayak izi insanların yaşamsal faaliyetleri sonucu doğaya salınan emisyonun ne kadarında payı olduğunu gösteren bir kavramdır. Doğaya karşı kişisel bilinç oluşmasını sağlayarak salınımların azaltılmasına üretimin yanı sıra kurumların temelini de insanlar oluşturduğu için kişilerden başlamak gerekmektedir (Solarin, 2019).

Kişisel karbon ayak izi tanımını birincil ve ikincil ayak izi olmak üzere iki ana bölümde incelemek mümkündür. Birincil karbon ayak izi evsel tüketimi ve ulaşımdan kaynaklı (taşıtlar; araba, uçak vs.) olmak üzere fosil yakıtlarının tüketilmesinden ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının bir göstergesidir. İkincil karbon ayak izi ise kullanılan ürünlerin, kullanılmaya başlanmasına dek üretimi sonucu oluşan, üretimi sırasında tüm proseslerinin ve en son olarak bozuluma uğramasından kaynaklı CO₂ emisyonlarının bir ölçüsüdür.

İşletme bazında karbon ayak izi ise kurumların yıllık faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların gösterildiği bir kavramdır. IPCC, GHG Protokolü, ISO 14064 ve PAS standartları gibi uluslararası alanda kabul görmüş standartlar, karbon ayak izi hesaplanmasında ve raporlanmasında kullanılmaktadır.

Türkiye'de ISO 14064-1 2018 Sera Gazı Envanter Kategorileri Raporlama Sınırlarının Belirlenmesi Doğrudan ve Dolaylı Sera Gazı Emisyonlar raporuna göre sera gazı emisyonları 6 kategoriye ayrılmıştır (ISO, 2018).

Kategori 1: Doğrudan sera gazı emisyonlarıdır. Emisyon kaynakları kendi içlerinde gruplara ayrılmaktadır. Bunlara; sabit yakma, mobil yanma, doğrudan proses emisyonları, doğrudan sera gazı kaynaklarından kaynaklı kaçak emisyonlar, arazi kullanımı ve değişikliği örnek gösterilmektedir.

Kategori 2: İthal edilen enerjiden kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bunlara; kuruluş tarafından dışarıdan satın alınan elektrik, buhar, ısıtma, soğutma ve basınçlı hava örnek olarak gösterilmektedir.

Kategori 3: Ulaşımdan kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bunlara; ulaşım ekipmanının yapımı (araç ve altyapı), ulaşım kaynaklı tüketilen yakıt ve yakıt nakliyesi, servis araçları, tesise gelen ve dağıtımdan kaynaklı emisyonlar örnek olarak gösterilmektedir.

Kategori 4: Kuruluş tarafından kullanılan Ürün/Hizmetlerden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bu kategoriye; satın alınan ürünlerin imalatı kaynaklı emisyonlar, sermaye ürünlerinin amortismanı ile ilgili emisyonlar, kuruluş tarafından kullanılan hizmetlerden kaynaklı emisyonlar, atıklardan kaynaklı emisyonlar, kiralanan araçların kullanımı kaynaklı emisyonlar örnek olarak gösterilmektedir.

Kategori 5: Kuruluştaki ürünlerin kullanımıyla ilişkili dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bu kategoriye; ürünün kullanımı aşamasından kaynaklı emisyonlar, alt kiralanan varlıklardan kaynaklanan emisyonlar, ürünün yaşam sonu aşamasında oluşan emisyonlar ve yatırımlardan kaynaklanan emisyonlar örnek olarak gösterilmektedir.

Kategori 6: Diğer kaynaklardan dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bu kategorinin amacı, başka herhangi bir kategoride (Kategori-2, Kategori-3, Kategori-4, Kategori-5 gibi) rapor edilemeyen herhangi bir kuruma özgü emisyon bu kategori altında raporlanmasıdır. Sonuç olarak, bu belirli kategorinin içeriğini tanımlamak kuruluşun sorumluluğundadır.

Karbon ayak izi hesabı kurumsal, bireysel, bölgesel vb. olarak yapılabilir. Genellikle 1 yılda olmak üzere belirli bir zaman aralığı belirlenmektedir. Yakıtlardan oluşan emisyonların hesabında IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) standartları kullanılmaktadır. CO₂ emisyonlarının belirlenmesi sırasında Kapsam 1, Kapsam 2, Kapsam 3 olmak üzere 3 yöntemden faydalanılmaktadır (IPCC, 2006).

Kapsam 1: Kurumların faaliyetleri sırasında doğrudan meydana gelen salınımların ölçüsüdür. Kurumun içerisindeki her türlü faaliyetten, kurumun kendisine ait olan araçları ile gerçekleştirilen taşıma faaliyetleri Kapsam 1’de yer almaktadır.

Kapsam 2: Kurumun kendi içerisinde üretmediği, dışarıdan satın aldığı (elektrik, su, ısı vs.) kaynaklardan meydana gelen salınımlardır.

Kapsam 3: Kapsam 2’de bulunmayan fakat dolaylı olarak kurum faaliyetleri sonucunda oluşan diğer emisyonlardır. (Örneğin; Ürün için kullanılan ambalajlardan, reklam broşürlerine kadar) Kurumların dışarıdan temin ettiği taşeron faaliyetleri, kiralık araçlar, bu araçların kullandıkları yakıt, kurumda çalışanların iş ile alakalı seyahatlerine (uçak, deniz, kara taşımacılığı) bağlı oluşan tüm emisyonlardır.

2.6. Çimento Sanayinde Karbon Ayak İzi Çalışmaları

2019 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada çimento üretimi sırasında oluşan karbon emisyonlarını değerlendirmek üzere özel bir çimento tesisinde alternatif senaryolar ile oluşan CO₂ miktarının değişimi değerlendirilmiştir. Karbon ayak izi hesaplamasında IPCC metodolojisi Kapsam 1 yönteminin kullanıldığı çalışmada literatürde bildirildiği üzere klinker üretiminin çimento üretiminde oluşan toplam emisyon miktarının yaklaşık %65’ini oluşturduğu teyit edilmiştir. Buna göre 2017 ve 2018 yılında ton başı klinker üretimi için sırasıyla 860 kg ve 838 kg CO₂ dir (Şahin, 2019).

Güler (2018) tarafından yapılan çalışmada 2 farklı senaryo incelenmiştir. Senaryo-1, Türkiye’de çimento üretimi yapan bir tesiste modernizasyon çalışmaları

yapılmayıp mevcut şartlar korunarak üretim yapıldığı varsayılarak oluşturulmuştur. Senaryo-2’de ise gerekli tüm modernizasyon çalışmalarının yapıldığı, çimento ve kireç üretiminde mevcut en iyi tekniklerin uygulandığı ve klinker üretiminin normal artış seyri varsayılarak oluşturulmuştur. Senaryo-1 için 2020 yılında toplam CO₂ emisyonu; klinkerden kaynaklı 43.238 milyon ton CO₂e/yıl, yakıt tüketiminden kaynaklı 24.784 milyon ton CO₂e/yıl, elektrik üretiminden kaynaklanan emisyon miktarı ise 7.491 milyon ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Senaryo-1 için 2020 yılında toplam emisyon miktarı 75.51 milyon ton CO₂e/yıl’dır. Senaryo-2 için 2020 yılında klinker kaynaklı emisyon miktarı 43.238 milyon ton CO₂e/yıl, yakıt tüketimi kaynaklı emisyon miktarı 6.775 milyon ton CO₂e/yıl, elektrik tüketimi kaynaklı emisyon miktarı 4.515 milyon ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmış olup Senaryo-2 kapsamında 2020 yılı için toplam emisyon miktarı 54.52 milyon ton CO₂e/yıl dır. Bu çalışma mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasına bağlı olarak emisyon miktarlarının %38,5 oranında azalabileceğini göstermiştir.

Malezya’da yapılan bir incelemede çimento imalat endüstrilerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için farklı teknikler gözden geçirilmiş ve sunulmuştur. Bu teknikler; CO₂ emisyonlarını belirleme, klinker üretiminde kullanılan katkı maddelerini değiştirerek klinker/çimento oranını düşürme ve fosil yakıtlar yerine alternatif yakıtlar kullanma olarak değerlendirilmiştir. Bu tekniklerin dışında çimento endüstrilerinde alınan çeşitli enerji tasarruf önlemlerinin atmosfere salınan dolaylı emisyonları azaltması hedeflenmiştir. Tasarruf yöntemleri olarak; yüksek verimli motorlar, ayarlanabilir hız sürücüler, yüksek verimli sınıflandırıcılar, verimli öğütme teknolojileri, yaş prosesten kuru prosese geçiş gibi çeşitli tasarruf yöntemleri sunulmuştur (Ali ve ark., 2011).

Çimento endüstrisinde emisyonlar kalsinasyon sürecinden de kaynaklanmaktadır. Bu nedenle CO₂ emisyonlarını azaltmak için klinker üretimine özel olarak dikkat edilmesi gerekmektedir. Klinker üretiminde tasarruf yöntemleri olarak tüm fırınlarda klinker üretimi için enerji yönetimi ve proses kontrol sistemleri, fırın fanı için ayarlanabilir hız sürücüsü, uzun kuru fırınların ön ısıtıcı/ön kalsinatör fırınlarına dönüştürülmesi, döner fırınlarda ön ısıtma kademelerinin sayısının artması,

geliştirilmiş öğütme ortamı, yakıt hazırlama için valsli değirmenler gibi birçok tasarruf yöntemleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada klinkerin yerini alacak katkı maddeleri ile çimentonun karıştırılmasının, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına en dikkat çekici katkıyı sağladığı bulunmuştur. Katkılı çimentoda, klinkerin bir kısmı uçucu kül gibi katkı maddeleri ile ikame edilerek klinker/çimento oranı düşürülmüştür. Çimentoya yaklaşık %10 oranında uçucu kül eklenmesinin, yıllık CO₂ emisyonlarını önemli oranda düşürdüğü görülmüştür. İnceleme sonuçlarına göre, gözle görünür miktarda emisyonun, farklı teknikler ve tasarruf yöntemleri kullanılarak azaltılabileceği bulunmuştur (Ali ve ark., 2011).

2019 yılında yapılan bir çalışmada Çin'den kaynaklanan karbondioksit emisyonları küresel bir endişe kaynağı olarak görülmüş ve Çin'in dünyadaki en büyük çimento üreticisi ve CO₂ yayıcısı olduğu savunulmuştur (Wei ve Cen, 2019a). Bu nedenle incelemede 1949-2050 dönemi için teknolojik gelişme perspektifinden, gerçek ve öngörülen CO₂ emisyon faktörüne dayalı olarak modelleme yapılmıştır. Çalışma 3 zaman dilimine ayrılarak (1949–1979, 1980–2015 ve 2016–2050) oluşturulan bir model ile çimento üretim süreçleri analiz edilmiş ve CO₂ emisyonları hesaplanmıştır. Model, Çin'in çimentoyla ilgili CO₂ emisyonlarının (kapsamlı çimento CO₂ emisyon faktörleri, proses türü ve içeriği, yanma, elektrik ve ulaşım ile ilgili emisyonlar dahil) miktarını tahmin etmiştir. Çalışma Çin'in CO₂ emisyon azaltımı için teknolojik yenilik ve iyileştirmelerin yanı sıra alternatif hammaddelerin ve alternatif yakıtların kullanımının bu süreçte büyük etkisi olacağını vurgulamıştır. Bu model ile Çin'in kapsamlı çimento CO₂ emisyonlarının, 1949'da ton çimento başına yaklaşık 1694,31 kg CO₂ olduğu ve 2015 yılında 737,01 kg CO₂'ye düştüğü bulunmuştur. Çin'in çimento CO₂ emisyonları 1949'da yaklaşık 1,12 Mt iken 2015'te 1730,50 Mt'a yükselmiştir (Wei ve Cen, 2019a). Bu dönemde Çin'in çimento üretimi 3558 kat artmıştır. Bu artış, artan çimento üretiminin dolayısıyla artan çimento CO₂ emisyonlarının ana itici gücü olduğunu göstermiştir. Ancak Çin'in aldığı önlemler çimento endüstrisindeki artan CO₂ emisyonlarını kısmen dengelemiştir. Bu nedenle Çin, çimento üretimini kontrol ederek CO₂ emisyonlarını azaltırken aynı zamanda CO₂ emisyonlarını birlikte azaltmak için alternatif hammadde ve yakıtların kullanılması, çimento nakliye mesafesi ve ulaşım iyileştirmeleri, binaların hizmet

ömrü, elektrik kullanımları, kuvvetli karbon ticaret piyasası gibi diğer önlemleri de uygulamaktadır.

Çin'de yapılan başka bir çalışmada Çin'in ve küresel ve insan kaynaklı CO₂ emisyonlarına yaklaşık %8 katkıda bulunduğu belirtilmiştir. 2011 yılında Çin, 2,085 Gt çimento üretmiştir. Bu çalışmada doğrudan çimento üretimi; çimento üretim süreci, çimento üretimi saf CO₂ emisyonu, çimento yaşam döngüsü emisyonu değerlendirilmiştir (Shen ve ark., 2015). Çimento CO₂ emisyonlarının tahmini, hammadde ocağından beton yapının yıkıldığı noktaya kadar tüm çimento yaşam döngüsü boyunca emisyonları içermektedir. İncelemede Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yöntemi, Çin'in çimento endüstrisi CO₂ emisyonlarını kapsamlı bir şekilde tahmin etmek için kullanılmıştır. 2011 yılında, Çin'in doğrudan CO₂ emisyon faktörü ve üretilen CO₂ emisyon faktörü sırasıyla 0,4778 t/t ve 0,5450 t/t olarak ifade edilmiştir. Yaşam döngüsü sonuçlarına göre çimento endüstrisinin karbon emisyonu ve çimento endüstrisinin saf karbon emisyonu sırasıyla 0,8553 ve 0,6386 Gt'dir. İncelemede altı karbon emisyon kaynağının payı hesaplanmıştır. Eski tesislerin kapatılması ve atık ısının geri kazanımının iyileştirilmesine yönelik politikalar, kamu, endüstriyel ve teknolojik politikalar aracılığıyla çimento endüstrisinden kaynaklanan karbon emisyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. Dünyanın en büyük çimento üreticisi ve tüketicisi olarak Çin'e, çimento endüstrisinin karbon emisyonunu azaltmak için bütüncül bir yaklaşım önerilmektedir.

İnceleme sonucunda çimento endüstrisinde düşük karbonlu emisyon için daha az inşaat, daha az beton yapı, daha az çimento beton, daha az klinker katkılı çimento, daha az karbon emisyonlu klinker, alternatif çimentolu malzemeler olmak üzere 6 strateji belirlenmiştir. Tüm bu stratejiler ile Çin CO₂ emisyonlarını 1995 yılına göre 0,308 t ve 2005 yılına göre 0,113 t azaltmıştır. Çin'in 2009'dan 2011'e kadar çimento üretimi %26,5 artmış, ancak CO₂ emisyonu neredeyse değişmemiştir. Çimento endüstrisinin karbon emisyonunu azaltmak için kamu temelli, teknoloji ve ekipman seviyesi ve yenilikçi çimentolu malzemeler de dahil olmak üzere bütüncül bir yaklaşım ile çimento endüstrisinin çevre dostu bir endüstriye dönüşeceği ifade edilmiştir (Shen ve ark., 2015).

2018 yılında Çin'in çimento endüstrisi için, kuru proses tekniği uygulaması ile optimize edilmiş akıllı algoritmayı entegre eden enerji ile karbon emisyonlarına ilişkin beklentiyi inceleyen bir çalışma yapılmıştır (Li ve Gao, 2018). Bu incelemede Çin'in çimento endüstrisinden kaynaklanan karbon emisyonlarına odaklanılmıştır. Çalışmada küresel iklim değişikliğinin önemli bir çevre sorunu olduğu vurgulanmıştır. İklim değişikliğinin de en önemli tetikleyicisi olarak aşırı karbon emisyonları gösterilmiştir. Doğrusal olmayan işlevlerle başa çıkma konusunda güçlü bir yeteneğe sahip bir BP sinir ağı modeli geliştirilmiştir. IPSO-BP modeli yüksek doğruluk, kısa süre ve yerel minimum değerlere düşme avantajlarına sahiptir. Teknoloji kombinasyonunun farklı oranlarına göre, çimento endüstrisindeki karbon emisyonlarının en yüksek değerdeki durumunu tahmin etmek için 44 senaryo oluşturulmuştur.

Model, Çin çimento endüstrisinin yalnızca kapasite azaltma planlarını ve ikinci nesil yeni kuru çimento teknolojisi sistemlerini uyguladığını ve böylece karbon emisyonlarının 2030'dan önce zirveye ulaşabileceğini göstermiştir. En düşük karbon emisyonları teknik kombinasyonuna göre, Çin'in çimento endüstrisi karbon emisyonlarının 2025'te 742,37 Mt ile zirve yapacağı vurgulanmıştır. Çalışma ile, 2020'den önce ikinci nesil yeni kuru çimento teknolojisi sistemlerinin uygulanmasının vazgeçilmez olduğu kanıtlanmıştır. Kömür tüketiminin azaltılmasının karbon emisyonlarının azaltılmasında kilit bir rol oynayacağı ifade edilmiştir (Li ve Gao, 2018).

Çin'in 2001–2030 dönemindeki ekonomik ve sosyal gelişimine dayalı olarak çimento endüstrisinden kaynaklı CO₂ emisyonlarını değerlendiren bir rapora göre çimento endüstrisi, insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının %5-8'ini oluşturan büyük bir karbondioksit (CO₂) yayıcısıdır. Çin dünyanın en büyük gelişmekte olan ülkesi olmakla beraber hızlı şehirleşme oranı, ekonomik büyüme ve endüstrinin hızlı gelişimi ile çimento üretimi her geçen yıl artmakta ve dolayısıyla CO₂ emisyonları yıldan yıla artmaktadır (Wei ve Cen, 2019b).

Bununla birlikte, ÷lke d÷zeyinde imento ÷retim durumları, hızlı ekonomik b÷y÷me ve kentleŒme oranına dayalı olarak imento ÷retiminin ve/veya talebinin artmasında etkili olmuŒtur. Bu alıŒma, 2001–2015 d÷neminde Çin'in imento ÷retiminin ve CO₂ emisyonlarının özelliklerini, alternatif malzemelerin yayılmasına ve 2030'a yönelik teknik yeniliklere dayalı olarak öngör÷len imento CO₂ emisyon senaryolarını özetlemiŒtir. Çimento ÷retiminin yıldan yıla artmasıyla CO₂ emisyonları da artmaktadır. Fakat klinker ve imento-CO₂ emisyon faktörleri (EF'ler) teknik yeniliklerle birlikte her yıl düşmektedir. Farklı araŒtırmalardan elde edilen CO₂ emisyonları arasındaki tutarsızlıklar yıldan yıla artmakta olup CO₂ emisyonlarındaki en büyük fark 2015'te %49'a ulaşmıştır. Çimento CO₂ emisyonlarının hesaplanması için aktif emisyon faktörleri önerilmiştir (Wei ve Cen, 2019b).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Üretim Süreçleri

3.1.1. Çimento faaliyetleri

Çimento sektöründe hammadde olarak kullanılan kalker taşı çoğunlukla o fabrikaya ait ruhsatlı taş ocaklarından elde edilmektedir. Bir çimento fabrikası kurulmadan önce kurulacak yerde bölge tespiti, jeolojik araştırma yapılmakta ve özellikle kalker rezervi olup olmadığı tespit edilmektedir. Jeolojik araştırma yapıldıktan sonra arazi özelliklerine göre seçim yapılmaktadır. Eğer gerekli koşullar sağlanıyorsa yani kalker rezervi istenilen seviyede ise taş ocağı yeri ve aynası seçilerek ocak işlerinin bitirilmesinden sonra çimento fabrikası kurulmaktadır. Bir çimento fabrikası kurulurken rezerv alınacak ocağın, fabrikanın 20-25 yıllık hammadde ihtiyacını karşılayacağından emin olunması gerekmektedir. Bu ocaklar içerdikleri madde cinsine göre isimlendirilirler. Bu ocaklarda sökme, ripperleme, delme-patlatma gibi konvansiyonel madencilik faaliyetleri ile hammadde hazırlanması mümkündür (Pekin, 2010).

Sökme, sökücü iş makineleri ile patlayıcı madde kullanılmadan direkt olarak aynadan yapılan işlemdir ve oldukça pratik bir uygulamadır. Ancak bu işlem için kayaç yapısının çatlak, fay gibi düzlem zayıfları içermesi ya da kırılgen damarlı kristal yapısına sahip olması gerekmektedir. Bir kayanın söküme elverişli olup olmadığının tayini genellikle refraksiyon sismograf metodu ile yapılır. Bu yöntemle kayacın birden çok özelliği (kayaç yapısı, sertliği gibi) saptanabilmektedir (Kahraman, 1997).

Madencilik ile hammadde hazırlamada kullanılan diğer bir yöntem de ripерleme işlemidir. Güçlü dozerlerin çelik ripерleri ile gerçekleştirilen bu işlem, özellikle kalker, marn ve kil gibi malzemeler için maliyeti düşük bir metottur. Ripерlemenin teknik olarak kayacın mekanik olarak kazılması anlamına gelmektedir. Dozer vasıtasıyla yapılan bu işlem için kayacın ripерlenebilirliği oldukça önemlidir. Bir maden ya da kayacın ripерlenebilirliği kayaç tipi, kayaç yapısı, zemin tane boyutu, kayaç mukavemeti ve bozuşma derecesi gibi faktörlere bağlıdır.

Çimento üretimi için gerekli hammaddeyi sağlamak için uygulanan diğer bir yöntem de delme patlatmadır. Kaya yapılarını delme işlemi mekanik, termik, hidrolik, sonik ve kimyasal olarak gerçekleştirilir. Bu sistemler arasında günümüzde en çok kullanılan yöntem mekanik yöntemdir. Patlatma ise açık ocak işletmeciliğinde malzeme çıkartmak için kaya kütlelerinin parçalanma prosesidir.

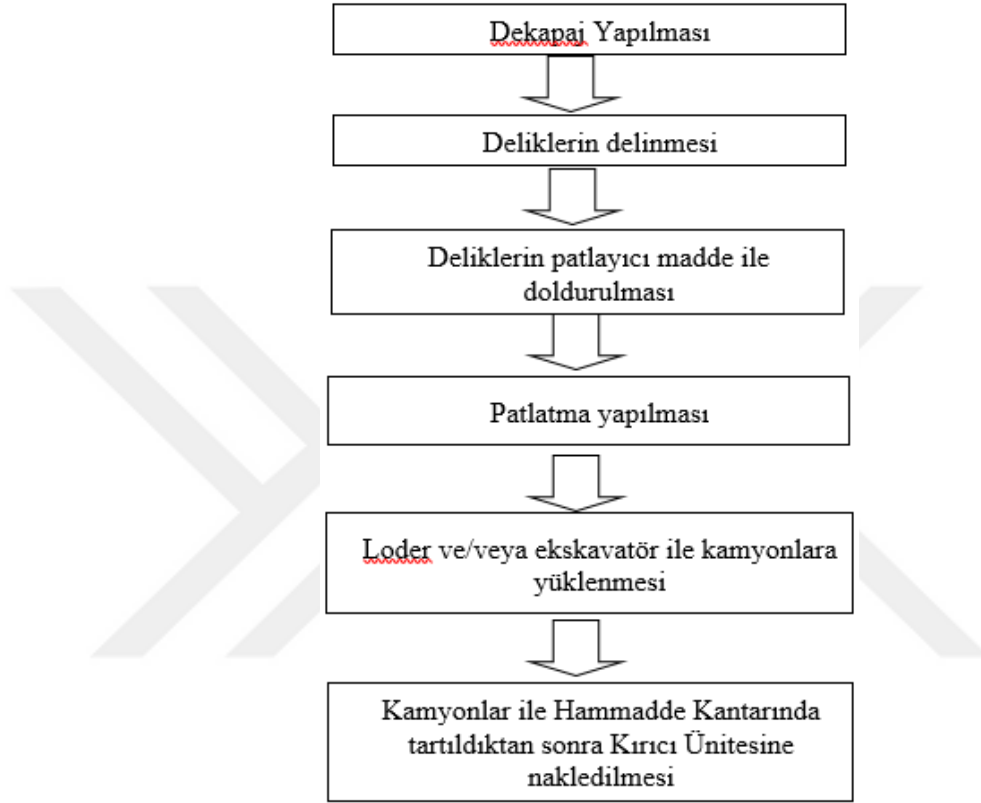
3.1.2. Hammadde hazırlama

Çalışmada faaliyetleri değerlendirilecek olan firmanın çimento üretiminde hammadde olarak malzemeler kalker ve kildir. Kimyasal bileşimi açısından en az %90 CaCO₃'a sahip kayaçlara kalker ya da kireçtaşı denilmektedir. Kalker mineralojik olarak incelendiğinde saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluştuğu görülmektedir. Kalsit ve aragonit; kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şeklidir ve teorik olarak %56 CaO ve %44 CO₂ içermektedir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmamaktadır.

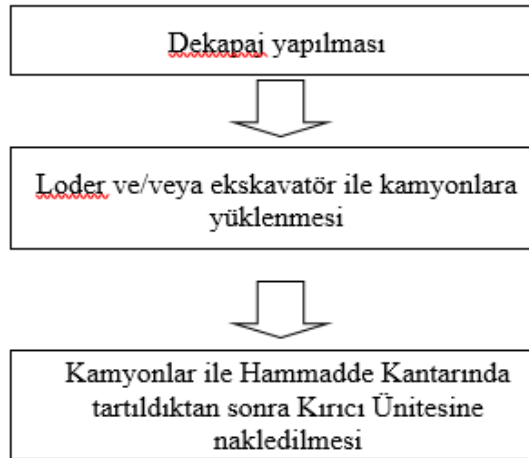
Killer, silikat minerali olup, özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar. Bu özelliklerden en önemlisi kristal yapıda olmalarıdır. Saf olmayan alüminyuma, kalsiyum ve demir silikat, saf şekline ise kaolin denilmektedir. Kil partikülleri sadece mikroskop altında incelenebilir yani çıplak gözle görünmeleri mümkün değildir. Boyları genelde 1.10⁻⁵ mm'den daha azdır. Killerin erime noktası 1150 °C – 1875 °C arasındadır.

Söz konusu firmanın hammadde sahalarında, basamaklı açık ocak işletme yöntemi ile üretim gerçekleştirilmektedir. Sahada delme-patlatma ile üretimi yapılan

hammadde, loader ve ekskavatör ile kamyonlara yüklenip fabrika sahasında bulunan kırıcılara nakledilmektedir. Hammaddenin ocaktan çıkarılmasında ve hazırlanmasında izlenen proses özetleri kalker ve kil için sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Seçilen fabrikanın hammadde ocağı (kalker) iş akım şeması



Şekil 3.2. Seçilen fabrikanın hammadde ocağı (kil) iş akım şeması

3.1.3. Farin üretimi

Belirli kimyasal özelliklere sahip kalker, kil, demir cevheri, v.b. gibi malzeme öğütülerek ince bir toz haline getirilmektedir. Bu toza 'farin' adı verilmektedir. İyi bir klinker elde edebilmek için farinin homojenize edilerek silolara aktarılması ve buralarda saklanması gerekmektedir. Bu farin pişirme işlemi için silolardan ön ısıtıcıya beslenmektedir.

Seçilen firmanın çimento üretim prosesinde kullanılan hammaddelerinin yapısında; demir (Fe), alüminyum (Al), silisyum (Si), kalsiyum (Ca) gibi çeşitli elementler yer almaktadır. Firmanın farin üretimi için kullandığı iş akışı 6 aşamadan oluşmakta olup her bir aşamada gerçekleşen işlemler aşağıda kısaca özetlenmiştir. Ayrıca bu üniteye ait iş akım şeması da Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Ocak işletmeciliği faaliyetleri sonucunda tesiste hammadde olarak kullanılan kalker ve kil stoklanmadan kamyonlar vasıtası ile kırıcı 1 ünitesine getirilerek kırılmaktadır.

Katkı Girişi: Katkı kırıcıda (Kırıcı 2) ise çimento katkı malzemeleri olan, tras kalker, alçı taşı ve bazen de şartlara bağlı olarak cüruf ve klinker kırılmaktadır.

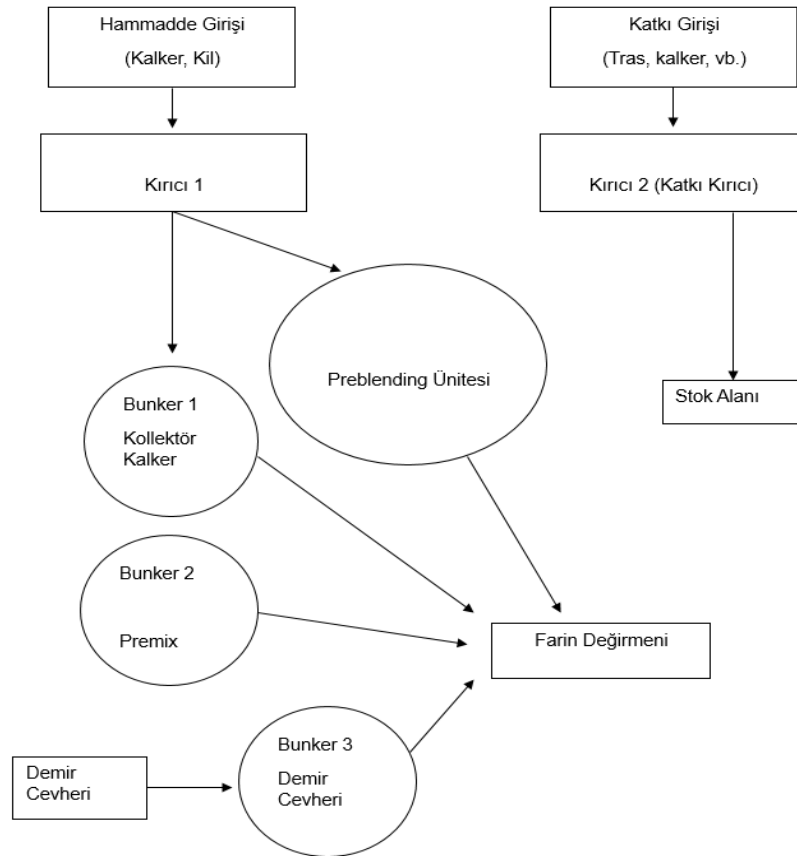
Kırıcı 1: Hammadde ocaklarından kamyonlar vasıtası ile getirilen hammaddeler kalker ve kil bunkerlerine dökülmektedir. Kırıcı 1 ünitesinin kapasitesi 1.100 ton/h'tir. Hammadde kırıcı çarpmalı (impact crusher)'dir. 50 cm boyutunda kırıcıya giren hammadde yaklaşık 50 mm boyutuna ufalanarak kırıcıyı terk etmektedir. Hammadde kırıcıda kalker ve kil birlikte kırılıp, farin değirmeni için premix üretilmektedir. Premix Bunker 2 de stoklanmaktadır. Bunker 1 de ise yine farin değirmenine beslenen kalker stoklanmaktadır.

Kırıcı 2: Katkı kırıcıda ise çimento katkı malzemeleri olan, tras kalker, alçı taşı ve bazen de şartlara bağlı olarak cüruf ve klinker kırılmaktadır. Katkı kırıcı ise 350 ton/h kapasitelidir. Katkı kırıcı ise çift rotorlu çekiçli kırıcı şeklindedir. Katkı kırıcıda kırılan, yukarıda belirtilen katkı malzemeleri ise lastik bantlarla taşınarak stokholde tanımlanmış alanlarda belirli oranlarda depolanmakta, gezervinç yardımı ile

bunkerlere boşaltılıp, tartı sistemi ile dozajlanarak çimento değirmenlerine beslenmektedir.

Ön Homojenizasyon (Preblending) Ünitesi: Hammadde kırıcıda kırılan hammaddeler konveyör bantlarla preblending (ön karıştırma) ünitesine nakledilerek stacker bantı yardımıyla homojenize edilmek üzere stoklanmaktadır. Preblending ünitesine sevkedilen ve yığın haline getirilen hammadde, tırmık ve reclaimers yardımı ile ön homojenizasyon yapılarak farin değirmenlerine nakledilmektedir.

Bunker 3: Klinker üretiminde bir miktar demir kaynağına ihtiyaç duyulduğundan dışarıdan temin edilen demir cevheri bunker 3'te stoklanarak farin değirmenine beslenmektedir.



Şekil 3.3. Kırıcılar, ön homojenizasyon (Preblending) ünitesi iş akım şeması

3.1.4. Klinker üretimi

Çimento üretiminde oluşan pişmiş kil ve kalkerin bileşiminden oluşan iri taneli yapıya klinker denilmektedir. Çimentonun bir önceki hali olarak da adlandırılmaktadır. Klinker, yaklaşık 1500°C’de kalker ve kilin sıvı hale gelene kadar ısıtılması ve nihayetinde birleştirilmesi sonucunda meydana gelmektedir. Kildeki bağlı suyun uzaklaştırılması ile kalsiyum ve magnezyum karbonatların bozulması ve pişirilmesi için 3 ayrı işleme ihtiyaç vardır.

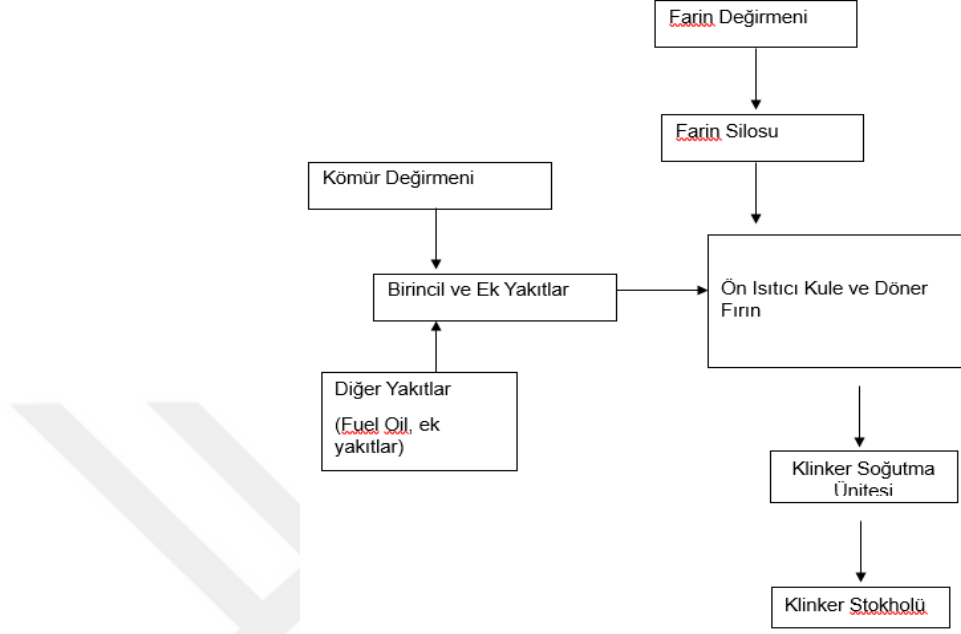
1000°C'ye kadar olan birinci kısımda tüm alüminyum oksit kireçle birleşerek monokalsiyum alüminatı ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) meydana getirmektedir. Öte yandan silis ile reaksiyona girerek dikalsiyum silikat ($2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) haline geçmektedir. Klinker bileşiklerinin oluşmaya başladığı bu ilk safhada dikalsiyum silikat konsantrasyonu oldukça düşüktür.

Üretimin ikinci basamağında karışım, 1200°C ile 1300°C arasında ısıtılırken ilk safhada oluşan $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ kireçle doyurularak trikalsiyum alüminat ($3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) meydana gelmektedir. Aynı anda kalsiyum oksitin bir kısmı, demir oksitle birleşerek dikalsiyum ferrite ($2 \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) dönüştüğü gibi daha karışık bir bileşik olan tetrakalsiyum alümina ferrit ($4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) bu safhada teşekkül etmektedir. Birinci kısımda başlayan $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ oluşumu bu safhada tamamlanmaktadır. Bahsedilen bütün bu reaksiyonlar hammadde karışımının kimyasal terkibine bağlı olarak yaklaşık 1300 °C'nin altında ve umumiyetle katı fazda cereyan etmektedir.

Son yani üçüncü basamakta ise malzeme 1300°C’den daha yüksek sıcaklıktaki ortama girmektedir. Bu sıcaklıkta karışımın bir kısmı sıvı halde olup bu durum $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ bir dereceye kadar serbest kireçle birleşerek trikalsiyum silikatu ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) meydana getirilmesini sağlamaktadır.

Fabrikada 1 adet kömür değirmeni, 1 adet farin değirmeni ve 1 adet klinker üretim hattı (Döner Fırın Ünitesi) bulunmaktadır. Döner fırın prekalsinasyonlu kuru sistem olup kapasitesi 4.535 ton/gün’dür. Firmanın klinker üretimi için kullandığı iş akışı 7

aşamadan oluşmakta olup her bir aşamada gerçekleşen işlemler aşağıda kısaca özetlenmiştir. Ayrıca bu üniteye ait iş akım şeması da Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kömür değirmeni, farin değirmeni ve döner fırın ünitesi iş akım şeması

Kömür Değirmeni: Fırında yakıt olarak kullanılan petrokok ve linyit, kömür değirmeni besleme çelik bantları vasıtası ile yaş kömür bunkerine ve oradan da valsli dik değirmen olan kömür değirmenine beslenmektedir. Kömür değirmeni kuru kapasitesi 25 ton/saat'tir. Burada öğütülen kömür, öğütüldükten sonra döner fırın ve ön ısıtıcı yanma sistemlerine beslenmektedir.

Farin Değirmeni. Belirli kimyasal kompozisyona sahip kalker öğütülerek ince bir toz haline getirilmektedir. Bu toz “farin” olarak adlandırılmaktadır. İyi bir klinker elde edilebilmesi için farin homojenize edilerek silolarda stoklanmaktadır. Kırıcılarda kırılarak preblending ünitesinde ön homojenizasyona tabi tutulan hammadde, hammadde (premix) bunkerinden farin değirmenlerine beslenmektedir. Fabrikada 1 adet valsli dik değirmen mevcuttur. Premix haricinde demir cevheri ve ayarlayıcı kalker de bunkerlerden ayrı ayrı dozajlanarak tek bantla farin değirmenine beslenmektedir.

Farin Silosu: Farin değirmeninde öğütülen farin, döner fırınlara beslenmeden önce farin stok ve homojene silosuna sevk edilmektedir.

Kalsinatör, Ön Isıtıcı Kule ve Döner Fırın Ünitesi: Stok silosundaki farin, klinker üretim hattının ön ısıtıcı siklonlarına beslenmekte ve buradan döner fırın içerisine alınmaktadır. Ön ısıtıcı kulesi 4 kademe siklon ve yanma odasından oluşmaktadır. Bu ünite farini, sıcak fırın gazları ile ısıtarak pişirme tepkimelerine hazırlayarak kısmi kalsinasyon sağlamaktadır. Döner fırın ünitesi klinker üretiminin en önemli safhasıdır. Klinker üretimi için gerekli ısının uygulandığı ve gerekli reaksiyonların başlatıldığı yerdir. Döner fırına kömür beslemesi; ana brülör vasıtası ile döner fırın çıkışından ve 2. kule ön ısıtıcı kulede bulunan kalsinatörden olmak üzere iki bölgeden yapılmaktadır. Döner fırın ünitesinde klinkerleşme faaliyetleri gerçekleşerek yarı mamul denilen klinker oluşmaktadır. Çok sayıda çimento fabrikasında kullanıldığı gibi ön ısıtıcı ve döner fırın arasında sekonder yanmalı bir kalsinatör monte edilmiştir. Kalsinatörün optimizasyonu ve pişmenin önlenmesi için fırının egzoz gazında bulunan proses gazı bileşenleri sürekli olarak denetlenmektedir. Tesisin durumuna göre ölçme noktası, kalsinatörün çıkışı ve ön ısıtıcının çıkışı arasında bu amaç için uygun bir yerde bulunmaktadır.

Klinker Soğutma Ünitesi: Fırın içerisinde meydana gelen klinkerleşme reaksiyonları neticesinde oluşan ürün (klinker), klinker soğutma ünitesine dökülerek hava marifeti ile soğutularak stokhole sevk edilmektedir.

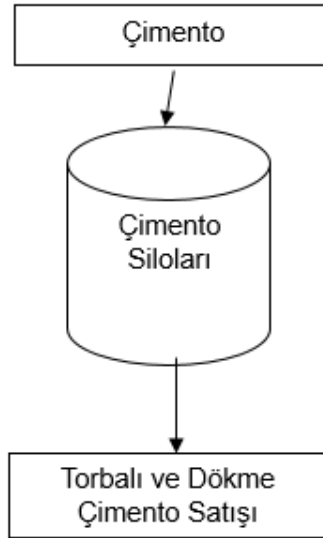
Klinker Stokholü: Döner Fırın Ünitesinden çıkan klinker (yarı mamul) klinker stokholünde çimento değirmenlerine beslemek üzere bekletilmektedir.

Atıkların Beraber Yakılması: Atıkların Beraber yakılması faaliyeti döner fırın ünitesinde yapılmaktadır. Atıktan Türetilen Yakıt (ATY) Hazırlama Ünitesinden gelen ek yakıtlar kalsinatör sistemine otomatik olarak beslenerek beraber yakılmaktadır. Atıklar sisteme el değmeden beslenmekte ve tam otomatik olarak kumanda odasından kontrol edilerek çalışmaktadır.

3.1.5. Paketleme

Paketleme ünitesinde çimento değirmenlerinde üretilen çimento stoklanarak piyasaya arz edilmektedir. Çimento değirmenlerinde öğütülen malzeme çimento tipine göre ayrı ayrı silolara nakledilerek stoklanmaktadır. Çimento silolarında stoklanan malzeme torbalı ve dökme olarak piyasaya arz edilmektedir. Paketleme ünitesi tamamen otomasyon sistemi ile yönetilmekte olup otomatik yükleme sistemleri bulunmaktadır.

Fabrikada toplam 1335 ton/h yükleme kapasiteli, 2 adet paketleme ünitesi bulunmaktadır. Paketleme ünitesinde çimento silolarında bulunan ürünler çimento talebine göre havalı bant yolu ile elevatöre, oradan da paketleme kantarlarına beslenerek torbalanmakta ve lastik bantlarla yükleme peronlarındaki kamyonlara yüklenmektedir. Ayrıca, havalı bant yolu ile açık dolumlara beslenerek yükleme peronlarındaki silobaslara yükleme yapılmaktadır. Yüklenecek olan çimentonun cinsine göre araç, yükleme bandı altına alınmakta ve uygun silodan çimento yüklemesi yapılmaktadır. Araç yüklemesi tamamlandıktan sonra kantarda tartılarak çıkışı verilmektedir. Paketleme ünitelerinden oluşan tesislere ait iki ara prosesin açıklamaları aşağıda verilmiş olup iş akım şeması Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Seçilen fabrikanın paketleme ünitesi iş akım şeması

Çimento değirmenlerinde ürün tipine göre üretilmiş olan çimento yine ürün tipine göre farklı silolarda depolanmaktadır. Toplam 10 adet çimento silosu bulunmaktadır. Çimento silolarında stoklanan malzeme torbalı veya dökme olarak piyasaya arz edilmektedir. Sistem tamamen otomasyon kontrol sistemli olup insan eli değmeden dolun yapılmaktadır.

3.2. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Enerji Kullanımı ve Emisyonlar

Çimento üretimi Türkiye’de emisyonların %7,2’sini oluşturmaktadır. Ülkemizde kentsel dönüşümün artması, altyapı projelerinin iyileştirilmesi çimento sektörünün büyümesinde önemli rol oynamaktadır. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere 2017 yılı itibari ile Türkiye’de toplam 72 adet çimento tesisi bulunmaktadır. Bunların 54’ü entegre tesis, 1’i öğütme tesisidir (TCMA, 2018).



Şekil 3.6. Türkiye’deki çimento tesisleri

Çimento üretim aşamalarında CO₂ oluşumuna klinker üretimi yüksek oranda sebep olmakta, klinker üretimi aşamalarında karbonat içerikli hammaddelerin yüksek ısı ile

yakılması sonucu CO₂ oluşmaktadır. Buna istinaden örnek bir çimento tesisi seçilmiş olup yakıt ve üretim prosesleri kaynaklı sera gazı salınımları hesaplanmıştır.

Çimento sektöründe, üretim prosesleri sonucu gürültü ve hava emisyonlarına ek olarak atıkların kullanılması sonucu koku problemi de ortaya çıkmaktadır. Bu atık hammaddelerin ve yakıtların tesise getirilmesi, depolanması, kullanımından kaynaklanan hava kirletici emisyonların türlerinin bilinmesi emisyonların azaltımında önemli bir yol göstericidir. Çimento üretimi sırasında hava kirletici maddeler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Uluslararası iklim değişikliği paneli emisyon listesi (Bernstein ve ark., 2007; TB, 2021)

Emisyon Türü	Kısaltması
Azot oksitler ve diğer azot bileşikleri	NO _x
Kükürt dioksit ve diğer kükürt bileşikleri	SO _x
Toz	PM
Toplam organik bileşikler ve uçucu organik bileşikler	TOC ve VOC
Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar	PCDD ve PCDF
Metaller ve bileşikleri	-
Hidrojen florür	HF
Hidrojen klorür	HCl
Karbon monoksit	CO

Çimento sektörü, sanayinin gelişmesi ve sektörde yüksek istihdam sağlaması sebebi ile sanayinin en önemli yapı taşlarından biri olmuştur. Türkiye’de çimento sanayi hammaddesini tamamen yerli kaynaklarından kullanarak bu taleplerini karşılamaktadır.

Çimento elde edilmesi için sürdürülen proseslerde geneli üretim sırasında olmak üzere farklı türde hava ve gürültü emisyonları oluşumu söz konusudur. Bu emisyonlar hem çevre hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan çevresel kirleticilerdir. Çimento üretimi sırasında oluşan emisyonlara ek olarak üretimde alternatif atık ve yakıtların kullanıldığı durumlarda, bu atık ve yakıtların depolanması ve taşınması gibi işlemler ile de arzu edilmeyen koku ortaya çıkmaktadır.

Çimento üretimi her ne kadar konvansiyonel prosesler içeriyor olsa da üretimde tercih edilen teknolojiler ikame edilebilir oldukları için oluşan emisyonlarda da değişimler olması muhtemeldir. Bu bağlamda literatürdeki çalışmalar ve Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) emisyon sınır değerleri incelendiğinde dikkate alınması gereken temel hava kirletici maddeleri tablodaki gibi özetlenmektedir. Bu tabloda yer alan emisyon türlerine alternatif yakıt ve atık kullanımı sonrası oluşması muhtemel durumlar da dahil edilmiştir.

Tablo 3.1’de verilen emisyon listesi incelendiğinde listede adı geçmeyen karbondioksitin (CO₂) çimento üretimi ile ilgisi olmadığı sonucu ortaya çıkıyor olsa da esasen CO₂ tüm emisyonlar arasında sınır değerine bakılmaksızın en önemli emisyonların başında gelmektedir. Öyle ki uluslararası iklim değişikliği azaltım planlamaları CO₂ emisyonları ve emisyon ticareti planı üzerine inşa edilmektedir.

Çimento üretimindeki en önemli emisyonlar fırın sisteminden kaynaklanan hava kirletici emisyonlardır. Bu kirleticiler genellikle hammaddeler ve yakıtların yanma reaksiyonları sonucu doğrudan oluşan yani birinci tip kirletici olarak ya da çeşitli fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucu türetilmiş yani ikinci tip kirletici olarak ortaya çıkmaktadır.

3.2.1. Toz (Partikül madde)

Çimento imalatında özellikle fırın bacalarından çıkan emisyonlar, taşıma sırasında oluşan toz emisyonları en önemli emisyon kaynaklarıdır. Toz emisyonlarının kaynakları hammadde hazırlık süreci, öğütme-kurutma-piştirme prosesleri, fırınlar, değirmenler, soğutucular, yakıt hazırlama üniteleridir. Ayrıca çimento üretiminde kullanılan yan proseslerde atık kullanımından bağımsız olmak üzere toz emisyonlarına yol açmaktadır. Bunlar;

- Hammaddelerin kırılması,
- Hammadde konveyörleri ve elevatörleri,
- Hammadde ve çimento depolama,

- Hammadde, çimento ve kömür öğütme değirmenleri,
- Yakıtların (petrokok, taş kömürü, linyit) depolanması, ve
- Çimento sevkiyatı (yükleme) dır.

Kırma-öğütme-sarfıyat aşamalarında ekipmanların üzeri torbalı filtrelerle kapatılmaktadır. Toz emisyonlarının olabildiğince düşürülebilmesi için modern elektrostatik çökelticiler ve 2 torbalı filtreler kullanılmaktadır. Tüm bunların tasarımı ve güvenilirliği bu toz emisyonlarının düşürülmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.2.2. Azot oksitler

Klinker pişirme prosesi, hava kirliliği açısından önemli bir role sahip olan azot oksitlerin (NO_x) oluşumuna sebep olan yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen bir prosestir. Çimento üretimi sırasında NO_x oluşumuna sebep olan 2 ana kaynak bulunmaktadır.

Termal NO_x, yanma havasında azotun bir bölümünün azot oksitlerini oluşturmak için oksijenle reaksiyona girmesi ile oluşmaktadır. Fırın alevinin içerisinde azot oksit oluşumunun temelidir. Yakıt NO_x, yakıtta bulunan azot oksitlerin azot bileşenlerini oluşturmak için havadaki oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır.

Atık yakıtların su içeriği yüksekse veya daha fazla oksijene ihtiyacı varsa birincil ateşlemede NO_x düşük olabilmekte, iri taneli yakıt azaltma bölgesi oluşturmuş ise ikincil ateşleme sırasında NO_x düşük olabilmektedir. NO_x emisyonları kullanılan fırın türlerine ve proseslerine bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık ve oksijen içeriğinin yanı sıra (hava fazlalık faktörü), NO_x oluşumu, alevin şekli, yanma odası geometrisi, yakıtın reaktivitesi ve azot içeriği, nem miktarı, mevcut olan reaksiyon zamanı ve brülör tasarımına göre farklılık göstermektedir.

3.2.3. Kükürt dioksit

Çimento üretim proseslerinden kaynaklanan SO₂ salınımları toplamdaki kükürt bileşikleri girdisine ve kullanılan proses tipine bağlı olup, ilk olarak hammadde içerisindeki uçucu kükürt içeriği ve kullanılan yakıtlar tarafından belirlenmektedir. SO_x üretimi ile muhtemel emisyonları ise fırın sisteminde gerçekleşen kükürt dolaşımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kükürt, egzoz gazları içindeki SO₂, klinkerin içindeki CaSO₄ ve diğer kombine bileşikler ve toz gibi fırın sistemin farklı çıktılarında salınmaktadır. Fakat kükürt içeriğinin bir bölümü klinker içine yerleşerek proses ile birlikte dışarı atılmaktadır.

Hammaddeler kendi yataklarında sülfat ya da sülfid şeklinde bağlı kükürt içerebilmektedir. Fırın sistemlerinin sinterleme bölümünde sülfatlar, mevcut olan ve lokalize olmuş indirgen koşullarda yakıt ve atıkların yanması sonucu artabilecek olan yüksek sıcaklıklarda sadece termal olarak ayrılan kararlı bileşen oluşturmaktadır. Sonuçta; sülfat şeklinde bulunan kükürt klinkerin kalitesi olması için klinker ile birlikte neredeyse tamamen fırın sisteminin dışına aktarılmaktadır. Buna karşılık sülfidler ön ısıtıcıda okside olarak kısmende olsa kükürt dioksit biçiminde salınmaktadır.

Yakıtlarla fırına girmiş olan kükürt oksidasyon sonucu SO₂ haline gelerek sinterleme bölümünün, kalsinasyon bölgesinin ve ön ısıtıcıların alt basamağının güçlü alkali doğası gereğince önemli miktarda SO₂ salınımına neden olmaz. Bu kükürt, sinterleme bölümünde kısmen sülfat ayrışmasından kaynaklı minör SO₂ konsantrasyonları ile birlikte fırın sisteminde kalsinasyon bölümüne girmektedir. Bu kalsinasyon bölümünde SO₂ diğer içeriklerin yanı sıra hammadde içeriklerinden oluşan alkali sülfatlar ve alkalilerle reaksiyona girmektedir. Kısmi olarak karbondan arınmış farinle temas ettiğinde, fazla olan SO₂ önce CaSO₃'e, daha sonra CaSO₄'e dönüşmektedir. Bahsi geçen bu sülfatlar, tekrar döner fırına girerek bu şekilde klinker vasıtasıyla dışarı aktarılan kükürt ile dengede olan kükürt döngülerini oluşturmaktadır. Ek olarak reaksiyonun verimini etkileyen faktörler olarak; sıcaklık,

nem içeriği, gaz fazdaki oksitlerin konsantrasyonları, katı yüzey alanının miktarı vb. olarak gösterilmektedir (ÇŞB, 2016).

3.2.4. Karbondioksit (CO₂)

Klinker üretiminde özgül ısı değerleri klinker kalitesi için önemli olduğu kadar kullanılan yakıtın cinside önemlidir. Buna bağlı olarak çimento mineral katkı olarak üretilmesi sebebiyle mineral başına denk gelen çimento olarak CO₂ emisyonunun azaldığı belirtilmiştir. Kullanılan yakıtın içerisinde karbonun yanması sonucu oluşan CO₂ emisyonları hem özgül ısı hem yakıtın karbon içeriği ile hem de kalorifik değerlerinin oranıyla doğrudan ilişkilidir. Tüm bu katkılar sonucu yanma kaynaklı CO₂ emisyonları azalmış olup yakıt etkinliği yüksek olan fırınlarda Son 25 yılda yaklaşık %30 azalma görölmektedir (ÇŞB, 2016).

3.2.5. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit, klinker pişirme prosesi ile oluşan karbon monoksit ve organik olarak bağlı karbon salınımlarının kaynağı doğal hammaddeler yoluyla giren küçük miktarlardaki organik bileşenlerdir. Bunlar fırın besleme malzemelerinin ön ısıtma işlemleri sırasında okside olarak CO ve CO₂'e dönüşmektedir. Bu işlemde, toplam organik karbon ve küçük miktarda organik eser gazlar oluşmaktadır. Klinker pişirme aşamasında temiz gazın CO içeriği ve içindeki organik eser gazların yanma durumu hakkında bir sonuca varılamamaktadır. İlave CO emisyonları, ikincil ateşlemede yetersiz yanma ve uygun olmayan pişirme şartlarından kaynaklı meydana gelebilmektedir. Azaltım şartlarının SO_x emisyonlarını olumlu etkilediği görölmüştür (ÇŞB, 2016).

3.2.6 Toplam organik bileşikler

Genellikle yanma prosesinde uçucu organik bileşiklerin ve karbon monoksitin oluşumu, yetersiz yanma prosesi ile ilgilidir. Çimento fırınlarında emisyonlar, kullanılan fırın cinsi, kalitesi, fırın içindeki gazların yüksek alıkoyma süresi, yüksek

ısı, alevin doğası (2000 °C) ve fazla oksijen koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ön ısıtıcılara ve kalsinatörlere beslenen farin içeriğindeki organik maddelerin ısınması ile birlikte uçucu organik madde salınımı gerçekleşmektedir (ÇŞB, 2016).

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

Poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD) ve Dibenzofuranlar (PCDF PCDD/PCDF), fırın ve proses özellikleri, yanma koşulları, besleme tipi ve operasyon emisyon kontrolünde kullanılan ekipmanlarının cinsine bağlı olarak çeşitli mekanizmalarının bir araya gelmesi sonucunda oluşmaktadır. Ayrıca organik maddelere ek olarak herhangi bir klor eklenmesi durumunda potansiyel yanma sürecinde PCDD/PCDF oluşması muhtemeldir. Hammadde içeriğinde bulunan klor ve hidrokarbon türlerinin yeterli olmaması ile birlikte PCDD/PCDF'nin, ön ısıtıcı içerisinde ya da sonrasında hava kirliliğinin kontrolü cihazında görülebilmektedir (ÇŞB, 2016).

3.2.8. Hidrojen klorür ve hidrojen florür

Küçük bileşenler olan kloridler ve floridler fırın sistemine hammadde ve/veya yakıt şeklinde giren çok düşük miktarlardaki bileşenler olarak adlandırılır. Çevre mevzuatları gereğince bu maddelerin düzenli izlenmesi gerekmektedir(ÇŞB, 2016).

3.2.9. Metaller ve bileşikleri

Yakıtların ve atıkların yapılarında metaller bulunmaktadır. Bu metaller ve bileşikleri tuzluluk oranlarına ve uçuculuk oranlarına bağlı olarak 4 kategoride incelenir. Bunlar, uçucu olmayan ateşe dayanıklı metaller (Ag, Cr, Al, Fe, Ni, Be, As, Ba, Cu, Ca, Mn, Ti), yarı uçucu metaller ve bileşikleri (Zn, Se, K, Cd, Na, Pb), Talyum, ve Civa'dır (ÇŞB, 2016).

Klinker üretimi aşamalarında pişirme esnasında metallere kaynaklı emisyonların oranı, uçuculuğa, yakıt içeriğindeki metal miktarına, prosesin türüne, ana bacanın toz toplama sisteminin çökeltme verimliliğine bağlı olarak değişmektedir.

3.3. Seçilen Bir Çimento Fabrikasında Yakıt Ve Proses Emisyon Hesapları

Bu çalışmada çimento ve klinker üretimi yapan entegre bir tesis seçilmiş olup tesisten kaynaklanan sera gazı emisyonlarını hesaplamak için 2017-2021 yıllarına ait klinker, linyit, petrokok ve fuel-oil sarfiyat miktarları talep edilmiş ve temin edilen sayısal veriler ile gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalarda IPCC'nin oluşturduğu Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin yanısıra Çimento Sürdürülebilirlik Girişiminin yapmış olduğu hesaplama aracı kullanılmış ve yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır (IPCC, 2006).

IPCC'nin (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) hazırlamış olduğu bu rehber, ülkelerin ulusal sera gazı emisyon envanterlerini eksiksiz bir şekilde oluşturmasına imkan sağlamaktadır. Bu kılavuzun amacı emisyonların güvenli bir şekilde tahmin edilmesi ve bu gazların uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Bunun yanı sıra kılavuz, daha fazla bilgi ve kaynağa sahip olan ülkelerin diğer ülkelerle yapacağı etkileşimlerde uyumluluk, tutarlılık, ülkeye özgü metodolojilerin kullanmasına da olanak sağlamaktadır.

IPCC kılavuzu yakıt tüketimi kaynaklı emisyonların hesaplanmasında "Cilt 2: Enerji" kılavuzuna yönlendirme yaparken, endüstriyel işlemlerden kaynaklanan proses emisyonları için "Cilt 3: Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı" kılavuzuna yönlendirme yapmaktadır. IPCC'nin mineral sanayi emisyonlarıyla ilgili yayınlanmış olduğu belirsizlik değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir (IPCC, 2006).

Tablo 3.2. Çimento üretiminde varsayılan belirsizlik değerleri (IPCC, 2006)

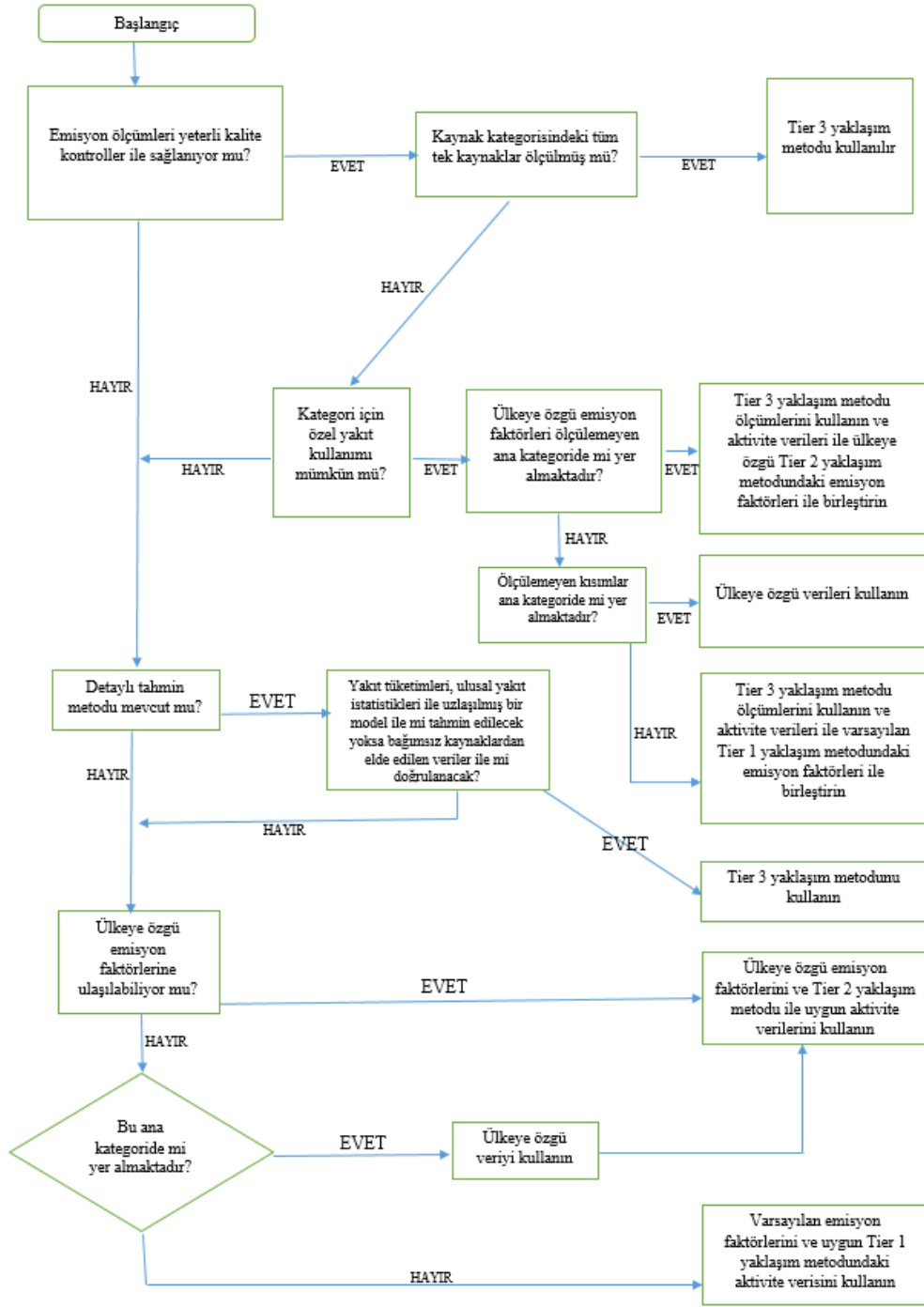
Belirsizlik (%)	Çimento Üretimi İçin Varsayılan Belirsizlik Değerleri	Hesaplama Yöntemi
% 1-2	Çimento üretimi verisinin tesis seviyesinde raporlanması	Kapsam 1
% 1-2	Klinker Üretim Miktarı	Kapsam 2
% 3-8	Klinkerin içeriğinin 65% CaO olması	Kapsam 2
% 1	CKD (tüm hammadde %100 kalsine olduğunda	Kapsam 2-3
% 1	Karbonatın %100 kalsinasyonu ile klinkere dönüşmesi	Kapsam 2-3
% 1-3	Hammaddenin ağırlığı tesis seviyesinde ölçüm yapıldığında belirsizlik	Kapsam-3
% 1-3	Karbonatın içeriği ve türü ile kimyasal analizler	Kapsam-3

Tez kapsamında 2017– 2021 yıllarını kapsayacak şekilde emisyon hesabı yapılmıştır. Hesaplamalar yakıt ve proses kaynaklı emisyonlar başlıklarında değerlendirilmiştir.

3.3.1. Yakıt emisyonlarının hesaplanması

Yakıt emisyonları için yapılacak hesaplamalarda öncelikle Şekil 3.7’deki karar ağacı kullanılmaktadır. Burada hesaplamaları yapılacak olan tesisin öncelikle ülke genelinde ‘Ana kategoride yer alıyor mu?’ sorusunun cevabının verilmesi gerekmektedir. Çimento sektörü enerji yoğun sektör olması nedeniyle, Türkiye için ana kategoride yer almaktadır. Hesapların yapılması için tesiste kullanılan yakıt miktarlarının düzenli olarak takip edilmesi ve kayıt altında tutularak raporlanması gerekmektedir. Tez kapsamında yapılacak olan hesaplamalarda, tesisten alınmış olan 2017 – 2021 yılı aralığına ait veriler kullanılarak yakıt emisyonları hesaplanmıştır.

Yakıt tüketimi sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının (SGE) hesaplanmasında her bir yakıt için yıllık sarfiyat miktarı ve o yakıt türü için belirlenmiş olan emisyon faktörü değerlerinden faydalanılmıştır. Sera gazı emisyonları her bir yakıt için bu iki değeri çarparak elde edilmiştir. Tesiste 2017-2021 yılları arasında kullanılan yakıt miktarları Tablo 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.7. Yakıt emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan yöntem seçimi için karar ağacı (Gomez ve ark., 2007)

Tablo 3.3. 2017-2021 yılları arasında kullanılan yakıt miktarları

Yakıt Türü	2017 (ton)	2018 (ton)	2019 (ton)	2020 (ton)	2021 (ton)
Linyit	28104	8855	957	19877	37931
Petro kok	107307	128041	89995	105237	78225
Fuel Oil	458	323	307	253	373
ATY	2697	12472	18819	22784	26355
ÖTL	-	-	1416	439	366
Arıtma Çamuru	-	395	1369	223	20

Kapsam 1: Kapsam 1 yöntemi en az veri gerektiren yöntemdir. Bu metot ile emisyon hesabı yapılabilmesi için, tesiste kullanılan yakıt miktarı ve IPCC kılavuzunda tanımlanmış olan “varsayılan değer” emisyon faktörü yeterli olmaktadır (Orhan, 2018).

IPCC kılavuzunda her yakıt türü için farklı emisyon faktörleri belirlenmiştir. Kullanılan yakıt türüne göre ait emisyon faktörü (kg/TJ), 2006 IPCC tarafından o yakıt için tanımlanmış varsayılan değerlerden seçilmiştir. Yakıt emisyonlarının hesaplanması Eşitlik 3.1’de gösterildiği gibi yakıtta ait emisyon faktörü (EF) ve tüketilen yakıt miktarının çarpılması ile elde edilmiştir.

$$E_{\text{yakıt}} = Y_{\text{yakıt}} \times EF_{\text{yakıt}} \quad (3.1)$$

Burada;

$E_{\text{yakıt}}$ = Verilen sera gazı emisyonunun yakıt türüne göre emisyonu (kg),

$Y_{\text{yakıt}}$ = Tüketilen yakıt miktarını (TJ) , ve

$EF_{\text{yakıt}}$ = Verilen Sera gazı emisyonunun (SGE) yakıt türüne göre varsayılan emisyon faktörünü (kg/TJ) göstermektedir.

Eşitlik 3.1’den görüleceği üzere burada çarpım için kullanılacak yakıt miktarının kütle yerine enerji cinsinden olması gerektiğinden yakıt tüketimini enerji cinsine çevirebilmek için, yakıtların net kalorifik değerleri (NKD) kullanılmıştır. Yakıtlara ait net kalorifik değerler, yine IPCC tarafından belirlenen varsayılan değerler

arasından seçilmiştir. Tesiste kullanılan yakıtlar ile ilgili IPCC kılavuzunda ulaşılabilen değerler için literatürdeki çalışmalarda kullanılan değerlere benzer kabuller yapılmıştır. Kabul edilen ve IPCC den alınan EF ve NKD değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. EF (kg/TJ) ve NKD (TJ) değerleri IPCC (2006) dan alınmıştır. Ömrünü Tamamlamış Lastikler (ÖTL) için EF değeri 85 kg CO₂/ GJ, NKD 31.5 TJ/Gg olarak alınmıştır (Eryılmaz ve Demirarslan, 2019).

Birden fazla yakıt türü kullanılan tesislerde, tüketilen yakıtlar için ayrı ayrı EF ile işlem yapılarak her yakıt türü için SGE (Sera gazı emisyonu) miktarı bulunarak tesisin yakıt emisyon miktarı tüm yakıtların emisyonlarının Eşitlik 3.2'de verildiği gibi toplanması ile elde edilmiştir.

$$ESGE = \sum \text{yakıt } E(\text{SGE}, \text{yakıt}) \quad (3.2)$$

Kapsam 2: Kapsam 2'yi Kapsam 1'den ayıran en önemli özellik ülkeye özgü emisyonların kullanılarak hesaplama yapılmasıdır. Yapılan hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine (UNFCCC) 2018 yılında yayınlamış olduğu CRF (common reporting format) tablolarından alınmıştır. CRF tabloları, UNFCCC'ye raporlama yapan tüm ülkeler için ortak bir raporlama formatıdır.

Türkiye'de emisyon faktörlerinde yakıt ayrımı sadece katı, sıvı, gaz ve diğer fosil yakıt olmak üzere ayrıldığından kullanılan yakıtların kimyasal özelliklerine göre EF değerleri seçilmektedir. Seçilmiş olan ve yıllara göre değişiklik gösteren EF değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Yakıt tüketimlerinin TJ cinsinden ifade edilmesi gerektiğinden Kapsam 1'de olduğu gibi Net Kalorifik Değerleri (NKD) seçilmiştir (IPCC 2006). Türkiye sera gazı emisyon hesaplarında IPCC kılavuzundan seçilen Net Kalorifik Değerler kullanıldığından Kapsam 1 için kullanılan NKD değerleri Kapsam 2 için de kullanılmıştır. Kapsam 2 yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamada Kapsam 1'de kullanılan Eşitlik 3.1 kullanılmıştır (IPCC 2006).

Tablo 3.4. Yakıtlar için kabul edilen değerler (IPCC,2006)

Yakıt Türü	EF (kg/TJ)			NKD (TJ/Gg)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Taş Kömürü	98300	10	1,5	26,7
Linyit	101000	10	1,5	11,9
Petrokok	97500	3	0,6	32,5
ÖTL	85000	-	-	31,5
ATY	83000	-	-	10,0
Fuel Oil	73300	30	4	40,2
(Atık yağ)				
Doğalgaz	56100	1	0,1	48,0
Dizel	74100	3	0,6	43,0

Kapsam 3: Bu hesaplamadan daha önce ele alınan Kapsam 1 ve Kapsam 2’de genel olarak kullanılan yakıtlar için ortalama bir emisyon faktörü kullanımı söz konusudur. İki yöntem de EF’ler ile elde edilen hesaplama yöntemleridir. Ancak emisyonlar aşağıda sıralanan parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunlar;

- Tercih edilen yakıt türü,
- Yanma prosesine ait teknolojisi,
- Proses ve çalışma koşulları,
- İzleme ve kontrol teknolojileri , ve
- Yakma işleminde kullanılan ekipmanın yaşıdır.

Kapsam 3 yaklaşımında ise Kapsam 1 ve Kapsam 2’den farklı olarak yanma istatistikleri üzerine farklı olasılıklar dikkate alınarak oluşması muhtemel farklılıklara bağlı olarak emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Teknolojiye bağlı değişkenler olabileceğinden bu değişkenler kullanılarak yapılan hesaplama Eşitlik 3.3 ile elde edilmiştir. Eşitlikteki teknoloji; emisyonları etkileyebilecek herhangi bir cihaz, yanma süreci veya yakıt özelliği anlamına gelmektedir.

$$E_{SGE, yakıt} = \sum \text{teknoloji} (YT \text{ yakıt, tekn.} * EF_{SGE, yakıt, tekn}) \quad (3.3)$$

Burada;

$E_{SGE, yakıt, teknoloji}$ = Verilen SGE'nun yakıt ve teknoloji türüne göre emisyonunu (kg),

$YT_{yakıt, teknoloji}$ = Her teknoloji için yakılan yakıt miktarını (TJ) , ve

$EF_{yakıt, teknoloji}$ = Verilen SGE'nun yakıt ve teknoloji türüne göre emisyon faktörünü (kg/TJ) göstermektedir.

Kapsam 3 yöntemi, hesaplama yapılan ülkedeki sera gazı emisyon kaynakları içerisinde ana kategori olarak belirlenen sektör veya uygulamalar için kullanılması zorunlu olan hesaplama yöntemi olup tesise özgü değerler kullanmaktadır.

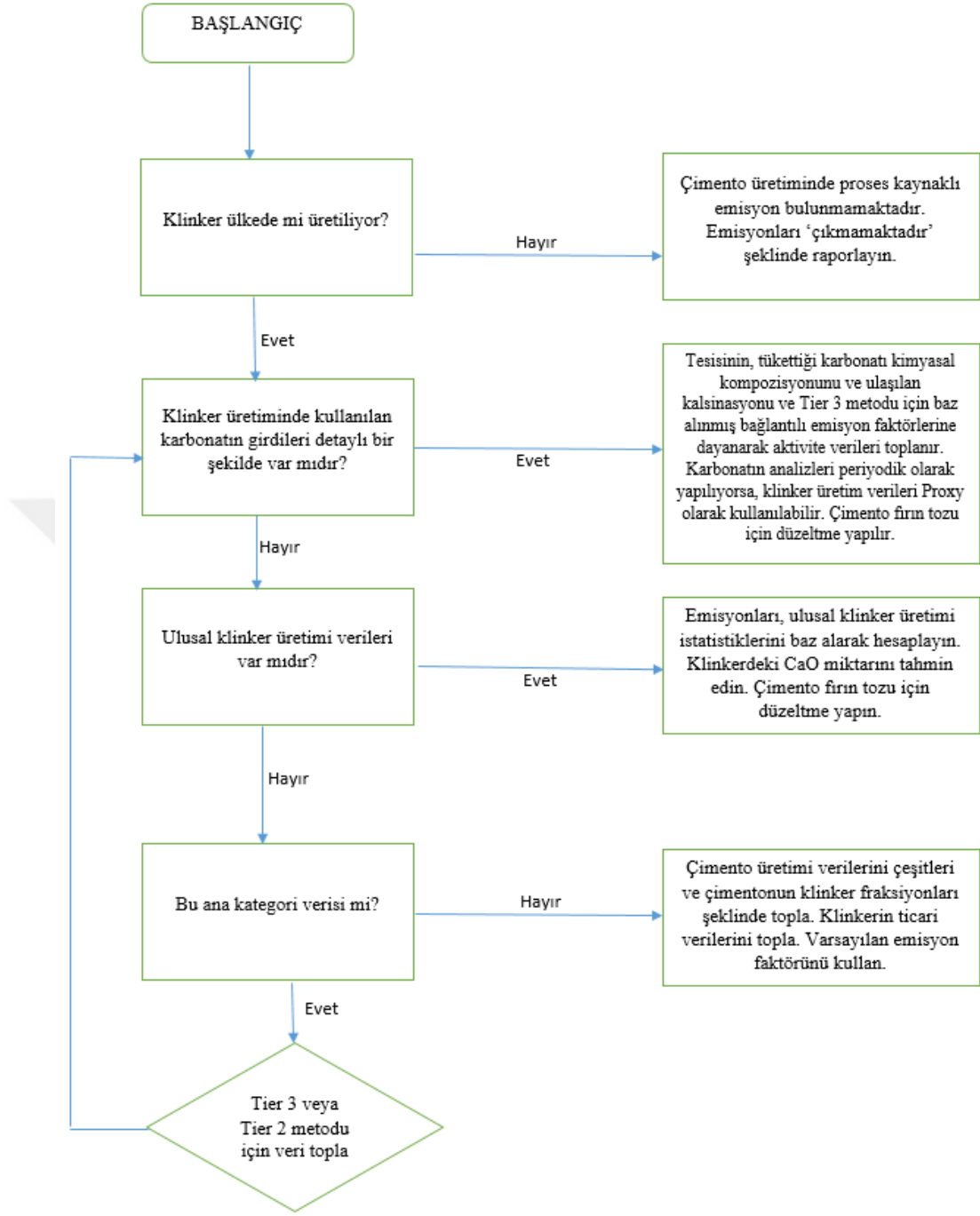
3.3.2. Proses emisyonlarının hesabı

Çimento üretiminde CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ gibi bazı minerallerin belirli miktarda bulunması gerekmektedir. Kalker, kil ve demir cevheri öğütülüp farin haline getirildikten sonra fırınlara beslenmekte ve klinker halini almaktadır.

Çimentonun ara ürünü klinkerdir. Klinker pişirme yüksek oranda ısı işleme maruz kaldığı için üretim prosesindeki emisyon kaynağı olarak gösterilmektedir. Kalker döner fırında ısı ile birlikte kireç Eşitlik 3.4 gereğince (CaO) ve CO₂'e dönüşmektedir.



Proses emisyonları hesaplamalarında kullanılacak olan yöntemlerin belirlenmesinde Şekil 3.8'de verilen karar ağacından yararlanılarak ulusal şartlara uygun hesaplama yönteminin seçilmesinde yol gösterici olarak kullanılmaktadır. Ancak tez kapsamında IPCC kılavuzundan yararlanılmıştır.



Şekil 3.8. Proses emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan yöntem seçimi için karar ağacı (Handle ve ark., 2006)

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Klinker Kaynaklı CO₂ Emisyonu Hesabı

Seçilen firmanın yıllara sari klinker miktarı Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu tez kapsamında IPCC metodolojisi Kapsam 1 ve Kapsam 2 yaklaşımı kullanılmıştır. Klinker kaynaklı emisyonlar, üretilen klinker, işletmeye özel olan emisyon faktörü ve dönüşüm faktörü gibi veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. Firmanın yıllara sari klinker miktarı

Faaliyet Verisi	Birim	2017	2018	2019	2020	2021
Klinker	Ton	1339566	1418066	1067164	1324521	1198894

Klinker kaynaklı CO₂ emisyonu hesabında Denklem 4.1 ve Tablo 4.1’de verilen verilerden yararlanılmış, emisyon faktörü ve dönüşüm faktörü değerleri ise Tablo 4.2’de verilen değerler ile belirlenmiştir. 2017-2021 yılları arasındaki klinker kaynaklı emisyon değerleri hesaplanarak Tablo 4.3’te verilmiştir.

$$\text{Yıllık Ortalama Emisyon Miktarı} = \text{Faaliyet Verisi} \times \text{Emisyon Faktörü} \times \text{Dönüşüm Oranı} \quad (4.1)$$

Tablo 4.2. Net kalorifik değer (NKD) ile bağlantılı yakıt emisyon faktörleri ve yakıt kütlesi başına NKD (IPCC, 2006)

Yakıt Tipi	Emisyon Faktörü (t CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Kaynak
Ham Petrol	73,3	42,3	IPCC 2006 Kılavuzu
Orimulsiyon	77,0	27,5	IPCC 2006 Kılavuzu
LNG	64,2	44,2	IPCC 2006 Kılavuzu

Tablo 4.2. (Devamı)

Yakıt Tipi	Emisyon Faktörü (t CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Kaynak
Gazyağı	71,9	43,8	IPCC 2006 Kılavuzu
Benzin	69,3	44,3	IPCC 2006 Kılavuzu
Şist Yağı	73,3	38,1	IPCC 2006 Kılavuzu
Motorin	74,1	43,0	IPCC 2006 Kılavuzu
Fuel Oil	77,4	40,4	IPCC 2006 Kılavuzu
Sıvılaştırılmış Petrol Gazları	63,1	47,3	IPCC 2006 Kılavuzu
Etan	61,6	46,4	IPCC 2006 Kılavuzu
Yakıt Nafta	73,3	44,5	IPCC 2006 Kılavuzu
Gres Yağı	73,3	40,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Petrol Koku	97,5	32,5	IPCC 2006 Kılavuzu
Rafineri Hammaddeleri	73,3	43,0	IPCC 2006 Kılavuzu
Rafineri Gazı	57,6	49,5	IPCC 2006 Kılavuzu
Parafin Mumları	73,3	40,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Beyaz İspirto ve Endüstriyel Yağlar	73,3	40,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Diğer Petrol Ürünleri	73,3	40,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Antrasit	98,3	26,7	IPCC 2006 Kılavuzu
Kok Kömürü	94,6	28,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Diğer Bitümlü Kömür	94,6	25,8	IPCC 2006 Kılavuzu
Düşük Bitümlü Kömür	96,1	18,9	IPCC 2006 Kılavuzu
Linyit	101,0	11,9	IPCC 2006 Kılavuzu
Bitümlü Şist ve Katranlı Kum	107,0	8,9	IPCC 2006 Kılavuzu
Patent Yakıtı	97,5	20,7	IPCC 2006 Kılavuzu

Tablo 4.2. (Devamı)

Yakıt Tipi	Emisyon Faktörü (t CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Kaynak
Gaz Koku	107,0	28,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Kömür Katranı	80,7	28,0	IPCC 2006 Kılavuzu
Gazhane Gazı	44,4	38,7	IPCC 2006 Kılavuzu
Kok Fırını Gazı	44,4	38,7	IPCC 2006 Kılavuzu
Yüksek Fırın Gazı	260	2,47	IPCC 2006 Kılavuzu
Oksijen Çelik Fırın Gazı	182	7,06	IPCC 2006 Kılavuzu
Doğal Gaz	56,1	48,0	IPCC 2006 Kılavuzu
Sanayi Atıkları	143	n.a.	IPCC 2006 Kılavuzu
Atık Yağlar	73,3	40,2	IPCC 2006 Kılavuzu
Turba	106,0	9,76	IPCC 2006 Kılavuzu
Odun/Odun Atığı	-	15,6	IPCC 2006 Kılavuzu
Diğer Birincil Katı Biyokütle	-	11,6	IPCC 2006 Kılavuzu (sadece NKD)
Odun Kömürü	-	29,5	IPCC 2006 Kılavuzu (sadece NKD)

Denklem 4.1 ve tablolardan alınan verilerden hareketle 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları için klinker kaynaklı emisyon miktarları sırasıyla 703272 ton CO₂e/yıl, 744485 ton CO₂e/yıl, 560261 ton CO₂e/yıl, 695374 ton CO₂e/yıl ve 629420 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. 2017–2021 yılları Arasındaki Klinker Üretim ve Emisyon Verileri

Yıllar	Klinker Üretimi (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /ton)	Dönüşüm Oranı	Emisyon Miktarı (ton CO ₂ e/yıl)
2017	1339566	0,525	% 100	703272
2018	1418066	0,525	% 100	744485
2019	1067164	0,525	% 100	560261
2020	1324521	0,525	% 100	695374
2021	1198894	0,525	% 100	629420

Tablo 4.3 deki CO₂ eşdeğeri emisyon miktarları incelendiğinde 2019 yılında bir önceki yıla göre %32'lik bir azalma, 2017 yılına göre ise yaklaşık %11 azalma olmuştur.

4.2. Yakıt ve Atıklardan Kaynaklanan CO₂ Emisyonu Hesabı

2017-2021 yılı için linyit kullanımından kaynaklanan emisyon hesabında Denklem 4.2 kullanılmıştır. Kullanılan yakıt miktarları Tablo 4.4'da verilmiş olup seçilen fabrikadan temin edilmiştir. Yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri IPCC 2006 Kılavuzundan alınmıştır (IPCC,2006).

Tablo 4.4. 2017-2021 yılları arası kullanılan yakıt ve atık miktarları

Yakıt Türü	2017 (Ton)	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2020 (Ton)	2021 (Ton)
Linyit	28104	8855	957	19877	37931
Petrol koku	107307	128041	89995	105237	78225
Fuel Oil	458	323	307	253	373
Atıktan Tüketilmiş Yakıt (ATY)	2697	12472	18819	22784	26355
Ömrünü Tamamlamış Lastikler (ÖTL)	-	-	1416	439	366
Aritma Çamuru	-	395	1369	223	20

$$\text{Yakıt Kaynaklı Emisyon Miktarı} = \text{Yakıt} \times \text{Emisyon Fakt.} \times \text{Net Kalorifik Değer} \times (1 - \text{BO}) \quad (4.2)$$

4.2.1. Linyit kaynaklı emisyonlar

2017-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan linyit kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. 2017-2021 yılları arası kullanılan linyit kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Linyit Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2017	28104	101	11,9	0,0119	%0	33778
2018	8885	101	11,9	0,0119	%0	10679
2019	957	101	11,9	0,0119	%0	1150
2020	19877	101	11,9	0,0119	%0	23890
2021	37931	101	11,9	0,0119	%0	45589

2017-2021 yılları arasında linyit kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 33778 ton CO₂e/yıl, 10678 ton CO₂e/yıl, 1150 ton CO₂e/yıl, 23890 ton CO₂e/yıl ve 45589 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Emisyon 2021 yılında 45589 ton CO₂e/yıl iken 2020 yılında 23890 ton CO₂e/yıl a gerileyerek % 47 oranında azalmıştır.

4.2.2. Petrol koku kaynaklı emisyonlar

2017-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan petrol koku kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. 2017-2021 yılları arası kullanılan petrol koku kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Petrol Koku Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2017	107307	97,5	32,5	0,0325	%0	340029
2018	128041	97,5	32,5	0,0325	%0	405730
2019	89995	97,5	32,5	0,0325	%0	285172
2020	105237	97,5	32,5	0,0325	%0	333470
2021	78225	97,5	32,5	0,0325	%0	247875

2017-2021 yılları arasında petrol koku kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 340029 ton CO₂e/yıl, 405730 ton CO₂e/yıl, 285172 ton CO₂e/yıl, 333470 ton CO₂e/yıl ve 247875 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Emisyon 2019 yılında bir önceki yıla göre % 42 oranında azalmıştır.

4.2.3. Fuel oil kaynaklı emisyonlar

2017-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. 2017-2021 yılları arası kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Fuel Oil Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2017	458	77,4	40,4	0,0404	%0	1432
2018	323	77,4	40,4	0,0404	%0	1010
2019	307	77,4	40,4	0,0404	%0	960
2020	253	77,4	40,4	0,0404	%0	791
2021	373	77,4	40,4	0,0404	%0	1166

2017-2021 yılları arasında fuel oil kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 14328 ton CO₂e/yıl, 1010 ton CO₂e/yıl, 960 ton CO₂e/yıl, 791 ton CO₂e/yıl ve 1166 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında emisyon bir önceki yıla göre % 5 oranında azalmıştır.

4.2.4. Atıktan türetilmiş yakıt (ATY) kaynaklı emisyonlar

2017-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. 2017-2021 yılları arası kullanılan atıktan türetilmiş kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Atıktan Türetilmiş Yakıt Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2017	2697	83	17,83	0,01783	%0	3391
2018	12472	83	17,83	0,01783	%0	18457
2019	18819	83	17,83	0,01783	%0	27850
2020	22784	83	17,83	0,01783	%0	33718
2021	26355	83	17,83	0,01783	%0	39003

2017-2021 yılları arasında ATY kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 3391ton CO₂e/yıl, 18457 ton CO₂e/yıl, 27850 ton CO₂e/yıl, 33718 ton CO₂e/yıl ve 39003 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.2.5. Ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) kaynaklı emisyonlar

2019-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. 2019-2021 yılları arası kullanılan ömrünü tamamlamış lastik kullanımı kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Ömrünü Tamamlamış Lastik Kullanımı Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2019	1416	51	28,3	0,0283	%23,7	1559
2020	439	51	28,3	0,0283	%23,7	483
2021	366	51	28,3	0,0283	%23,7	403

2019-2021 yılları arasında ÖTL kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 1559 ton CO₂e/yıl, 483 ton CO₂e/yıl ve 403 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.2.6. Arıtma çamuru kaynaklı emisyonlar

2018-2021 yılları arasında fabrikada kullanılan fuel oil kaynaklı emisyon miktarları IPCC Kılavuzundan elde edilen veriler (yakıt cinsine göre net kalorifik değer, emisyon faktörü değerleri), Denklem 4.2 ve fabrikadan temin edilen (Tablo 4.4) yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. 2018-2021 yılları arası kullanılan arıtma çamuru kullanımı kaynaklı emisyon miktarları

Yıl	Kullanılan Yakıt Miktarı (ton)	Emisyon Faktörü (ton CO ₂ /TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)	Net Kalorifik Değer (TJ/ton)	Biyokütle Oranı (BO)	Arıtma Çamuru Kaynaklı Emisyon Miktarı (tonCO ₂ e/yıl)
2018	395	110	11,18	0,01118	% 95	24
2019	1369	110	11,18	0,01118	% 95	84
2020	223	110	11,18	0,01118	% 95	14
2021	20	110	11,18	0,01118	% 95	1

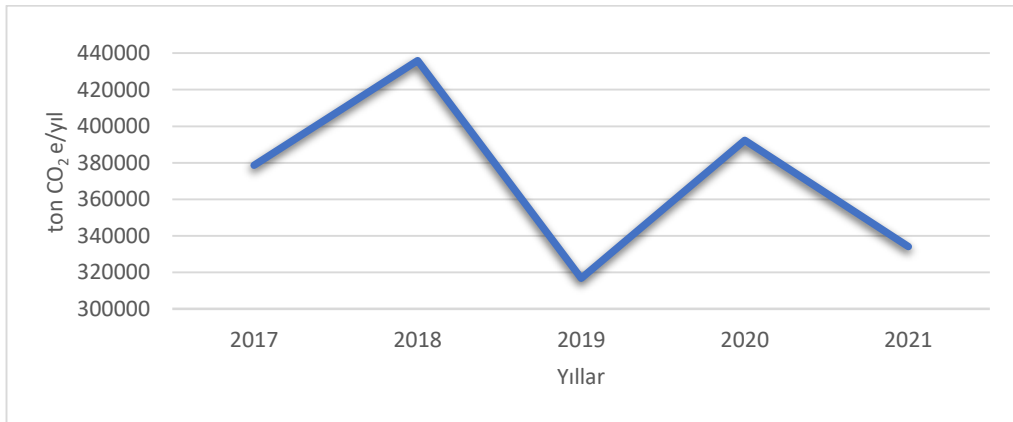
2018-2021 yılları arasında arıtma çamuru kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 24 ton CO₂e/yıl, 84 ton CO₂e/yıl, 14 CO₂e/yıl ve 1 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

2017–2021 yılları için hesaplanan yakıt ve atıklardan kaynaklanan emisyon değerleri Tablo 4.11’de özetlenmiştir.

Tablo 4.11. 2017 – 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan emisyon verileri

Yakıt Türü	Emisyon Miktarları (ton CO ₂ e/yıl)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Linyit	33778	10679	1150	23890	45589
Petrol koku	340029	405730	285172	333470	247875
Fuel Oil	1432	1010	960	791	1166
ATY	3391	18457	27850	33718	39003
ÖTL	-	-	1559	483	403
Aritma Çamuru	-	24	84	14	1
TOPLAM (Mt CO ₂ e/yıl)	0,37863	0,4359	0,316775	0,392366	0,334037

2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan (Kapsam 1) toplam emisyon miktarları sırasıyla 0,37863 Mt CO₂e/yıl, 0,4359 Mt CO₂e/yıl, 0,316775 Mt CO₂e/yıl, 0,392366 Mt CO₂e/yıl ve 0,334037 Mt CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Seçilen çimento fabrikasına ait yakıt kaynaklı emisyon değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yıllara göre emisyon değerleri (ton CO₂e/yıl)

4.2.7. İkame yakıt kullanım karbon emisyon hesapları

Fabrikanın alternatif yakıtlarına ilişkin kullanım miktarları ve hesaplanan emisyon değerlerinin mevcut durumu Tablo 4.4 ve Tablo 4.11’de özetlenmiştir. Atıktan tüketilmiş yakıt ile elde edilen yanma verimini elde etmek için belirli bir miktarda linyitin kullanılması durumunda oluşan emisyon miktarları hesaplanarak Tablo 4.12’de verilmiştir. Bu tablo hazırlanırken Denklem 4.3’te görüldüğü üzere, tercih edilen alternatif yakıt ile bu yakıtta ait net kalofirik değer çarpılmış, elde edilen yanma verimi konvansiyonel yakıtın net kalofirik değerine bölünerek aynı yanma verimini sağlayacak konvansiyonel yakıt miktarı bulunmuştur. Daha sonra Denklem 4.2 ile oluşması muhtemel emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 4.12. 2017 – 2021 yılları arasında kullanılan alternatif yakıtlara ikame olabilecek konvansiyonel yakıt verileri

Mevcut Alternatif Yakıt	İkame Konvansiyonel Yakıt		2017	2018	2019	2020	2021
Atıktan Türetilmiş Yakıt	Linyit	Miktar (ton)	4041	18687	28197	34138	39488
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	4857	22460	33890	41030	47461
	Petrol Koku	Miktar (ton)	1480	6842	10324	12500	14459
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	4689	21682	32715	39608	45816
Ömrünü Tamamlamış Lastik	Linyit	Miktar (ton)	-	-	3367	1044	870
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	-	-	4047	1255	1046
	Petrol Koku	Miktar (ton)	-	-	1233	382	319
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	-	-	3907	1211	1010
Arıtma Çamuru	Linyit	Miktar (ton)	-	371	1286	210	19
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	-	446	1546	252	23
	Petrol Koku	Miktar (ton)	-	136	471	77	7
		Emisyon (tonCO ₂ e/yıl)	-	167	579	94	8

$$\text{Alternatif Yakıt Miktarı} \times \text{NKD}_1 = \text{Konvansiyonel Yakıt Miktarı} \times \text{NKD}_2 \quad (4.3)$$

Burada;

NKD_1 =Alternatif Yakıtın Net Kalorifik Değerini (TJ/ton)

NKD_2 =Konvansiyonel Yakıtın Net Kalorifik Değerini (TJ/ton) göstermektedir.

Seçilen çimento fabrikasının mevcut ve ikame emisyon değerleri incelendiğinde, 2017 yılı için 2697 ton ATY yerine aynı yanma verimini sağlayan konvansiyonel yakıt tercih edilmesi durumunda yakıt miktarları, linyit için 4041 ton ve petrol koku için 1480 ton dur. Linyit ve petrol kokunun oluşması muhtemel emisyon değerleri sırasıyla 4857 ton CO₂e/yıl ve 4689 ton CO₂e/yıl dolarak hesaplanmıştır. Oysa ki aynı yıl için ATY sebebiyle oluşan emisyon miktarı 3391 ton CO₂e/yıl ile iki değer de altındadır. Başka bir deyişle 2017 yılında atıktan tüketilmiş yakıt yerine petrol koku tercih edilmesinin yaklaşık %38 oranında, linyit tercih edilmesinin ise yaklaşık olarak %43 oranında emisyonda artışa sebep olduğu görülmektedir.

4.3. Elektrik Kullanımından Kaynaklı Emisyonlar

2017-2021 yılları arasında elektrik kullanımına ilişkin veriler fabrikadan temin edilmiştir. Denklem 4.4 kullanılarak elektrik kullanımı kaynaklı emisyon (Kapsam 2) hesapları yapılmış ve Tablo 4.13'de verilmiştir.

$$E \text{ tCO}_{2/\text{yıl}} = \left(\left(\frac{\text{FV}_{\text{kwh}}}{\text{yıl}} \times \frac{\text{EF}_{\text{kgCO}_2}}{\text{kWh}} \times \text{İ\&DK\%} \right) + \left(\frac{\text{FV}_{\text{kwh}}}{\text{yıl}} \times \frac{\text{EF}_{\text{kgCO}_2}}{\text{kWh}} \right) \right) \times 10^{-3} \quad (4.4)$$

Burada;

$E \text{ tCO}_2$ = Toplam benzin emisyonunu,

BOYkg/m^3 = Benzin ortalama yoğunluğunu,

BKl/yıl = Yıllık benzin kullanım miktarını,

$\text{EFkgCO}_2/\text{TJ}$ = Emisyon faktörünü,

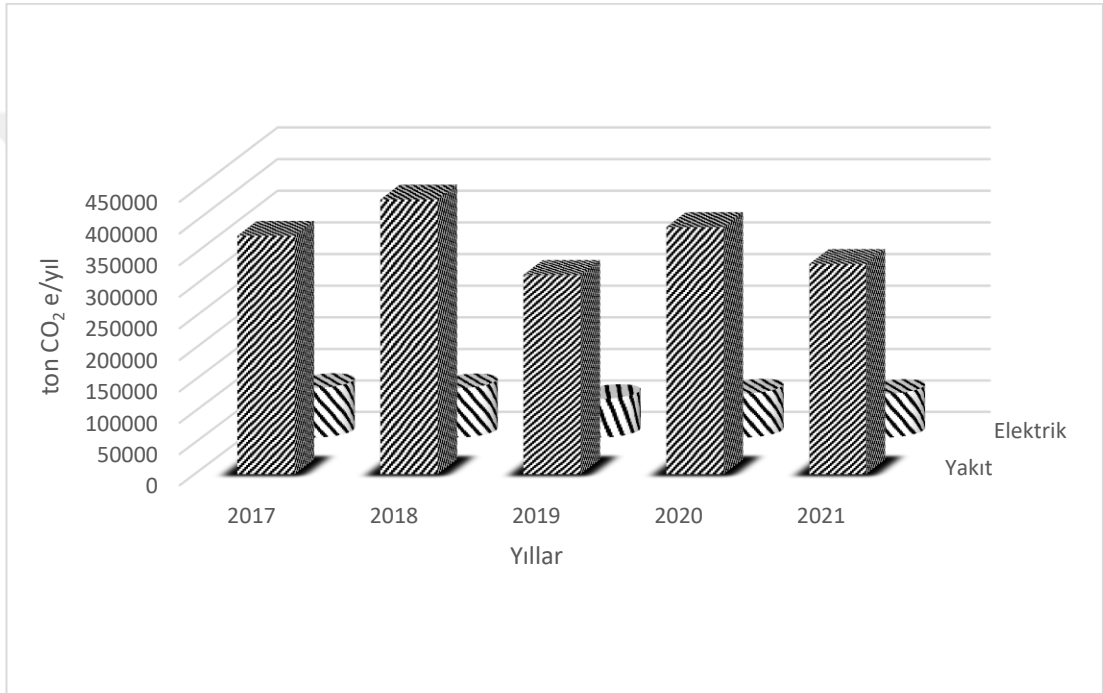
YFTJ =Yükseltgenme faktörünü,

OF = Oksidasyon faktörünü göstermektedir.

Tablo 4.13. 2017-2021 yılları arasında elektrik kullanımı kaynaklı emisyon miktarları

YIL	2017	2018	2019	2020	2021
	tonCO ₂ e/yıl	tonCO ₂ e/yıl	tonCO ₂ e/yıl	tonCO ₂ e/yıl	tonCO ₂ e/yıl
TOPLAM	79220	78724	61695	70307	69812

Elektrik kullanımı kaynaklı emisyonlar 2017 yılında 79220 tonCO₂e/yıl iken 2021 yılında 69812 tonCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.2’de yakıt ve elektrik kullanımı kaynaklı hesaplanan emisyon değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 4.2. Yakıttan ve elektrik kullanımından kaynaklı emisyon değerlerinin karşılaştırılması

2017 yılında yakıt ve atıklardan kaynaklanan (Kapsam 1) emisyon miktarı 378630 tonCO₂e/yıl iken elektrik kaynaklı emisyon miktarı (Kapsam 2) 79220 tonCO₂e/yıl dır. 2019 Kapsam 1 emisyonu 316775 tonCO₂e/yıl iken Kapsam 2 emisyonu 61695 tonCO₂e/yıl dır.

4.4. N₂O Emisyon Hesapları

Hava kirletici kaynaklar arasında yer alan ve küresel iklim değişikliğine doğrudan etki ettiği bilinen N₂O (Diazot monoksit) için yıllık ve saatlik emisyon hesaplamalarında izleme planında bildirilen 4.5 ve 4.6 denklemlerinden yararlanılmaktadır.

$$N_2O_{yillik}[t] = \sum[N_2O_{saatlik} [mg/Nm^3] \times baca \text{ gazı akışı saatlik } [Nm^3/s]] \times 10^{-9} \quad (4.5)$$

Burada;

N₂O_{yıllık} = Emisyon kaynağından çıkan toplam yıllık N₂O emisyonları ton N₂O cinsinden değerini,

N₂O_{saatlik} = İşletim sırasında ölçülen baca gazı akışındaki N₂O'nun mg/Nm³ cinsinden saatlik konsantrasyonlarını, ve

Baca gazı akışı = Her bir saatlik konsantrasyon için belirlenen baca gazı akışı Nm³/s cinsinden değerini göstermektedir.

$$N_2O \text{ ort. sa } [kg/s] = (\sum[N_2O_{sa}[mg/Nm^3]] \times \text{baca gazı akışı sa } [Nm^3/s]) \times 10^{-6} / \text{işletim sa } [s] \quad (4.6)$$

Burada;

N₂O_{ort.saatlik} = Kaynaktan çıkan yıllık ortalama saatlik N₂O emisyonları, kg/s cinsinden değerini,

N₂O_{saatlik} = İşletim sırasında ölçülen baca gaz akışındaki N₂O'nun saatlik konsantrasyonları, mg/Nm³ cinsinden değerini, ve

Baca gazı akışı = Her bir saatlik konsantrasyon için belirlenen baca gazı akışı, Nm³/s cinsinden değerini göstermektedir.

Seçilen fabrikadan edinilen bilgiler, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’da bildirilen baca gazı akışı ve saatlik baca gazı akışı parametrelerini içermediği için N₂O emisyon değerleri hesaplanamamıştır.



BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sanayi devrimi ile gözle görülür yoğunluğa erişen ve günümüzde büyük küresel etkilere yol açan çevresel kirlilik bileşenleri, bugünün ve yarının en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Dünyadaki nüfus artışı ile birlikte artan sanayileşme, şehirleşme ve bunlara bağlı üretim ve tüketimdeki artışlar, çevre ve canlılar üzerindeki tehditleri her geçen gün daha da arttırmaktadır. Özellikle iklim üzerinde oluşan stres, geri dönüşü mümkün olmayan birçok çevresel dengesizliğe yol açarak büyük bir kısmı insani faaliyetler sonucu oluşan ve birçoğu havanın doğal bileşiminde eser miktarda yer alan sera gazları, sürdürülebilir çevresel politikalarını uygulanamaz hale getirmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından sera gazlarının 1990 – 2020 yılları arasındaki değişimini ele alan rapora göre, 2020 yılında toplam sera gazı emisyonlarının CO₂ eşdeğeri olarak en büyük pay %70,2 ile enerji kaynaklı emisyonlara aittir. Bunu sırasıyla %14 ile tarım, %12,7 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3,1 ile atık sektörü takip etmektedir. Tüm endüstriler arasında sera etkisi bakımından en riskli endüstriler arasında gösterilen çimento sektörü ise çevresel kirleticilerin neredeyse hepsini eşik miktarların oldukça üstünde ihtiva eden, enerji bakımından çok yüksek girdi gereksinimi olan ve fosil kaynaklı yakıtların sıkça kullanıldığı prosesleri içeren bir endüstriyel faaliyet alanıdır. Çimento üretimi sırasında farklı fraksiyonlarda ve çevre üzerinde ciddi etkileri olan atmosferik kirleticiler oluşmaktadır. Çimento üretim prosesi sonucu oluşan emisyon kaynakları incelendiğinde, toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık olarak %5'i ve toplam sera gazı emisyonlarının %3'ü çimento sanayine aittir. Çimento üretim prosesi ile oluşan emisyonların yaklaşık üçte biri gibi büyük bir kısmı klinker üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır. Geriye kalan kısım ise yanma reaksiyonlarında kullanılan yakıtlardan meydana gelmektedir. Bu durum, karbon ayak izi hesaplamasında IPCC metodolojisi Kapsam 1 yönteminin kullanıldığı bir çalışma ile teyit edilerek klinker üretiminin

çimento üretiminde oluşan toplam emisyon miktarının yaklaşık %65'ini oluşturduğu belirtilmiştir (Şahin, 2019).

Bu tez çalışmasında hâlihazırda çimento ve klinker üretimine devam eden ve Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği'ne kaydı bulunan özel bir çimento fabrikasının 2017 – 2021 yılları arasını kapsayan üretim ve tüketim verileri, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) yönergeleri ve standartları kapsamında hesaplamalara tabi tutulmuştur. Hesaplamalarda IPCC'nin Kapsam 1 ve Kapsam 2 yöntemleri tercih edilmiştir. Emisyon hesaplamaları, klinker kaynaklı emisyon hesabı, yakıt ve atıklardan kaynaklanan emisyonların hesabı, elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonların hesaplanması şeklinde 3 alt başlıktan oluşmuştur.

Bir çimento endüstrisindeki doğrudan CO₂ emisyonları, esas olarak fosil yakıtların yakılmasından ve kireç taşının kalsiyum okside kalsinasyonundan kaynaklanmaktadır. Doğrudan emisyonlar sahip olunan kaynaklardan yayılan veya raporlayan kuruluş tarafından kontrol edilen yayılımlardır. Seçilen çimento fabrikasında yakıt ve atıklardan kaynaklanan emisyon verileri incelendiğinde 2017 – 2021 yılları arasındaki emisyon değerlerinde en büyük pay petrol kokuna aittir. Petrol koku gerek sahip olduğu net kalorifik değer gerekse ulaşılabilirlik bakımından en çok tercih edilen yakıt olup aynı orandaki linyite göre 3 kat daha fazla emisyonla sahiptir. Yıllar içinde fabrikanın artan müşteri talebiyle birlikte petrol koku sarfiyatında artış olması beklendiğinden fabrikanın 2019 yılında alternatif yakıt olarak ÖTL kullanımına başlaması sayesinde, petrol koku sarfiyatında bir önceki yıla göre %25 oranında azalma olmuştur. Bu tercihle 2019 yılı toplam emisyon değeri bir önceki yıla ait emisyon değerine göre yaklaşık % 27 oranında azalmıştır. Aynı şekilde 2021 yılında kullanılan 26355 ton ATY sayesinde aynı yıl petrol koku kullanım miktarı, bir önceki yıla oranla % 26 azalarak 78225 ton değerine gerilemiştir. Bu iyileştirme, 2021 yılı için kullanılan linyit miktarının bir önceki yıl kullanılan miktarın neredeyse iki katına çıkmasına rağmen toplam emisyon değerinin artmasına engel olmuştur. Linyit kullanımında 2019 yılında önemli oranda azalma gözlenmektedir. Bunun sebebi seçilen fabrikadan edinilen bilgilere göre COVID-19,

fabrikada yapılan yenileme çalışmaları ve tesisin 2019 yılından itibaren alternatif kaynakların kullanımını arttırmasıdır.

Seçilen çimento fabrikasında 2017-2021 yılları arasında petrol koku kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 340029 ton CO₂e/yıl, 405730 ton CO₂e/yıl, 285172 ton CO₂e/yıl, 333470 ton CO₂e/yıl ve 247875 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Petrol koku kullanım kaynaklı emisyonlar 2019 yılında tesisteki alternatif yakıt kullanımının artması ile bir önceki yıla göre % 42 oranında azalmıştır.

2017-2021 yılları arasında fuel oil kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 14328 ton CO₂e/yıl, 1010 ton CO₂e/yıl, 960 ton CO₂e/yıl, 791 ton CO₂e/yıl ve 1166 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Fuel oil kullanım kaynaklı emisyonlar 2019 yılında tesisteki alternatif yakıt kullanımının artması ile bir önceki yıla göre % 5 oranında azalmıştır.

2019-2021 yılları arasında ÖTL kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 1559 ton CO₂e/yıl, 483 ton CO₂e/yıl ve 403 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2019 yılından itibaren yakıt olarak kullanılmaya başlayan ömrünü tamamlamış lastikler fosil yakıtlara oranla daha az oranda emisyonu neden olmuştur.

2018-2021 yılları arasında arıtma çamuru kullanımından kaynaklı emisyonlar sırasıyla 24 ton CO₂e/yıl, 84 ton CO₂e/yıl, 14 CO₂e/yıl ve 1 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2018 yılından itibaren yakıt olarak kullanılmaya başlayan arıtma çamurları fosil yakıtlara oranla çok daha az oranda emisyonu neden olmuştur.

Seçilen çimento fabrikasında 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları arasındaki yakıt ve atıklardan kaynaklanan (Kapsam 1) toplam emisyon miktarları sırasıyla 0,37863 Mt CO₂e/yıl, 0,4359 Mt CO₂e/yıl, 0,316775 Mt CO₂e/yıl, 0,392366 Mt CO₂e/yıl ve 0,334037 Mt CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çalışmaya konu olan süreçte alternatif yakıtların kullanılmadığı varsayımından hareketle, ATY ile elde edilen yanma verimini elde etmek için belirli bir miktarda linyit kullanılsa idi oluşan emisyon miktarları ne olurdu sorusunun cevabı alternatif

yakıt kullanımının önemini bir kere daha göstermiştir. Seçilen çimento fabrikasının mevcut ve ikame emisyon değerleri incelendiğinde, ATY, ÖTL, arıtma çamuru gibi alternatif yakıtlar yerine linyit, petrol koku gibi konvansiyonel yakıtların tercih edilmesi emisyon değerlerini arttırmıştır. Örneğin 2017 yılı için 2697 ton ATY yerine aynı yanma verimini sağlayan konvansiyonel yakıt tercih edilmesi durumunda yakıt miktarları, linyit için 4041 ton ve petrol koku için 1480 ton dur. Linyit ve petrol kokunun oluşması muhtemel emisyon değerleri sırasıyla 4857 ton CO₂e/yıl ve 4689 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Oysa ki aynı yıl için ATY sebebiyle oluşan emisyon miktarı 3391 ton CO₂e/yıl ile iki değer de altındadır. Başka bir deyişle 2017 yılında atıktan tüketilmiş yakıt yerine petrol koku tercih edilmesinin yaklaşık %38 oranında, linyit tercih edilmesinin ise yaklaşık olarak %43 oranında emisyonda artışa sebep olacağı hesaplanmıştır.

Dolaylı emisyonlar raporlama yapan şirketin faaliyetleri nedeniyle ortaya çıkan ancak başka bir kuruluşun sahip olduğu veya kontrolündeki kaynaklarda meydana gelen emisyonlardır. Örneğin, bir çimento şirketinin şebeke elektriği üretiminden kaynaklanan emisyonlar dolaylı olarak nitelendirilmektedir. Kireç taşıyı öğütme veya karışımı karıştırmak için gereken mekanik enerji elektrik motorları tarafından sağlanır. Buna göre, öğütme ile tanımlanan CO₂ emisyonları çoğunlukla dolaylıdır ve elektrik kullanımıyla ilgilidir. Çimento üretimi, enerjiyi arttıran bir süreçtir ve enerji sürekli olarak toplam üretim maliyetlerinin %20-40'ını oluşturur. Çimento üretimi, hammadde hazırlama, çimento öğütme ve diğer elektrikli aletlerin beslenmesi için çok fazla elektrik kullanır. Seçilen fabrikanın elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonu 2017 yılında 79220 ton CO₂e/yıl iken 2019 yılında 61695 ton CO₂e/yıl'a gerilemiştir. 2021 yılında ise emisyon 69812 ton CO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Örnek olarak seçilen 2020 yılında yakıt tüketiminden kaynaklı emisyon miktarının 392366 ton CO₂e/yıl olduğu ve tüm fabrikanın elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonunun aynı yıl için 70307 ton CO₂e/yıl olduğu göz önüne alındığında elektrik kullanımı kaynaklı emisyonun önemi ortaya çıkmaktadır.

Betonun temel taşı olan çimento günlük yaşamın olmazsa olmaz ürünlerinden biri olup konutlardan barajlara inşa edilen tüm ürünlerin temel yapı taşı durumundadır. Aynı zamanda da küresel CO₂ emisyonuna etkisinin oldukça yüksek olduğu kanıtlanmış bir malzemedir. Çimento kullanımından vazgeçmek mümkün olmadığından üretimi sırasında oluşması muhtemel emisyonları en aza indirmek ana gaye olmalıdır. Üretim süreçlerinde daha az fosil kaynaklı yakıt, daha çok alternatif yakıt tercih edilmesi salınan kirletici gazların iklim, atmosfer ve yerküre üzerinde oluşturduğu stresi oldukça azaltacaktır. Ekonomik sebeplerden kaynaklı sıkça tercih edilen ve alternatif yakıtlar arasında ele alınan atıklar, ortaya çıkardıkları emisyonlar bakımından değerlendirildiğinde konvansiyonel yakıtlara göre oldukça masum sayılırlar. Gelişmiş ülkelerde giderek yaygınlaşmakta olan atık kullanımı, ülkemizde de bu sektörün emisyonlarını azaltmada tercih edilecek yöntemlerden biri olmalıdır.

Emisyon azaltımında diğer önemli bir yöntem mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasıdır. Güler (2018) tarafından yapılan çalışma mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasına bağlı olarak emisyon miktarlarının %38,5 oranında azalabileceğini göstermiştir. Emisyon azaltımları konusunda alternatif teknolojilerden bir diğeri de çimento endüstrisinde çimentoyu karbondan arındırmaktır. Çimento üretiminde en fazla emisyon fırınlardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla önce fırınlarda iyileştirmeye yoğunlaşmak gerekmektedir. 1980'lerde endüstri çapındaki gelişmelere bakıldığında ıslak hammaddenin kuru hammaddeye göre daha fazla enerji ihtiyacı olduğundan kuru hammaddeye yönelim artarak emisyon azaltımı sağlanmıştır. Döner fırınlar için atık ve biyokütle gibi daha az karbon yoğun alternatif yakıtlara geçiş ile 2050 yılına kadar küresel çimento üretiminden kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonu %9 oranında azaltılabilmektedir. CO₂ emisyonu çimento üretiminde kullanılan klinker miktarı ile doğru orantılı olduğundan klinker, doğal ve kalsine puzolanlar gibi çimentolu malzemeler ile uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünler ile ikame edilebilmektedir. Karbonla sertleşen beton (karbon kür beton) teknolojisi ile betonun kürlenme süreci hızlandırılarak son üründe CO₂'i bağlamak için çimento üretimi sırasında yakalanan CO₂ betona enjekte edilmektedir. Güncel düşük karbonlu çimento teknolojileri teorik olarak %30 potansiyele sahip olmakla birlikte mevcutta %5 kadar CO₂ tutabilmektedir. Ahşap panelleri ve levhaları

birbirine yapıştırarak üretilen CLT (Çapraz lamine ahşap) gibi alternatif yapı malzemelerinin betondan %10 pay alacağı varsayıldığında talebi çimentodan uzaklaştırarak çimento karbon ayak izini %25 oranında azaltabilecektir (Engin, 2022).

Bu tez Türkiye’de çimento sanayinde Kapsam 1 ve Kapsam 2 dahilinde karbon ayak izi hesaplamalarını gerçekleştiren çalışmalardan biri olup yol gösterici bir kılavuz niteliğindedir.



KAYNAKLAR

- Agitoğlu, S. 2018. Silopi Harbul asfaltit açık işletmesi delme-patlatma çalışmalarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Ali, M.B, Saidur R, Hossain M.S. 2011. A Review On Emission Analysis In Cement Industries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(5):2252-2261.
- Andrady, A., Aucamp, P.J., Austin, A.T., Bais, A.F., Ballar, C.L., Barnes, P.W., Bernhard, G.H., Björn L.O., Bornman, J.F., Congdon, N., Cory, R.M., Flint, S.D., Grujil, de F.R., Hder, D.P., Heikkil, A., Hylander, S., Longstreth, J., Lucas, R.M., Madronich, S., McKenzie, R.L., Neale, P., Neale, R., Norval, M., Pandey, K.K., Paul, N., Raut, M., Redhwi, H.H., Robinson, S.A., Rose, K.C., Solomon, K.R., Sulzberger, B., Wngberg, S.., Williamson, C.E., Wilson, S.R., Worrest, R.C., Young, A.R., Zepp, R.G. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Progress report. Photochem Photobiol Science 2017. 15;16(2):107–145.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., Hare, W., Huq, S., Karoly, D., Kattsov, V., Kundzewicz, Z. W., Liu, J., Lohmann, U., Manning, M., Matsuno, T., Menne, B., Metz, B., Mirza, M., Nicholls, N., Yohe G. 2008. Climate Change 2007 : Synthesis Report : An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Bıyık, Y., Civelekoğlu G. 2018. Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2(2):157-166.
- ağatan, K. 2011. İstanbul Atatürk Havalimanı için uçak emisyonlarının belirlenmesi ve çevresel etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- epel, N., Ergün, C. 2002. TEMA Yayın, Küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği. TEMA Yayın, 5(20):35-48.
- şB, M. 2016. Entegre evre İznine (Eİ) Tabi imento retim Tesislerinin Uyum Durumları ve Gerekliliklerinin Belirlenmesi Projesi, imento Sanayi İçin Mevcut En İyi Teknikler (Met) Ulusal Kılavuzu, Ankara, 89-91
- Demir, A. 2009. Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. Ankara niversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 1(2):37-54.
- Engin, N. 1989. Hava kirlenmesi. İstanbul Üniversitesi. İktisat Fakültesi Mecmuası, 47(1):1-4.

- Engin, Y. 2022. <https://www.betonvecimento.com/cimento/sifir-karbonlu-cimento-yolunda-atilacakadimlar>, Erişim Tarihi: 05.08.2022.
- Erdoğan, S. 2020. Enerji, evre ve sera gazları. ankırı Karatekin Üniversitesi. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1): 277-303.
- Erkan, V. 2008. İklım değişikliğinin yerleşik düzen, kentsel yapı üzerindeki etkileri ve üzüm nerileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Ersoy Mirici, M., Berberoğlu, S. 2022. Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi tehdit mi? Fırsat mı?. Doğal Afetler ve evre Dergisi, 8(1):156-164.
- Eryılmaz, H., Demirarslan, K.O. 2019. Ömrünü tamamlamış lastiklerin (tl) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 2(1):50-56.
- European Commission. 2021. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (Erişim Tarihi: 20.09.2022).
- Gillenwater, M., Van, Pelt, M. M., Peterson, K. 2002. Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values. Office of Atmospheric Programs of United States Environmental Protection Agency. Washington, 1-17.
- Gmez, D.R., Watterson, J.D., Americano, B.B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, L.N., Elasha, B.O., Saka, J.D.K., Treanton, K. 2007. Chapter 2: Stationary Combustion, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy.
- Güleç, E. 2004. Alternatif yakıt sistemlerinin emisyonu etkisi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Güler, Y. 2018. Türkiye’de imento sektörü kaynaklı karbondioksit emisyonları. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, evre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Gürsoy, S. 2018. İklım göstergelerinin sinyal analizi yöntemleri ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Hanle, L., Maldonado, P., Onuma, E., Tichy, M., Oss, H.G. 2006. Chapter 2: Mineral Industry Emissions, 2006 IPCC Chapter 2: Mineral Industry Emissions.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, Erişim Tarihi:31.07.2022.
- IPCC. 2018. <https://www.ipcc.ch/2018/> (Erişim Tarihi:25.07.2022)
- ISO 14064-1. 2018. Greenhouse Gases Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals <https://www.iso.org/standard/66453.html>, (Erişim Tarihi: 21.10.2022).
- İğci, T., obanoğlu, N. 2019. İklım değişikliğinin ve iklim değişikliğiyle ilgili küresel anlaşmaların evre etiği bakımından değerlendirilmesi. Ankara niversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 7(2): 130-146.

- Kahraman, S. 1997. Açık işletmelerde uygun delme-patlatma şartlarını veren bir modelin geliştirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Kandil, E. 2008. Küresel ısınmadan kaynaklanan dış hava sıcaklık değişimlerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Kara, G., İbiç A., Yağcıoğlu, E. 2018. Çimento sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(2): 87-90.
- Karaman, S., Gökalp, Z. 2010. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1): 59-66.
- Keskin, A., Kanat, Z. 2018. Dünya’da iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalar ve türkiye’de mevcut durum. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 49(1): 67-68.
- Koyuncu, M., Akgün, H. 2018. Çiftlik Hayvanları ve Küresel İklim Değişikliği Arasındaki Etkileşim. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(1):151-164.
- Küçük, G., Yüce Dural, B. 2022. Avrupa yeşil mutabakatı ve yeşil ekonomiye geçiş: enerji senaryoları üzerinden bir değerlendirme. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22(1):137-156.
- Levin, K., Rich, D., Tirpak, D., McGray, H., Waskow, D., Bonduki, Y. 2015. Designing and preparing intended nationally determined contributions. World Resources Institute., Washington DC.
- Li W., Gao S. 2018. Prospective on energy related carbon emissions peak integrating optimized intelligent algorithm with dry process technique application for china's cement industry. Energy, 165(B):33-54.
- Meng, J., Mi, Z., Yang, H., Shan, Y., Guan, D., Liu, J. 2017. The Consumption-Based Black Carbon Emissions of China's Megacities. Journal of Cleaner Production, (161):1275-1282.
- MGM. 2021. <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx>, Erişim Tarihi 06-08.2022.
- Oğuz, C. U. 2009. İklim değişikliğinin ekolojik bir süreç olarak küresel ölçekte irdelenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi ABD, Doktora Tezi.
- Orhan, A.E. 2018. Çimento üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Özmen, M. T. 2009. Sera gazı-küresel ısınma ve kyoto protokolü. İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi, Ankara, 42-46.
- Öztürk, M., Öztürk, A. 2019. Birleşmiş Milletler İklim Ddeğişikliği Çerçeve Sözleşmesinde Paris anlaşmasına: birleşmiş milletlerin iklim değişikliğiyle mücadele çabaları. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(4):527-541.

- Öztürk, K. 2002. Küresel iklim değişikliği ve türkiye'ye olası etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1):47-65.
- Paris Anlaşması. 2015. Paris Anlaşması: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 21. Taraflar Konferansı-COP21, 1-28.
- Pekin, A. 2010. Ercan taş ocağı delme-patlatma sisteminin incelenmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1):31-45.
- Perincek, S. D., Duran, K., Körlü, A. E., Bahtiyari, M. I. 2007. Ultraviolet technology. Tekstil ve Konfeksiyon, 17(4):219-223.
- Schueler, M., Hansen, S., Paulsen, H. M. 2018. Discrimination Of Milk Carbon Footprints From Different Dairy Farms When Using Ipcc Kapsam 1 Methodology For Calculation Of Ghg Emissions From Managed Soils. Journal Of Cleaner Production, 177(3):899-907.
- Scripps Oşinografi Enstitüsü. 2022. <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, Erişim Tarihi, 23.12.2022.
- Sel, A., Göktolga, Z.G. 2020. 11. Kalkınma planı çerçevesinde sektörel CO₂ salımı değerleri projeksiyonu. Akdeniz İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20(2):158-168.
- Shea, K. M., Truckner, R. T., Weber, R. W. ve Peden, D. B. 2008. Climate change and allergic disease. Journal Of Allergy And Clinical İmmunology, 122(3): 443-453.
- Shen, W., Cao L., Li Q., Zhang W., Wang G., Li C. 2015. Quantifying CO₂ emissions from China's cement Industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50:1004-1012.
- Solarin, S. A. 2019. Convergence in CO₂ emissions, carbon footprint and ecological footprint: evidence from oecd countries. Environmental Science and Pollution Research, 26(6): 6167-6181.
- Şahin, G., Onurbaş, Avcıoğlu, A. 2016. Tarımsal üretimde sera gazları ve karbon ayak izi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12(3): 157-162.
- Şahin, M.T. 2019. Karbon ayak izi uygulamaları: çimento fabrikası örneği, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Şenel Uslu, G., Atabey, T. 2020. Diyarbakır ilinde farklı sektörlerden kaynaklanan karbondioksit salınımının hesaplanması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Journal of Engineering Sciences. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 37-47.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018. Çimento sektörü raporu. Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü.
- T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021. Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021: <https://ticaret.gov.tr/data> (Erişim Tarihi 08.07.2022).

- TCMA, 2018. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Türkiye’deki Çimento Fabrikaları Haritası, Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği (turkcimento.org.tr) Erişim Tarihi:29.06.2022
- TÜİK 2022. Türkiye İstatistik Kurumu Veri Portalı, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, Yayım Tarihi:30 Mart 2022 Sayı:45862
- Türkeş, M. 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, İklim Değişikliği ve Çevre, 1(1): 26-37.
- Wei, J, Cen K. 2019a. A preliminary calculation of cement carbon dioxide in China from 1949 to 2050. Mitigation and Adaptation Strategies For Global Change, 24:1343–1362.
- Wei, J., Cen K. 2019b. Empirical assessing cement CO₂ emissions based on China's economic and social development during 2001–2030. Science of the Total Environment, 653:200-211.
- Yılmaz, A. 2021. Uluslararası Ticaret Üzerine Hibrit Perspektiflerle Değerlendirmeler, Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın Türkiye’nin İhracatına Olası Etkileri. Bölüm 3. Hiperlink Yayınevi, İstanbul,16-19.
- Zoray, F., Pır, A. 2017. Küresel Isınma Problemi: Sebepleri, Sonuçları, Çözüm Yolları. Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği ABD. <https://docplayer.biz.tr/11683200-Kuresel-isinma-problemd-sebeplerd-sonuclari-cozum-yollari-fehmiye-zoray-anil-pir.html> (Erişim Tarihi: 20.08.2022)

ÖZGEÇMİŞ

Selin Yaşar

İlkokulu Sabiha Raşit Özdemir

İlköğretim okulunda daha sonra ortaokul ve lise eğitimini Ordu Doğa Kolejinde tamamladı. 2013 yılında Ordu Doğa Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü 2020 Ocak ayında bitirdi. Aynı yıl Alta-Çed Çevre Danışmanlık firmasında 2 yıl boyunca Çevre Etki Değerlendirme Raporu Hazırlama biriminde çalıştı. Bu süreçte Akkuyu Nükleer Santral içerisinde hazır beton tesisi (ÇED Raporu Hazırlama) dahil olmak üzere birçok alanda ÇED Raporu hazırladı. Daha sonra Akbey Çevre Danışmanlık Firmasında Çevre Mühendisi olarak görev yaptı. 2020 yılında Giresun Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Lisansüstü eğitimine başladı. 2022 Aralık sonunda işe başladığı OYAK Çimento Ordu/Ünye fabrikasında Çevre Mühendisi olarak halen çalışmaya devam etmektedir.