



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ALTIN-GÜMÜŞ ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE KARBON AYAK İZİ
HESAPLANMASI VE ETKİSİNİN AZALTILMASINDA KİLİT ROL
OYNAYAN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nesrin ARHAN

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212301431 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Nesrin ARHAN tarafından hazırlanan “**ALTIN-GÜMÜŞ ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI VE ETKİSİNİN AZALTILMASINDA KİLİT ROL OYNAYAN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gamze SÖNMEZ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Gülnihal KARA

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 09.01.2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Nesrin ARHAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana yol gösteren, bilgi ve deneyimleriyle desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ebru Koçak'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkı sağlayan TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye, Çevre ve Sürdürülebilirlik Müdür Yardımcısı Naim Kartal'a ve Çağatay Güzel'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu uzun ve zorlu süreçte sürekli yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini daima hissettiğim ve sabırlarıyla bana güç veren aileme sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, lisansüstü eğitimim ve tez yazım sürecinde her zaman yanımda olan, değerli arkadaşlarım İnşaat Mühendisi, Öğretim Görevlisi Pınar Şen'e, Mitus Proje A.Ş.' de başta İlker Ersoy olmak üzere tüm yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma minnettarım.

Bu çalışmayı, eğitime olan sevgisi ve ilham veren duruşuyla hayatımda silinmez bir iz bırakan rahmetli gazeteci ablam Hicret Arhan'a ithaf ediyorum. Onun hayalleri ve değerleri, bu süreçte en büyük motivasyon kaynaklarımdan biri oldu. Bu tez, onun eğitim aşkına ve hayatımdaki derin etkisine bir armağan olarak hazırlanmıştır.

Nesrin ARHAN
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Madencilik ve Zenginleştirme Tesislerinin Olumsuz Çevresel Etkileri	2
1.2 Çevre Kirliliği.....	5
1.3 Hava Kirliliği.....	6
1.3.1 Fosil yakıtların yakılması kaynaklı hava kirliliği	6
1.3.2 Tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı hava kirliliği.....	6
1.3.3 Sanayi kaynaklı hava kirliliği	7
1.3.4 Motorlu taşıtlardan kaynaklı hava kirliliği	7
1.3.5 Isınmadan kaynaklı hava kirliliği	8
1.3.6 Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı hava kirliliği.....	9
1.4 Küresel Isınmaya Sebep Olan Sera Gazları	10
1.4.1 Karbondioksit	12
1.4.2 Diazot monoksit.....	14
1.4.3 Metan	16
1.4.4 Florlu birleşikler	17
1.5 Karbon Ayak İzi	18
1.5.1 Karbon ayak izinin bileşenleri	19
1.5.2 Türkiye ve sera gazı.....	20
1.5.3 Dünyada ve Türkiye'de karbon ayak izi	21
1.5.4 Türkiye'nin karbon ayak izini azaltma çabaları	23
1.5.5 Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı karbon ayak izi.....	25
1.6 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	29
1.6.1 Rüzgar enerjisi	30
1.6.2 Güneş enerjisi	32
1.6.3 Hidroelektrik.....	33
1.7 Enerji Sektörü ve Karbon Emisyonu.....	38
1.7.1 Karbon ayak izinin hesaplanması ve etkisinin azaltılmasında kilit rol oyनayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı.....	40
1.8 Altın-Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesisleri	45
1.8.1 Altın-gümüş madeni ve zenginleştirme tesisinin çevresel açıdan değerlendirilmesi.....	45
1.8.2 Çevresel etkilerin azaltılması için stratejiler.....	47
2. KAYNAK ÖZETLERİ	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	52
3.1 Çalışma Alanı	52
3.1.1 Tesis bilgileri	52
3.1.2 İş akım şeması.....	52
3.1.3 Tesiste oluşan atıklar	55
3.1.4 Tesiste oluşan atıksu	57
3.1.5 Hava emisyonu	60
3.2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	61

3.2.1 Çevrimiçi karbon ayak izi hesaplayıcıları	61
3.2.2 Manuel hesaplama	62
3.2.3 IPCC karbon ayak izi hesaplama metodolojisi	63
3.2.4 Sera gazı emisyonları türleri	69
3.3 Karbon Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Standartlar	70
3.3.1 ISO 14064	70
3.3.2 ISO 14064-1	72
3.3.3 ISO 14067	73
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	75
4.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyonları	75
4.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyonları	75
4.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyonları	75
4.3.1 Açık ocak	76
4.3.2 Yeraltı ocak	77
4.3.3 Kırma eleme tesisi	78
4.3.4 Cevher zenginleştirme tesisi	79
4.4 IPCC Metodolojisi ile CO ₂ Emisyonu Hesaplanması	83
4.4.1 Elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 2)	85
4.4.2 Motorin (Dizel) kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 3) ...	86
4.4.3 Doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)	87
4.4.4 Yeraltı ocağı ve açık ocak faaliyetinde patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)	89
4.4.5 Atık depolamasından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 4)	93
4.4.6 Kimyasal madde kullanımından kaynaklı emisyonlar (Kategori 1)	97
4.4.7 Kömür tüketiminden kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)	101
4.4.8 Toprağın bozulmasından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 6)	103
4.5 Oluşan Karbondioksit Gazının Dağılımını Gösterir Hava Kalitesi Modelleme Çalışması	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
5.1 Yenilenebilir Enerjinin Karbon Ayak İzini Azaltmadaki Rolü	111
5.2 Hava Kalitesi Modelleme Çalışmasının Değerlendirilmesi	114
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ.....	123

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALTIN-GÜMÜŞ ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE KARBON AYAK İZİ HESAPLANMASI VE ETKİSİNİN AZALTILMASINDA KİLİT ROL OYNAYAN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMI

Nesrin ARHAN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK

ÖZET

Bu çalışma, altın ve gümüş madeni zenginleştirme tesislerinde karbon ayak izinin hesaplanması ve bu ayak izinin azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının oynadığı kritik rolü incelemektedir. Artan enerji talebi ve fosil yakıtların çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Çalışma kapsamında, yenilenebilir enerji kaynaklarının madencilik sektörüne entegrasyonunun çevresel sürdürülebilirliğe katkıları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmada, karbon ayak izinin tanımı, hesaplama yöntemleri ve azaltılması için önerilen stratejiler incelenmiştir. Özellikle, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile enerji verimliliği uygulamaları üzerinde durulmuştur. Madencilik süreçlerindeki enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları analiz edilerek, yenilenebilir enerji entegrasyonunun sektörel etkileri değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon ayak izinin azaltılmasında etkili bir çözüm olarak ortaya konulmuş ve madencilik sektöründe çevresel etkileri hafifletmek için uygulanabilir öneriler sunulmuştur. Bu çalışma, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen stratejilerle madencilik sektörüne rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Tümad Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (TÜMAD) tarafından; 14.08.2015 Tarih ve 3969 Sayılı ÇED Olumlu kararı olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesisinde kendi iç tüketimine yönelik olarak elektrik enerjisini sağlamak amacıyla “Lisanssız Rüzgar Enerji Santrali ((5,5 MWm/5,5 MWe Kapasiteden 6 adet türbin -Toplam:33 MWm/33 MWe))” projesi gerçekleştirilmeyi planlanmaktadır. Tesiste ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerjiden sağlanmasıyla birlikte 61.344 ton CO₂ eşleniği sera gazı salınımı engellenmiş olacaktır. Dolayısıyla söz konusu tesiste oluşması muhtemel 55.771,248 ton CO₂ ‘in nötür hale gelmesi sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, Yenilenebilir Enerji, Çevresel Sürdürülebilirlik, Madencilik, Karbon Emisyonu, Madencilik, Sera Gazı.

Şubat, 2025; 123 sayfa

M.Sc. THESIS

CALCULATION OF CARBON FOOTPRINT IN GOLD-SILVER ENRICHMENT FACILITIES AND THE CRITICAL ROLE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN ITS REDUCTION

Nesrin ARHAN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ebru KOÇAK

ABSTRACT

This study examines the calculation of the carbon footprint in gold and silver ore enrichment facilities and the critical role of renewable energy sources in mitigating this footprint. The increasing energy demand and the environmental impacts of fossil fuels have made adopting renewable energy sources necessary. Within the scope of this study, the contributions of integrating renewable energy sources into the mining sector to environmental sustainability are analyzed in detail. This study investigates the definition of carbon footprint, calculation methodologies, and proposed strategies for its reduction. Particular emphasis is placed on using renewable energy sources such as solar and wind energy and energy efficiency practices. The analysis includes energy consumption and greenhouse gas emissions in mining processes, evaluating the sectoral impacts of renewable energy integration.

As a result, using renewable energy sources is presented as an effective solution for reducing the carbon footprint, and practical recommendations are offered to mitigate environmental impacts in the mining sector. This study aims to guide the mining industry with strategies to enhance energy efficiency and environmental sustainability. Tümad Madencilik San. and Tic. A.Ş. (TÜMAD) by; "Unlicensed Wind Power Plant (6 turbines with a capacity of 5.5 MWm/5.5 MWe - Total) to provide electrical energy for its internal consumption at the Lapseki Gold and Silver Mine and Enrichment Facility, which has EIA results dated 14.08.2015 and numbered 3969. :33 MWm/33 MWe)" project is planned to be realized. Using energy products to meet the energy needs at home will prevent 61,344 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas emissions. Therefore, it was noted that 55,771.248 tons of CO₂, which are likely to occur due to the developments in question, have become neutral.

Keywords: Carbon Footprint, Renewable Energy, Environmental Sustainability, Mining, Carbon Emissions, Greenhouse Gases.

February, 2025; 123 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Örnek rüzgar enerji sistemleri	32
Şekil 1.2. Örnek güneş enerji sistemleri	33
Şekil 1.3. Örnek hidroelektrik santrali	35
Şekil 1.4. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü	35
Şekil 1.5. Dünya yenilenebilir enerji tüketimi	36
Şekil 3.1. Genel iş akım şeması.	54
Şekil 3.2. Pasa sızıntı suyu toplama sistemi.	58
Şekil 3.3. Arıtma tesisleri genel görünüm.	58
Şekil 3.4. Yeraltı atıksu arıtma tesisi.	59
Şekil 3.5 IPCC metodolojisinin aşamaları.	69
Şekil 3.6 Karbon ayak izi hesaplama standartları.	70
Şekil 4.1. Ocak faaliyetinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.	76
Şekil 4.2. Kırma eleme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.	78
Şekil 4.3. Cevher zenginleştirme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.	79
Şekil 4.4. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde elektrik kullanımından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	86
Şekil 4.5. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde motorin kullanımından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	87
Şekil 4.6. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde doğalgaz kullanımından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	89
Şekil 4.7. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	93
Şekil 4.8. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde atık depolanmasından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	97
Şekil 4.9. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kimyasal madde kullanımından kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	101
Şekil 4.10. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kömür tüketiminden kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	103
Şekil 4.11. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kömür tüketiminden kaynaklanan % CO ₂ dağılımı.	105
Şekil 4.12. Çalışma alanını ve çevresini gösterir harita.	107
Şekil 4.13. Tesis faaliyetleri sonucunda oluşan CO ₂ emisyonunun dağılımını gösterir uydu görüntüsü.	108
Şekil 5.1. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kategori dağılımı.	109
Şekil 5.2. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesine ait CO ₂ dağılımı.	110
Şekil 5.3. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesine ait ,% CO ₂ dağılımı.	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Global yenilenebilir enerji senaryosu (2040) (MTEP)*	36
Çizelge 1.2.	Enerji sektöründen kaynaklanan karbon emisyonu (Milyon Ton)	37
Çizelge 1.3.	2012 yılı enerji kaynaklı CO ₂ emisyonları, dünya ve Türkiye	38
Çizelge 3.1.	Oluşan diğer atık kodları.	55
Çizelge 3.2.	İşletmedeki evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesisleri.	60
Çizelge 3.3.	Emisyon ölçüm noktaları.	60
Çizelge 3.4.	Yakıt türlerinin CO ₂ emisyon faktörleri	65
Çizelge 3.5.	Dolaylı sera gazlarının CO ₂ emisyon faktörleri	66
Çizelge 3.6.	Ulaşım kaynaklı dolaylı sera gazı emisyon faktörleri	66
Çizelge 3.7.	Dolaylı sera gazı emisyon faktörleri	67
Çizelge 3.8.	Patlayıcı maddelerden kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri	67
Çizelge 3.9.	Kağıt-karton, metal ve plastik atıkların depolanmasından kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri.....	68
Çizelge 3.10.	Toprak kazınmasından kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri	68
Çizelge 4.1.	Doğrudan sera gazı emisyonları veri kaynakları.	75
Çizelge 4.2.	Enerji dolaylı sera gazı emisyonları veri kaynakları.	75
Çizelge 4.3.	Diğer dolaylı sera gazı emisyonları veri kaynakları.	76
Çizelge 4.4.	Toprak türlerine göre organik karbon içeriği	104
Çizelge 4.5.	Modelleme alanı koordinatları	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

AERMAP	Hava Kalitesi Modelleme Programı Topografik Modülü
AERMED	Hava Kalitesi Modelleme Programı Meteoroloji Modülü
AERMOD	Hava Kalitesi Modelleme Programı
AFOLU	Tarım, Ormancılık ve Arazi Kullanımı
Ag	Gümüş
AMD	Asit Maden Drenajı
ANFO	Amonyum Nitrat-Fuel Oilş
Au	Altın
BOM	Organik Parçalanabilir Madde Oranı
C	Karbon
C.I.P.	Carbon In Pulp
CCaLC₂	Carbon Calculations for Life Cycle Analysis
CCS	Karbon Yakalama ve Depolama
CEO	Üst Düzey Yönetici
CFP	Carbon Footprint of Products
CH₄	Metan
CN⁻	Siyanür
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CNO⁻	Siyanat
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
CO_{2e}	Karbondioksit Eşdeğeri
CO₂-eq	Karbondioksit Eşdeğeri
CO₃²⁻	Karbonat İyonu
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
DMKÜM	Düşük Moleküler Kütleli Üretim Maddesi
DOC	Organik Karbon İçeriği
DOC_f	Organik Karbon Dönüşüm Faktörü
EBRD	Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası
EF	Emisyon Faktörü
EOK	Ekonomik Olmayan Kaya
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ESG	Çevresel, Sosyal ve Yönetim
F	Metan Dönüşüm Faktörü
gCO₂-eq	Gram Karbondioksit Eşdeğeri
GHG	Sera Gazı
GJ	Gigajoule
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
H₂O	Su
ha	Hektar
HC	Hidrokarbon
HCl	Hidroklorik Asit
HFC	Hidroflorakarbon
HSO₄⁻	Sülfat
ICMC	Uluslararası Siyanür Yönetim Kodu
ICMI	Uluslararası Siyanür Yönetim Enstitüsü

IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IFC	International Finance Corporation
INCO	International Nickel Company
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
kg	Kilogram
KPMG	Klynveld Peat Marwick Goerdeler
kWh	Kilowatt Saat
L₀	Metan Üretim Potansiyeli
LCA	Yaşam Çözüm Analizi
LHV	Alt Isıtma Değeri
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
lt	Litre
LULUCF	Arazi Kullanımı ve Ormancılık
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mg	Miligram
MİLRRES	Millî Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi Projesi
MJ	Megajul
mm	Milimetre
MTEP	Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
MW	Megawatt
MWe	Megawatt –Elektrik
MW_m	Megawatt-Mekanik
N₂O	Diazot monoksit
NaCN	Sodyum Siyanür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NF₃	Nitrojen Triflorid
NH₃	Amonyak
NO_x	Azot Oksitler.
O₂	Oksijen
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
OF	Oksidasyon Faktörü
OX	Oksidasyon Faktörü
PFC	Perflorakarbon
PM	Partikül Maddeler
PM_{2.5}	İnce Partikül Maddeler
Q500	500 Yıllık Maksimum Yağış Debisi
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Sistemleri
s	Saniye
SF₆	Sülfür Heksaflorid
SM³	Standard Metreküp
SO₂	Kükürtdioksit.
T	Yakıt Tüketim Miktarı
tC	Karbon Emisyon Faktörü
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	Ton Petrol Eşdeğeri
TJ	Terajoule

TJ/kt	Net Kalori Değer
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜMAD	TÜMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş.
TWh	Terawatt-Saat
UOB	Sanayi Kaynaklı Uçucu Organik Bileşikler
UTM	Urchin İzleme Modülü
UV	Ultraviyole
W	Atık Miktarı
WAD	Weak Acid Dissociable
WWF	Dünya Doğayı Koruma Vakfı
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YSK	Yer Seviyesi Konsantrasyonları
°C	Santigrat Derece
μ	Mikrogram
3E	Enerji, Ekonomi, Çevre



1. GİRİŞ

Sanayileşme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan enerji tüketimi, geleneksel enerji kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmuş, ülkeleri enerji üretim politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir (Yılmaz, 2012). Yenilenebilir enerji kaynakları, şebeke altyapısı güvenliğini artıran, operasyonel esneklik sağlayan ve çevresel etkileri azaltan çözümler olarak büyük ilgi görmüştür (Çıtak ve Kılınç Pala, 2016). Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı madencilik ve zenginleştirme tesislerinin karbon ayak izinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının karbon ayak izini azaltmadaki önemi, enerji üretimi, tüketimi, iletimi, dağıtımı, geliştirilmesi, dolaşımı ve fiziksel tehlikelere karşı korunmasının çeşitli yönlerini kapsayan enerji güvenliği hususlarıyla ilgilenen ülkeler için özellikle önemlidir (Özsoy, 2015). Bu, enerjiyle ilgili kararların daha geniş jeopolitik ve güvenlik sonuçlarını vurgulayarak, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji çözümlerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

İklim değişikliğine olan ilginin artmasıyla birlikte önemli bir popülerlik kazanan karbon ayak izi kavramı, özellikle lojistik, taşımacılık ve tekstil endüstrisi gibi sektörlerde kapsamlı araştırma ve analizleri beraberinde getirmiştir (Turgut ve Budak, 2022). Çalışmalar, modern ekipman teknolojisinin benimsenmesi, enerji verimli uygulamalar, malzemelerin geri dönüştürülmesi ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanılması yoluyla karbon ayak izini azaltma potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının, tekstil endüstrisi ve ulaşım sistemleri de dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel süreçlerin karbon ayak izini azaltmada önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir (Civelekoğlu ve Bıyık, 2018; Coşkun ve Doğan, 2021).

Ayrıca, bölgesel güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve güneş enerjisi santrallerine yapılan yatırımın değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesine ve ithal enerji kaynaklarına bağımlılığın azaltılmasına katkıda bulunmada önemli adımlar olarak vurgulanmıştır (Oral, 2020; Tuna, Tombul ve Varlı, 2022). Bu, yenilenebilir enerji kullanımının çevresel zorlukların üstesinden gelmede ve enerji bağımsızlığına ulaşmada daha geniş etkilerinin altını çizmektedir.

Madencilik ve zenginleştirme endüstrisi bağlamında, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji yoğun süreçlerle ilişkili karbon ayak izinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Ayrıca akıllı şebeke teknolojileri ile enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu operasyonel esnekliği artırabilir ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir (Özdemir vd., 2017).

Sonuç olarak, literatürde yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının madencilik ve zenginleştirme tesislerinin karbon ayak izini azaltmadaki kritik rolünü vurgulamaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının çevresel, ekonomik ve güvenlik hususlarını kapsayan çok yönlü etkilerinin altını çizmekte ve yenilenebilir enerjiyi madencilik ve zenginleştirme tesislerinin faaliyetlerine entegre etmek için kapsamlı stratejilere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Bu çalışma ile amaçlanan, altın ve gümüş madeni çıkarma ve zenginleştirme süreçlerinde karbon ayak izinin hesaplanması ve azaltılmasında, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının rolünü anlamaktır. Genel hedef ise madencilik endüstrisinde çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve enerji verimliliğini optimize etmek için uygun stratejileri belirlenmesine katkı sunmak ve literatürde bir örnek teşkil etmektir.

1.1 Madencilik ve Zenginleştirme Tesislerinin Olumsuz Çevresel Etkileri

Madencilik sektörü, sanayi devriminden bu yana ekonomik kalkınmanın temel taşlarından biri olmuş ve modern toplumların gelişimi için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Ancak, bu sektörün çevresel etkileri, özellikle son yüzyılda artan üretim ve tüketim ihtiyaçlarıyla birlikte, ulusal ve uluslararası ölçekte yoğun bir şekilde tartışılmaktadır.

Madencilik faaliyetleri, doğal kaynakların çıkarılması ve işlenmesi sırasında çevrede çeşitli bozulmalara neden olmaktadır. Özellikle su, toprak ve hava kirliliği; biyolojik çeşitliliğin azalması; atık yönetimi sorunları ve gürültü kirliliği gibi etkiler, hem ekosistemlerin hem de toplumların sürdürülebilirliği üzerinde büyük tehditler oluşturmaktadır. Bu etkiler, yalnızca yerel çevreyi değil, sınır aşan kirlilik, iklim değişikliği ve uluslararası hukuki düzenlemeler aracılığıyla küresel çevre politikalarını da etkilemektedir.

Türkiye gibi doğal kaynaklar açısından zengin ülkelerde madencilik faaliyetleri ekonomik kalkınma için büyük bir fırsat sunarken, aynı zamanda çevresel maliyetleri artırmaktadır. Örneğin, Türkiye’de Artvin, Zonguldak ve Kaz Dağları gibi bölgelerde yapılan madencilik faaliyetleri, yerel ekosistemleri ve su kaynaklarını tehdit eden sorunlar ortaya çıkarmıştır. Uluslararası alanda ise Brezilya, Kanada ve Afrika gibi bölgelerdeki madencilik projeleri, büyük ölçekli çevresel felaketlere ve habitat kayıplarına yol açmıştır. Bu nedenle, madencilik ve zenginleştirme tesislerinin çevresel etkileri, hem yerel topluluklar hem de küresel çevre politikaları açısından önemli bir inceleme alanıdır. Altın madenciliği özelinde değerlendirme yapılacak olursa, yasal mevzuatın sıkı şekilde denetlendiği, operasyonların kontrollü yürütüldüğü ve güvenli üretim metodlarını uygulayan şirketlerde proje ayak izlerinin minimuma indirilmesi için çalışmalar da yapılmaktadır. Örneğin TÜMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş., Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası’ndan (EBRD) finansman sağlanarak işletmelerini hayata geçirmesi sebebiyle Türkiye Ulusal Mevzuatı’nın yanında IFC, Ekvator Prensipleri gibi uluslararası kabul görmüş standartların uygulanmasını da taahhüt etmiş ve projelerinin anahtar performans göstergelerini en güvenli üretimi sağlayacak şekilde proje standartlarını oluşturarak izlemiştir.

Bu çalışma ayrıca, madencilik ve zenginleştirme tesislerinin çevresel etkilerini ulusal ve uluslararası düzeyde kapsamlı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Çeşitli çevresel etkiler detaylı olarak incelenecek ve bu etkilerin minimize edilmesi için sürdürülebilir madencilik uygulamalarının önemi vurgulanacaktır.

Maden faaliyetlerinin çevresel etkileri detaylı olarak irdelenmiş olup aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Madencilik sırasında oluşan asit maden drenajı ve ağır metal sızıntıları, özellikle su ekosistemleri üzerinde kalıcı hasarlar bırakmaktadır. Örneğin; Türkiye’deki Artvin madencilik sahasında yapılan bir çalışma, yerel su kaynaklarının kirlilik nedeniyle kullanılamaz hale geldiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, uluslararası düzeyde Brezilya’da yaşanan Mariana Barajı Felaketi, 40 milyon metreküp toksik atığın nehir sistemlerine karışmasına neden olmuş ve bu durum küresel ölçekte dikkat çekmiştir. TÜMAD Madencilik İşletmeleri’nin asit maden drenajı açısından değerlendirmeleri ÇED sürecinde yapılmış, ocaklarda yapılan arama çalışmaları sırasında elde edilen karotlardan numunelendirme yapılarak

üniversite ve akredite laboratuvarlarda analizleri yapılmıştır, bu değerlendirmeler sonucunda inert özellikte çıkan analiz sonuçlarında asit üretme potansiyeli olan kayalar için enkapsülasyon planları oluşturulmuş ve nötralizasyon potansiyeli yüksek olan kayalarla harmanlanarak asit maden drenajı oluşumu engellenmektedir.

- Madencilik faaliyetleri sırasında yapılan kazılar, toprağın doğal yapısını bozarak erozyona ve habitat kaybına neden olmaktadır. Örneğin, Türkiye’de Zonguldak’taki kömür madenciliği faaliyetleri, bölgedeki ormanların tahribatına yol açmıştır. Uluslararası düzeyde Avustralya’da yapılan açık ocak kömür madenciliği, doğal habitatların yok olmasına ve geniş alanlarda tarım yapılmasını engellemiştir. TUMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Doğaya Yeniden Kazandırma Planları kapsamında sadece operasyon yürütülen alanlarda değişiklik yapılmış olup, faaliyeti biten alanlarda en kısa sürede rehabilitasyon faaliyetleri yapılarak doğaya yeniden kazandırma, görsel etki iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.
- Zenginleştirme tesislerinde kullanılan kimyasallar ve madencilik sırasında oluşan toz, hava kirliliği yaratmaktadır. Türkiye’de siyanür liçi yöntemiyle altın çıkarılan tesislerde, hava kirliliği yerel halkın sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı şekilde, Çin ve Hindistan gibi ülkelerdeki yoğun madencilik faaliyetleri, dünya çapında kükürt dioksit emisyonlarının başlıca kaynağı olmuştur. TUMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. operasyonlarında sürekli izleme sistemleri ile operasyon optimum düzeyde yürütülmekte, emisyon ölçümleri 24/7 izleme yapan istasyonlarda kontrol edilmektedir. Toz bastırma çalışmaları ile tozu minimize ederken, kimyasal kullanımından kaynaklı emisyonların operasyonel kontrollerle güvenli şekilde yürütüldüğü kanıtlanmaktadır.
- Kaz Dağları’nda altın madenciliği faaliyetleri, biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi etkiler yaratmıştır. Bu bölgedeki endemik bitkiler ve hayvan türleri, habitat tahribatı nedeniyle tehdit altına girmiştir. Küresel ölçekte ise Kongo Havzası’ndaki altın madenciliğinde ki özensiz çalışılması, dünyanın en büyük ormanlarından birinin tahrip edilmesine neden olmuştur. TUMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. operasyonlarında faaliyet sahaları çevresinde stok popülasyonların oluşturulması ve korunması, endemik bitki türlerinin tohumlarının toplanarak gen bankaları ile paylaşılması ve faaliyetlerden etkilenecek endemik bitki türlerinin benzer habitatlara transferinin sağlanmasıyla biyoçeşitlilik sürdürülebilirliğini

sağlamaktadır. Faaliyeti biten alanlarda habitatına uygun bitkisel toprak serimi sonrasında, vejetasyonu sağlayarak faaliyet öncesi kullanımlara tekrar açmaktadır.

- Maden atıklarının uygun şekilde bertaraf edilmemesi, yerel ve uluslararası çevre sorunlarına neden olmaktadır. Türkiye’de maden atık barajlarının yetersizliği, olası taşkın ve sızıntı risklerini artırmaktadır. Kanada’da 2014 yılında yaşanan Mount Polley Barajı Çöküşü ise, milyonlarca ton toksik atığın ekosisteme karışmasına neden olmuştur. TÜMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. operasyonlarının ikisi de Uluslararası Siyanür Yönetim Enstitüsü (ICMI) tarafından verilen Uluslararası Siyanür Yönetim Kodu (ICMC) sertifikalı sahalar olup, bu sertifikalandırmaları “tam uyum” süreciyle tamamlamıştır, siyanürün en güvenli şekilde kullanımı ve operasyon güvenliğini sağlamayı ilke edinmiştir. Projeleri 500 yıllık maksimum yağış (Q500) referans alınarak projelendirilmiş ve tamamlanmıştır, operasyona geçmeden önce tüm alanlar çoklu gözlem ve kontrol hiyerarşisiyle denetlenmiş ve resmi kurumlarda onaylanmıştır. Tüm afet koşullarına hazırlıklı ve güvenlik önlemleri alınmış sahalarda operasyon yürütülmektedir.

1.2 Çevre Kirliliği

Çevre kirliliği, çevresel kaynakların insan faaliyetleri sonucunda zarar görmesiyle ekolojik dengenin bozulması olarak tanımlanır. Bu durum, çevrenin doğal işleyişini etkiler ve hava, su, toprak gibi temel unsurlar üzerinde çeşitli sorunlara yol açar (Akgün, 2006). Hava kirliliği, çevre kirliliğinin en yaygın türlerinden biridir ve sanayi devriminden bu yana artarak küresel bir sorun haline gelmiştir. Fosil yakıtların yanması, endüstriyel emisyonlar ve araç egzozları, atmosferdeki sera gazı birikimlerini artırmaktadır. Bu durum küresel ısınma ve iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (Gürkaynak, 2019). Su kirliliği, atıkların ve toksik kimyasalların su kaynaklarına bırakılmasıyla oluşmaktadır. Bu durum, içme suyu kaynaklarını kirlettiği gibi ekosisteme zarar vererek biyoçeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Toprak kirliliği, tarımsal ilaçlar ve kimyasal gübrelerin yoğun kullanımıyla meydana gelmektedir. Kirlenmiş topraklar, gıda üretimini etkileyerek küresel gıda güvenliği sorunlarını artırmaktadır (Cüre, 2022).

1.3 Hava Kirliliği

Hava kirliliği, atmosferde insan kaynaklı ve doğal süreçlerden kaynaklanan zararlı dağılımın sonucu çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olan bir olgu olarak sınıflandırılmıştır. Sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıt kullanımında meydana gelen artış, özellikle kükürt dioksit (SO_2), karbonmonoksit (CO) ve azot oksitler (NO_x) gibi gazların yoğun şekilde atmosfere salınmasına yol açmıştır (Elkoca, 2003).

Hava kirliliğinin en büyük kaynakları, sanayi tesislerinden çıkan emisyonlar, motorlu taşıtlardan yayılan egzoz gazları ve enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların yanmasıdır. Bu gazlar, atmosferdeki sera gazı birikimini artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açmaktadır (Bayraktar, 2010). Ayrıca, hava kirliliği insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler bırakmakta; solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler problemler ve kansere kadar uzanan bir sağlık riski oluşturmaktadır (Yılmaz, 2019).

1.3.1 Fosil yakıtların yakılması kaynaklı hava kirliliği

Fosil yakıtların yakılması, hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biridir. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların enerji üretiminde ve ulaşımda yoğun bir şekilde kullanılması, kükürtdioksit (SO_2), karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO) ve azot oksitler (NO_x) gibi zararlı gazların atmosfere salınmasına neden olmaktadır (Özlü, 1995). Bu gazlar, hem insan sağlığını doğrudan etkiler hem de atmosferde birikerek sera etkisi ve asit yağmurları gibi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Yerli vd., 2020).

Özellikle kömürle çalışan termik santraller, kükürt dioksit ve partikül madde emisyonlarının başlıca kaynakları arasındadır. Bu emisyonlar, insan sağlığı üzerinde solunum yolu hastalıkları ve akciğer kanseri gibi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Motorlu taşıtların egzoz gazları da hava kirliliğinde önemli bir role sahiptir ve kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde hava kalitesini ciddi anlamda düşürmektedir (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

1.3.2 Tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı hava kirliliği

Tarım ve hayvancılık faaliyetleri, genellikle yerel düzeyde başlayan ancak küresel etkiler doğurabilen önemli bir hava kirliliği kaynağıdır. Özellikle tarımda kullanılan gübreler ve pestisitler, amonyak (NH_3) gibi gazların atmosfere salınmasına neden

olmaktadır. Amonyak, atmosferde diğ er gazlarla reaksiyona girerek ince partikül maddelerin (PM_{2.5}) oluşumuna katkıda bulunur ve bu durum hem insan sağlığını hem de çevresel dengeyi olumsuz etkilemektedir (Dodurka vd., 2023).

Hayvancılık sektörü ise metan (CH₄) ve Diazot monoksit (N₂O) gibi g   l  sera gazlarının önemli bir kaynağıdır. Özellikle büyükbaş hayvanların sindirim süreçleri ve gübre yönetimi, bu gazların atmosfere yayılmasında başlıca etkenlerdendir (Koyuncu ve Akgün, 2018). Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan metan emisyonları, küresel ısınmaya katkıda bulunarak iklim değişikliği üzerinde ciddi bir etki yaratmaktadır.

1.3.3 Sanayi kaynaklı hava kirliliği

Sanayi, hava kirliliğine neden olan en önemli insan faaliyetlerinden biri olmaktadır. Endüstriyel  retim süreçleri sırasında atmosfere yayılan zararlı gazlar, partikül maddeler ve kimyasal bileşenler,  evre ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Özellikle  imento, demir- elik ve enerji üretimi gibi ağır sanayi tesisleri, kükürtdioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve karbonmonoksit (CO) gibi gazların atmosfere salınmasında başlıca kaynakları arasındadır (Dallı ve Kütükçü, 2023).

Termik santraller gibi enerji üretim tesislerinden yayılan karbondioksit (CO₂) emisyonları, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en büyük nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Ayan, 2008). Ayrıca, sanayi kaynaklı uçucu organik bileşikler (UOB) ve ağır metaller, hava kalitesini düşürmekte ve asit yağmurları gibi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Orhan, 2012).

Sanayi kaynaklı hava kirliliği, hem yerel düzeyde solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarına neden olmakta hem de küresel düzeyde iklim krizine katkıda bulunmaktadır. Bu durum, endüstriyel süreçlerin daha  evre dostu teknolojilerle gerçekleştirilmesini gerektirmektedir.

1.3.4 Motorlu taşıtlardan kaynaklı hava kirliliği

Motorlu taşıtlar, fosil yakıt kullanımı nedeniyle hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Kelen, 2014). Benzin ve dizel yakıtlarla çalışan taşıtlar, karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar

(HC) ve partikül maddeler (PM) gibi zararlı emisyonların atmosfere salınmasına yol açmaktadır (Coşkun, 2008). Bu emisyonlar, hem yerel hava kalitesini düşürmekte hem de sera etkisi yaratarak küresel ısınmayı artırmaktadır (Nalioğlu, ty).

Kentleşme ve araç sayısındaki artış, trafik yoğunluğu ile birlikte motorlu taşıt kaynaklı hava kirliliğini önemli ölçüde artırmıştır (İlkılıç ve Behçet, 2006). Egzoz gazlarında bulunan partikül maddeler, solunum yolu hastalıkları ve kalp rahatsızlıklarına neden olmakta, özellikle büyükşehirlerde yaşayanlar için ciddi bir sağlık riski oluşturmaktadır. Elektrikli ve hibrit araçların yaygınlaşması, bu emisyonların azaltılmasında önemli bir çözüm olarak görülmektedir (Tören ve Mollahasanoğlu, 2022).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, şehirlerde hava kalitesinin düşmesinin başlıca nedenlerinden biri olmaktadır. Yoğun trafik, düşük kaliteli yakıt kullanımı ve eski araçlar, bu kirliliğin artmasına katkıda bulunmaktadır. Hava kirliliğini azaltmak için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, temiz yakıt kullanımı teşvik edilmeli ve daha az yanma yaratan yakıtların desteklenmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, fosil yakıt kullanımını azaltan veya tamamen ortadan kaldıran elektrikli ve hibrit araçların yaygınlaştırılması, hava kirliliğinin önemli ölçüde azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Araçların düzenli bakımı da büyük önem taşımaktadır; motorların verimli çalışmasını sağlamak ve egzoz emisyonlarını azaltmak için düzenli bakım yapılması gereklidir. Bununla birlikte, bireysel araç kullanımını azaltmak amacıyla toplu taşımanın teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması, trafik yoğunluğunu ve hava kirliliğini azaltmada etkili bir yöntem olacaktır.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, sadece çevreyi değil, aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz etkileyen ciddi bir sorundur. Bu sorunun çözümü için bireysel, kurumsal ve toplumsal düzeyde etkili önlemler alınması gerekmektedir. Elektrikli araçların yaygınlaştırılması, temiz yakıtların kullanılması ve toplu taşımanın teşvik edilmesi, bu sorunun çözümüne yönelik önemli adımlardan bazılarıdır.

1.3.5 Isınmadan kaynaklı hava kirliliği

Isınma amaçlı fosil yakıtların kullanımı, özellikle kış aylarında hava kirliliğinin önemli bir kaynağıdır (Çetin ve Demirci, 2016). Kömür, odun ve diğer katı yakıtların

yakılması sonucunda atmosfere karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂) ve ince partikül maddeler (PM_{2.5}) gibi zararlı maddeler salınmaktadır (Alkan, 2018). Bu emisyonlar, özellikle düşük hava sirkülasyonuna sahip bölgelerde yerel hava kalitesini ciddi anlamda düşürür ve kış aylarında "hava kirliliği episotları" olarak adlandırılan durumlara neden olabilmektedir (Sağlar, E. 2019).

Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği, kırsal alanlarda geleneksel yöntemlerle ısınma sağlayan hanelerde daha yaygınlaşmıştır (Fertelli, 2020). Kentleşme ile birlikte doğal gaz kullanımının yaygınlaşması bu kirliliği azaltmakla birlikte, hâlâ ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir (Koçu ve Dereli, 2008). Sağlık açısından bakıldığında, bu kirlilik türü solunum yolu enfeksiyonları, astım ve kardiyovasküler hastalıkların artmasına neden olmaktadır (Balta, T. vd., 2015).

Isınma kaynaklı hava kirliliğinin sağlık üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireylerde solunum yolu hastalıklarına neden olabilmekte; ayrıca kalp hastalıkları ve kanser riskini artırdığı gözlemlenmektedir. Bu durum, yerel sağlık sistemlerine önemli bir yük oluşturmaktadır. Çevresel etkiler açısından ise ısınmadan kaynaklanan emisyonlar, asit yağmurlarına yol açarak toprak ve suyun asitlenmesine neden olmaktadır. Bu etkiler, bitki örtüsünün zarar görmesine, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve ekosistem dengesinin bozulmasına katkı sağlamaktadır. Bu sorunların çözümü için etkin yönetim stratejileri geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

1.3.6 Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı hava kirliliği

Madencilik faaliyetleri, çevre üzerindeki etkileri bakımından hava kirliliğinin önemli bir kaynağı olmaktadır. Maden çıkarma, işleme ve taşımacılık süreçlerinde toz, partikül madde (PM), metan (CH₄) ve çeşitli gazlar atmosfere salınmaktadır (Mentese ve Böbrek, 2020). Özellikle açık maden ocaklarından yayılan ince partiküller, yerel hava kalitesini düşürerek solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır (Aydın, 2012).

Kömür madenciliği sırasında salınan metan gazı, güçlü bir sera gazı olması nedeniyle küresel ısınma üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Ayrıca, cevherlerin işlenmesi sırasında kullanılan kimyasal maddeler ve emisyonlar, atmosferde zararlı gaz birikimlerine yol açmaktadır (Demirarslan ve Kaya, 2017). Madencilik sektörü, hem

yerel hava kalitesini hem de küresel iklim dengesini etkileyen çok yönlü bir hava kirliliği kaynağıdır (Demirarslan ve Kaya, 2017). Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliğinin sebep olabileceği çevre, sağlık ve küresel etkileri aşağıda sunulmuştur.

- ✓ Çevresel Etkiler: Madencilik süreçleri yoluyla minerallerin ve kaynakların çıkarılması çevredeki ortama önemli ölçüde zarar verir. Bu işlemler sırasında açığa çıkan toksik ürünler ve kimyasallar yalnızca yerel bitki örtüsünü tahrip etmekle kalmaz, aynı zamanda yakındaki su kaynaklarını da kirleterek ekolojik sonuçlara yol açar. Madencilik faaliyetleri tarafından yayılan kirleticilerden kaynaklanabilen asit yağmuru, toprak asitlenmesini şiddetlendirir ve su ekosistemleri için uygun olmayan bir ortam yaratır. Dahası, madenciliğin neden olduğu bozulma doğal yaşam alanlarını değiştirir ve bitki büyümesini ve biyolojik çeşitliliği sürdürmek için hayati önem taşıyan karmaşık toprak katmanlarına zarar verir.
- ✓ Sağlık Etkileri: Madencilik sahalarının içindeki ve çevresindeki hava kalitesi, yerel topluluklar ve çalışanlar için ciddi sağlık riskleri oluşturan zararlı kirleticilerin salınması nedeniyle sıklıkla bozulur. Bu alanların yakınında yaşayan kişiler, kronik solunum yolu hastalıkları, akciğer kanseri, cilt rahatsızlıkları ve kirli hava ve topraktan kaynaklanan ağır metal zehirlenmesi gibi bir dizi sağlık sorunu yaşayabilir. Bu tehlikeli koşullara uzun süre maruz kalmak, bu hastalıkların ilerlemesine yol açabilir ve birçok kişinin yaşam kalitesini etkileyen giderek daha ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.
- ✓ Küresel Isınma: Madencilik faaliyetleri, metan gibi sera gazlarının salınması yoluyla küresel ısınmaya katkıda bulunmada önemli bir rol oynar. Madencilik süreçleri sırasında atmosfere salınan bu emisyonlar, ısıyı hapseder ve gezegenimizin ısınmasını hızlandırır. Bu sera gazlarının etkisi, küresel sıcaklıkların artmasına yol açar ve iklim sistemimizde bir dengesizliğe katkıda bulunarak aşırı hava olaylarını arttırarak, küresel ölçekte ekolojik istikrarı tehdit eder.

1.4 Küresel Isınmaya Sebep Olan Sera Gazları

Küresel ısınma, atmosferdeki sera gazlarının birikimi sonucu Dünya yüzeyinin sıcaklığının artması olarak tanımlanmaktadır (Reyhan ve Reyhan, 2019). Bu gazlar,

güneşten gelen radyasyonu absorbe ederek atmosferde bir "sera etkisi" oluşturmakta ve bu durum küresel iklim değişikliklerini tetiklemektedir (Türkay, 2018).

En yaygın sera gazları arasında karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), Diazot monoksitler (N₂O) ve florlu gazlar (HFC'ler, PFC'ler) yer almaktadır (Bekiroğlu, 2011). Karbondioksit fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanmakta ve toplam sera gazı emisyonlarının en büyük kısmını oluşturmaktadır. Metan gazı, özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile organik atıkların çürümesi sırasında atmosfere salınmaktadır (Şahin ve Avcıoğlu, 2016). Azot oksitler ise gübreleme, endüstriyel prosesler ve fosil yakıt yanmasından kaynaklanmaktadır (Çetin, 2001). Bu gazlar, sera etkisi yaratmanın yanı sıra ozon tabakasına da zarar vermektedir (Turalıoğlu, 2011). Florlu gazlar ise soğutma sistemleri, klima cihazları ve endüstriyel uygulamalardan kaynaklanır ve oldukça güçlü sera etkisi yaratmaktadır (Kılıç ve Şimşek, 2009).

Küresel ısınma, iklim sistemini ve hava olaylarını derinden etkileyen ciddi bir çevresel sorun haline gelmiştir. Dünya genelinde sıcaklıkların artması, iklim modellerinde belirgin değişimlere yol açmaktadır. Aşırı sıcaklıkların yanı sıra kuraklıklar, yoğun yağışlar, sel ve kasırgalar gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır. Bu durum, hem doğal ekosistemler hem de insan yaşamı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Özellikle kıyı bölgelerinde, deniz seviyelerinin yükselmesi nedeniyle sel, toprak kaybı ve habitat tahribatı gibi sorunlar yaşanmaktadır. Deniz seviyelerindeki yükselmenin başlıca nedeni, kutuplardaki buzulların erimesidir. Bu durum, kıyı topluluklarının yaşam alanlarını daraltmakta ve onları iklim değişikliğinin etkilerine karşı daha savunmasız hale getirmektedir.

Atmosfere salınan karbondioksit gibi sera gazlarının bir kısmı, okyanuslarda çözünerek suyun kimyasını değiştirmekte ve asitlenmeye neden olmaktadır. Okyanus asitlenmesi, özellikle mercan resifleri ve kabuklu deniz canlıları gibi deniz ekosistemlerini olumsuz etkilemektedir. Bu ekosistemlerin zarar görmesi, deniz yaşam zincirinin dengesini bozarak biyoçeşitlilik kayıplarına yol açmaktadır. Aynı şekilde, küresel ısınma kara ekosistemlerini de olumsuz etkilemekte, bitki ve hayvan türlerinin yaşam alanlarını ve göç desenlerini bozmakta, üreme döngülerini kesintiye uğratmaktadır. Bazı türlerin bu hızlı değişimlere uyum sağlayamaması, yok olma

tehlikesini artırmaktadır. Biyoçeşitlilik kayıpları ise ekosistemlerin sağladığı temel hizmetlerin aksamasına neden olmaktadır.

Küresel ısınmanın tarım ve gıda güvenliği üzerindeki etkileri de endişe vericidir. Değişen iklim koşulları, tarımsal üretimi olumsuz etkileyerek gıda arzını tehdit etmektedir. Kuraklıklar, aşırı sıcaklıklar ve düzensiz yağış desenleri tarımsal verimliliği düşürmekte ve tarım sektöründeki belirsizlikleri artırmaktadır. Gıda üretimindeki bu dalgalanmalar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaşayan toplulukları daha fazla etkilemektedir. Buna ek olarak, küresel ısınma insan sağlığı üzerinde de ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Sıcak hava dalgaları, solunum yolu hastalıkları, su kaynaklı enfeksiyonlar ve gıda güvenliği sorunları gibi sağlık sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklıklar, ayrıca tropikal hastalıkların daha geniş coğrafyalara yayılmasını tetiklemektedir. Bu durum, halk sağlığı sistemleri üzerinde ek bir yük oluşturmakta ve toplumların iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını azaltmaktadır.

Küresel ısınmaya neden olan sera gazları, Dünya'nın atmosferinde birikerek sıcaklıkların artmasına yol açmaktadır. Bu gazların, insan faaliyetleri ve doğal süreçlerden kaynaklanan emisyonlarla atmosfere salınması, sera etkisini güçlendirmekte ve iklim değişikliğini daha da şiddetlendirmektedir. Özellikle fosil yakıt kullanımı, sanayi faaliyetleri, ormansızlaşma ve tarımsal uygulamalar bu gazların salımında önemli bir paya sahiptir. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve ekosistemlerin korunması gibi stratejik önlemler alınması gerekmektedir. Ancak bu önlemlerin etkinliği, bireylerin, kurumların ve hükümetlerin ortak çabasıyla mümkün olacaktır.

1.4.1 Karbondioksit

Karbondioksit (CO₂), küresel ısınmaya neden olan en yaygın sera gazının başında gelmektedir (Doğan, Doğan ve Tüzer, 2022). Fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) enerji üretiminde kullanılması, ormansızlaşma ve endüstriyel süreçler karbondioksit emisyonlarının başlıca kaynaklarındandır (Başoğlu, 2014). Atmosfere salınan CO₂, uzun süre boyunca atmosferde kalır ve bu durum sera etkisinin güçlenmesine neden olmaktadır (Demirtürk, 2021).

Karbondioksit, toplam sera gazı emisyonlarının en büyük paya sahip olan emisyonudur (Kızılkaya, Sofuoğlu ve Çoban, 2016). Bu gazın küresel ısınmaya etkisi, sanayi devriminden bu yana hızla artışı gözlenmektedir (Çetintaş vd., 2016). Özellikle enerji sektörü, CO₂ emisyonlarının en büyük kaynaklarından biridir; fosil yakıtların yanmasıyla büyük miktarda karbondioksit atmosfere salmaktadır (Alper ve Alper, 2017). Ayrıca, ormanların yok edilmesiyle, bitkilerin karbon depolama kapasitesi azalmakta ve karbon salınımı artmaktadır. Küresel ısınma üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, CO₂ emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve karbon yakalama teknolojilerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Karbondioksit, doğal süreçler ve insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan en yaygın sera gazlarından biridir. Doğal kaynaklar arasında solunum, fotosentez, volkanik faaliyetler ve okyanuslar önemli bir yer tutmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar, solunum yoluyla oksijen alıp karbondioksit vermekte, bu süreç atmosfere karbondioksit salınımının en temel doğal yollarından birini oluşturmaktadır. Öte yandan, bitkiler fotosentez yoluyla atmosferdeki karbondioksiti alıp oksijene dönüştürerek karbon döngüsünde hayati bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, volkanik patlamalar sırasında atmosfere büyük miktarda karbondioksit salınmakta ve bu da karbon döngüsünün bir parçası olarak dikkate değer bir etki yaratmaktadır. Okyanuslar ise hem atmosferden karbondioksiti emebilmekte hem de suyun ısınması veya deniz canlılarının solunumu gibi süreçler sonucunda tekrar atmosfere karbondioksit salabilmektedir. Bu doğal süreçler, karbondioksitin atmosferdeki döngüsünü sürekli kılmaktadır.

Karbondioksitin insan kaynaklı emisyonları ise modern dünyanın enerji üretimi ve tüketim alışkanlıkları nedeniyle büyük bir artış göstermektedir. Fosil yakıtların, özellikle kömür, petrol ve doğal gazın, enerji üretimi, ulaşım ve sanayi alanlarında yoğun bir şekilde yakılması sonucunda büyük miktarda karbondioksit atmosfere salınmaktadır. Ormansızlaşma, karbondioksit emme kapasitesini azaltarak ve kesilen ağaçların depoladığı karbonun atmosfere salınmasına yol açarak bu sorunu daha da büyötmektedir. Sanayi faaliyetleri, özellikle çimento üretimi ve kimya endüstrisi gibi alanlar, karbondioksit emisyonlarında önemli bir paya sahiptir. Ayrıca, tarım sektörü de kullanılan makineler ve kimyasal gübreler nedeniyle karbondioksit salınımına

katkıda bulunmaktadır. Bu insan kaynaklı emisyonlar, atmosferdeki karbondioksit seviyesini artırarak küresel ölçekte ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır.

Artan karbondioksit seviyelerinin etkileri arasında sera gazı etkisi ve küresel ısınma, okyanus asitlenmesi ve iklim değişikliği önemli bir yer tutmaktadır. Karbondioksit, atmosferdeki en yaygın sera gazlarından biri olarak, güneşten gelen ısının bir kısmını tutmakta ve Dünya'nın sıcaklığını artırmaktadır. Bu süreç, küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Atmosferdeki fazla karbondioksit, okyanuslar tarafından emilmekte ve bu da okyanus sularının asitlik seviyesini artırmaktadır. Okyanus asitlenmesi, özellikle mercan resifleri ve kabuklu deniz canlıları gibi deniz ekosistemleri üzerinde zararlı etkiler yaratmakta ve bu ekosistemlerin hassas dengesini bozmaktadır. Karbondioksit seviyelerindeki artış, aynı zamanda iklim sistemlerinde değişikliklere yol açarak daha sık ve şiddetli hava olaylarına, deniz seviyelerinin yükselmesine ve ekosistemlerin bozulmasına neden olmaktadır. Bu değişimler, hem doğal çevreyi hem de insan yaşamını tehdit eden ciddi sorunlara zemin hazırlamaktadır. Karbondioksit salınımının kontrol altına alınması, hem doğal süreçlerin dengede tutulması hem de küresel iklim değişikliği ile mücadele edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

1.4.2 Diazot monoksit

Diazot monoksit (N_2O), küresel ısınmaya neden olan en güçlü sera gazlarından biri olarak görülmektedir. Özellikle tarım faaliyetleri, gübre kullanımı, fosil yakıtların yakılması ve atık yönetimi süreçleri, diazot monoksit salınımının başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır (Kaygusuz, 2022). Bu gazın atmosferde uzun süre kalabilmesi ve ısı tutma potansiyelinin yüksek olması küresel ısınma üzerindeki etkisini artırmaktadır (Köknaroğlu ve Akünel, 2010).

Diazot monoksit, özellikle azotlu gübrelerin aşırı kullanımıyla ortaya çıkar (Güler, 2018). Bu gübreler, toprakta mikroorganizmalar tarafından parçalanarak N_2O 'ya dönüşür ve atmosfere salınmaktadır (Cüre, 2022). Ayrıca, fosil yakıtların yanması ve bazı endüstriyel prosesler de bu gazın emisyonlarına katkıda bulunmaktadır.

Diazot monoksit, küresel ısınmaya katkısının yanı sıra, ozon tabakasını incelten kimyasallar arasında da yer almaktadır. Bu nedenle, bu gazın emisyonlarının

azaltılması, hem küresel ısınma hem de ozon tabakasının korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Diazot monoksit (N_2O), çevresel etkileri açısından oldukça önemli bir gazdır ve sera gazı etkisiyle küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Karbondioksit'e kıyasla daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olan diazot monoksit, atmosferde uzun süre kalıcıdır ve bu özelliği, küresel iklim değişikliği üzerindeki etkisini daha da artırmaktadır. N_2O 'nun bir diğer önemli çevresel etkisi ozon tabakası üzerindeki yıkıcı etkileridir. Atmosferin stratosfer tabakasına ulaştığında, ozon tabakasına zarar veren kimyasal reaksiyonlara yol açabilmekte ve bu da ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. Ozon tabakasındaki bu incelme, güneşin zararlı ultraviyole (UV) ışınlarının Dünya'ya daha fazla ulaşmasına sebep olarak cilt kanseri ve diğer sağlık sorunları riskini artırmaktadır. Ayrıca, tarım ve hayvancılık faaliyetleri diazot monoksit salınımında başlıca kaynaklar arasında yer almaktadır. Tarımda kullanılan azotlu gübreler, topraktaki mikroorganizmalar tarafından diazot monoksit'e dönüştürülerek atmosfere salınırken, hayvancılık faaliyetleri de önemli bir N_2O kaynağı oluşturmaktadır.

Diazot monoksit emisyonlarının azaltılması, küresel ısınmayı yavaşlatma çabalarının önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda, sürdürülebilir tarım uygulamaları öncelikli stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Azotlu gübrelerin daha verimli kullanılması ve alternatif gübre yönetim yöntemlerinin benimsenmesi, N_2O emisyonlarının azaltılmasında etkili olmaktadır. Bunun yanında, ileri teknolojiler ve araştırmalar, diazot monoksit salınımını azaltmaya yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle, gübrelerin yavaş salınımlı formüllerinin geliştirilmesi ve alternatif gübre uygulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, tarım kaynaklı emisyonları azaltmada önemli bir adım olarak görülmektedir. Çevresel politikalar ve yasal düzenlemeler de bu süreçte kilit bir rol oynamaktadır. Hükümetler, tarım ve sanayi sektörlerinde N_2O emisyonlarını azaltmaya yönelik düzenlemeler ve teşvikler sağlayarak bu hedefe ulaşılmasına katkıda bulunabilir.

Diazot monoksit, sağlık üzerinde de belirli etkiler yaratabilmektedir. Tıbbi alanda, özellikle anestezi amaçlı kullanımı yaygın olmakla birlikte, bu kullanım kontrollü ve dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Aşırı veya yanlış kullanımı, ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Çevresel seviyelerde genellikle düşük toksisiteye sahip

olmasına rağmen, yoğun endüstriyel maruziyet durumlarında risk oluşturabilmektedir ve bu tür durumlarda önleyici tedbirlerin alınması gereklidir.

Sonuç olarak, diazot monoksit hem endüstriyel hem de çevresel açıdan dikkatle yönetilmesi gereken bir gazdır. Sera gazı olarak güçlü bir etkisi olması, onun küresel ısınmaya karşı mücadelede kritik bir rol oynamasına neden olmaktadır. N_2O emisyonlarının azaltılması, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sağlık açısından da daha sürdürülebilir bir gelecek için atılması gereken önemli adımlardan biridir.

1.4.3 Metan

Metan (CH_4), küresel ısınmaya neden olan en etkili sera gazlarından biri olarak görülmektedir (Koyuncu ve Akgün, 2018). Atmosferdeki konsantrasyonu, sanayi devriminden bu yana önemli ölçüde artmış ve iklim değişikliği üzerindeki etkisi dikkat çekici bir boyut kazanmıştır. Metan gazının küresel ısınmaya etkisi, karbondioksitten yaklaşık 28-34 kat daha güçlü olma özelliğine sahiptir (Airqoon, 2022).

Metan, başlıca tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Koyuncu ve Akgün, 2018). Özellikle büyükbaş hayvanların sindirim süreçleri ve pirinç tarlalarındaki anaerobik bakterilerin faaliyetleri, bu gazın atmosfere salınmasında etkili oluşturmıştır (Tunçez ve Soylu, 2022). Ayrıca, organik atıkların çürümesi sırasında oluşan metan gazı, atık yönetimi ve enerji üretim süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli bir emisyon kaynaklarından biridir (Kılıç ve Boğa, 2021).

Kömür madenlerinden, doğal gaz boru hatlarından ve fosil yakıtların çıkarılması sırasında da metan sızıntıları meydana gelmektedir. Bu süreçler, metan emisyonlarının sanayi kaynaklı boyutunu ortaya koymaktadır. Metan gazının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve modern atık yönetimi sistemlerinin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir.

Metan (CH_4), çevresel açıdan önemli bir sera gazıdır ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri nedeniyle dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Atmosferde karbondioksite kıyasla daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olan metan, küresel ısınma ve iklim değişikliğine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, metan gazı atmosferde yaklaşık 12 yıl boyunca kalıcıdır ve bu da sera etkisinin sürekliliğini desteklemektedir. Metanın bir diğer çevresel etkisi ise ozon kirliliğidir. Atmosferin alt

tabakasında (troposfer) fotokimyasal reaksiyonlara girerek ozon kirliliğine neden olan metan, insan sağlığına zarar verebileceği gibi bitki örtüsüne de olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu nedenle, metanın çevresel etkilerinin azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir yer tutmaktadır.

Metan, çevresel etkilerinin yanı sıra birçok sektörde önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Enerji üretiminde, metan doğal gazın ana bileşeni olup, doğal gaz santralleri, evsel ısıtma sistemleri ve endüstriyel süreçlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanım, metanın en yaygın ve ekonomik açıdan en değerli uygulamalarından biridir. Ayrıca, kimya sanayisinde de metan önemli bir hammadde olarak kullanılmaktadır. Özellikle hidrojen üretiminde ve çeşitli kimyasal maddelerin sentezinde, metan önemli bir rol oynamaktadır. Metanın amonyak üretimindeki kullanımı, tarım sektöründe gübre üretimi gibi kritik alanlarda doğrudan etki yaratmaktadır. Metan ayrıca, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) formlarında, ulaşım sektöründe alternatif bir yakıt kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, fosil yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir enerji çözümleri arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, metan gazı hem çevresel etkileri hem de endüstriyel kullanım potansiyeli açısından dikkatle yönetilmesi gereken bir gazdır. Sera gazı olarak küresel ısınmaya önemli katkılarda bulunmasına rağmen, enerji üretimi, kimyasal üretim ve ulaşımda sağladığı faydalar metanın ekonomik ve teknolojik açıdan vazgeçilmez bir kaynak olmasını sağlamaktadır. Metan emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması, iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır.

1.4.4 Florlu birleşikler

Florlu birleşikler, küresel ısınmaya katkıda bulunan en güçlü sera gazları arasında yer almaktadır. Özellikle hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), sülfür heksaflorid (SF₆) ve nitrojen triflorid (NF₃) gibi gazlar, atmosferde uzun süre kalabilme ve yüksek ısı tutma kapasitesine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir (Kılınç ve Altıparmak, 2020). Bu gazlar, karbondioksitten binlerce kat daha güçlü sera etkisi yaratabilmektedir.

Florlu birleşikler, genellikle endüstriyel süreçlerde, soğutma sistemlerinde (örneğin, klima ve buzdolapları), aerosollerde ve yarı iletken üretiminde kullanılmaktadır. Bu

gazların üretimi, kullanımı ve sızıntıları atmosferde birikimlerine yol açmaktadır. Florlu gazların sera etkisi oluşturma potansiyeli (Global Warming Potential, GWP), küresel ısınma üzerinde uzun vadeli etkiler yaratmaktadır (Türkiye İhracatçılar Meclisi, 2022).

Florlu birleşiklerin kullanımını azaltmaya yönelik Montreal Protokolü ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası anlaşmalar, bu gazların emisyonlarının sınırlandırılmasını hedeflemektedir. Bunun yanı sıra, alternatif soğutma teknolojilerinin geliştirilmesi ve enerji verimliliği artırıcı önlemler, bu gazların etkisini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır.

Florlu gazlar, çevresel etkileri açısından oldukça güçlü sera gazlarıdır ve diğer sera gazlarına kıyasla çok daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline (GWP) sahiptir. Bu gazlar atmosferde uzun süre kalabilir, bu da onların etkilerinin kalıcı olmasına ve küresel ısınmanın hızlanmasına neden olur. Florlu gazlar, özellikle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılsa da, atmosferdeki uzun ömürleri nedeniyle iklim değişikliği üzerinde önemli bir rol oynarlar. Bu gazların bir avantajı, bazı türlerinin ozon tabakasına zarar vermemesi olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, hidroflorokarbonlar (HFC'ler), ozon tabakasını korumak amacıyla geliştirilen alternatiflerdir ve doğrudan ozon tabakasına zarar vermezler. Ancak, ozon dostu olmalarına rağmen, florlu gazların küresel ısınma potansiyelleri son derece yüksektir ve bu gazlar, atmosferdeki varlıkları süresince yüksek GWP'leri nedeniyle önemli ölçüde küresel ısınmaya katkıda bulunurlar. Bu durum, florlu gazların çevresel etkilerinin uzun vadede daha da derinleşmesine yol açmaktadır.

1.5 Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi, bir bireyin, kuruluşun, etkinliğin ya da ürünün doğrudan ya da dolaylı olarak atmosfere saldıgı toplam sera gazı miktarını ifade etmektedir. Bu hesaplama genellikle karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) birimiyle yapılmaktadır. Karbon ayak izi, iki ana kategoride incelenmektedir: Birincil karbon ayak izi (doğrudan emisyonlar, örneğin fosil yakıtların yanması) ve ikincil karbon ayak izi (dolaylı emisyonlar, örneğin tüketim ürünlerinin üretimi ve taşınması) (Özsoy, 2015).

Karbon kullanımından kaynaklanan emisyonlar, doğrudan ve dolaylı emisyon olarak sınıflandırılması emisyonların kaynağı, oluşum şekli ve kontrol edilebilirliği açısından yapılmaktadır. Doğrudan emisyonlar (Kapsam 1), bir desteğin kontrolü altında gerçekleştirilme faaliyetleri sırasında doğrudan atmosfere salınan sera gazlarıdır; örnek, fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan karbonhidratlar (CO₂) ve metan (CH₄) emisyonları. Dolaylı emisyonlar ise (Kapsam 2 ve Kapsam 3), bir organizasyonun faaliyetlerinin desteklenmesine rağmen başka bir yerde meydana gelir; Örnek olarak, ağdan alınan elektrik üretim sürecinde enerji santrallerinde oluşan emisyonlar (Kapsam 2) veya tedarik zinciri, ürün çıktıları ve hammadde üretim süreçlerinden kaynaklanan emisyonlardır (Kapsam 3). Bu ayrımlar IPCC ve GHG Protokolü gibi uluslararası standartlarda, emisyonların daha iyi saklanması ve sorumluluğun ayrıştırılması amacıyla yapılmaktadır.

Sanayi, ulaşım, enerji üretimi, tarım ve bireysel tüketim alışkanlıkları, karbon ayak izinin en büyük kaynaklarını oluşturmaktadır. Özellikle enerji sektöründe fosil yakıtların yoğun kullanımı, karbon ayak izinin en büyük payını oluştururken, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bu etkiyi azaltmak için önemli bir stratejidedir.

Küresel ölçekte, karbon ayak izini azaltmak için bireysel düzeyde enerji tasarrufu, geri dönüşüm, toplu taşıma kullanımı gibi önlemler önerilmektedir. Kurumsal düzeyde ise karbon dengeleme projeleri ve enerji verimliliği politikaları yaygın olarak uygulanmaktadır.

1.5.1 Karbon ayak izinin bileşenleri

Karbon ayak izi, bireylerin veya organizasyonların çevreye bıraktığı sera gazı emisyonlarını ölçen bir kavramdır ve iki ana bileşenden oluşmaktadır. Birincil karbon ayak izi, doğrudan enerji tüketimi ve fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan sera gazlarıyla ilgilidir. Bu, kişisel araç kullanımı, evlerde ısınma ve soğutma için doğal gaz veya kömür kullanımı, fosil yakıtlardan üretilen elektrik tüketimi ve uçak seyahati gibi örneklerle kendini göstermektedir. Bu tür doğrudan enerji tüketimi, karbon ayak izinin en belirgin ve hızlı artıran unsurlarından biridir. Öte yandan, ikincil karbon ayak izi, ürünlerin üretimi, taşınması ve bertarafı aşamalarında dolaylı olarak atmosfere salınan sera gazlarını kapsamaktadır. Gıda üretimi, özellikle et ve süt

ürünlerinin üretimi, giysi ve elektronik eşya üretimi, ürün taşımacılığı ve lojistik süreçler, atık yönetimi ve geri dönüşüm işlemleri bu kategoriye girer. Bu dolaylı emisyonlar, bireysel tüketici davranışlarının ötesine geçerek ekonomik ve endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkisini göstermektedir.

Karbon ayak izini etkileyen faktörler arasında enerji tüketimi, ulaşım, gıda tüketimi, tüketim alışkanlıkları ve atık yönetimi önemli rol oynamaktadır. Evde kullanılan elektrik, doğalgaz ve kömür gibi enerji kaynaklarının tüketimi, karbon ayak izini doğrudan etkiler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ise bu etkiyi azaltmada etkili bir strateji olarak öne çıkar. Ulaşım, özellikle fosil yakıtla çalışan kişisel araçlar ve uçak seyahatleri, karbon ayak izini artıran önemli bir faktördür. Toplu taşıma araçlarının kullanımı ya da daha sürdürülebilir ulaşım yöntemlerinin tercih edilmesi, bu etkiyi azaltmak için önerilen yaklaşımlardandır. Gıda tüketimi de karbon ayak izini belirleyen bir diğer önemli faktördür; et ve süt ürünlerinin üretimi, bitkisel gıdalara göre daha fazla sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Bu nedenle, beslenme alışkanlıklarında yapılacak değişiklikler, karbon ayak izinin azaltılmasında etkili olabilir. Tüketim alışkanlıkları da önemli bir faktördür; satın alınan ürünlerin üretimi ve taşınması sırasında salınan karbon, bireylerin karbon ayak izine eklenir. Özellikle giysiler, elektronik cihazlar ve diğer endüstriyel ürünlerin üretimi büyük bir etkiye sahiptir. Son olarak, atık yönetimi, geri dönüşüm ve atık üretiminin azaltılması gibi uygulamalar da karbon ayak izinin küçültülmesinde önemli bir rol oynar. Bu faktörlerin her biri, bireysel ve toplumsal düzeyde karbon ayak izinin boyutunu etkileyen kritik unsurlardır.

1.5.2 Türkiye ve sera gazı

Türkiye'nin karbon ayak izi, ülkenin ekonomik büyümesi, enerji tüketim alışkanlıkları ve sanayileşme süreçleriyle doğrudan ilişkilidir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2021 yılında Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu 564,4 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, 2020 yılına göre %7,7'lik bir artışı ifade etmektedir.

Sektörel bazda incelendiğinde, 2021 yılında enerji sektörü, toplam emisyonların %71,3'ünü oluşturarak en büyük paya sahiptir. Bunu sırasıyla %13,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,8 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü takip etmektedir.

Kişi başına düşen sera gazı emisyonu ise 2021 yılında 6,7 ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu rakam, 2020 yılında 6,3 ton CO₂ eşdeğeri iken, 1990 yılında 4 ton CO₂ eşdeğeri seviyesindeydi.

Türkiye, 2053 yılı için karbon nötr bir ülke olmayı hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda, karbon ayak izinin hesaplanması, raporlanması ve karbon azaltım stratejilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

1.5.3 Dünyada ve Türkiye'de karbon ayak izi

Küresel karbon emisyonları, fosil yakıtların yanması ve endüstriyel faaliyetler sonucunda atmosfere salınan karbondioksit miktarını ifade eder. 2024 yılında, dünya genelinde fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının 41,6 milyar ton ile rekor seviyeye ulaşması beklenmektedir. Bu artış, 2023 yılına göre %0,8'lik bir yükselişi temsil etmektedir (URL-1).

Emisyon artışları bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, 2024 yılında Hindistan'ın emisyonlarında %4,6'lık bir artış öngörülürken, Çin'in emisyonlarında %0,2'lik bir artış beklenmektedir. Buna karşılık, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'nde sırasıyla %0,6 ve %3,8 oranlarında emisyon azalması tahmin edilmektedir (URL-1).

Sektörel bazda incelendiğinde, enerji üretimi, ulaşım ve sanayi sektörleri en yüksek karbondioksit emisyonlarına neden olan alanlardır. Özellikle havacılık sektörü, COVID-19 pandemisi sonrası toparlanma sürecinde 2022 ve 2023 yılları arasında %19,5'lik bir emisyon artışıyla dikkat çekmektedir (URL-2).

Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma ve çevre politikaları çerçevesinde, karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle üniversiteler ve kamu kurumları, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Örneğin, Çankırı Karatekin Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, üniversitenin toplam karbon salımı 5.633,13 ton CO₂ eşdeğeri/yıl olarak hesaplanmış ve en yüksek salımın elektrik enerjisi tüketiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda, yenilenebilir enerji üretimi ve enerji tasarrufu önlemleri önerilmiştir (Üreden, 2008).

Ayrıca, Türkiye'de lojistik ve taşımacılık sektörünün karbon ayak izini azaltmak amacıyla yeşil lojistik uygulamaları ve sürdürülebilir taşımacılık stratejileri geliştirilmektedir. Bu kapsamda, lojistik faaliyetler sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonlarını azaltmak için çeşitli modeller ve yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Turgut ve Budak, 2022).

Madencilik ve zenginleştirme tesisleri, enerji yoğun süreçleri nedeniyle yüksek karbon ayak izine sahiptir. Fosil yakıt kullanımı bu tesislerin en büyük emisyon kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, bu tesislerin karbon emisyonlarını azaltmak için kritik bir çözüm sunmaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi kaynakların kullanımı, enerji tüketimini karbon salımı yapmadan karşılamaya olanak tanır.

Dünya genelinde Şili, Avustralya ve İzlanda gibi ülkeler yenilenebilir enerji projelerini madencilik sektörüne entegre ederek başarılı örnekler sergilemektedir. Türkiye de bu alanda güneş ve rüzgar enerjisi projeleriyle karbon ayak izini azaltmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sadece emisyonları azaltmakla kalmayıp, enerji maliyetlerini düşürerek ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Enerji Tüketimi ve Emisyonlar: Türkiye'nin karbon ayak izinin büyük bir kısmı enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Enerji üretiminde kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtların yaygın kullanımı, yüksek seviyelerde karbondioksit (CO₂) emisyonuna yol açmaktadır. Türkiye, özellikle son yıllarda enerji talebindeki artış nedeniyle, enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığını sürdürmektedir.

Sanayileşme ve İnşaat Sektörü: Türkiye, hızlı sanayileşme ve kentsel büyüme sürecindedir. Bu durum, çimento, demir-çelik gibi enerji yoğun sektörlerde karbon emisyonlarını artırmaktadır. İnşaat sektörü de önemli bir emisyon kaynağıdır, zira çimento üretimi sırasında büyük miktarda CO₂ açığa çıkarmaktadır.

Ulaşım: Türkiye'de ulaşım sektörü, özellikle kara taşımacılığı, karbon ayak izine önemli bir katkıda bulunmaktadır. Kişisel araç kullanımının yaygın olması ve toplu taşımaya yeterince önem verilmemesi, sektördeki karbon emisyonlarının yüksek

olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin havayolu taşımacılığındaki artış da emisyonları artırmaktadır.

Tarım ve Hayvancılık: Tarım ve hayvancılık sektörü, Türkiye'nin karbon ayak izinin bir diğer önemli bileşenlerindendir. Özellikle büyükbaş hayvancılık, metan (CH₄) emisyonları açısından önemli bir kaynaklardır. Ayrıca, tarımsal faaliyetlerde kullanılan azotlu gübreler dinitrojen oksit (N₂O) emisyonlarına yol açmaktadır.

Enerji Dönüşümü ve Yenilenebilir Enerji: Türkiye, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlarını artırmıştır. Güneş, rüzgâr ve hidroelektrik enerji üretiminde kaydedilen artış, karbon ayak izinin düşürülmesine yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilebilir. Türkiye'nin 2023 yılı itibarıyla yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırma hedefi, karbon ayak izini azaltma yolunda önemli bir fırsat sunmaktadır.

1.5.4 Türkiye'nin karbon ayak izini azaltma çabaları

Türkiye'nin karbon ayak izi, büyük ölçüde enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Enerji üretiminde kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtların yaygın kullanımı, yüksek seviyelerde karbondioksit (CO₂) emisyonlarına yol açmaktadır. Fosil yakıtların enerji üretimindeki rolü, karbon ayak izinin ana belirleyicilerinden biridir. Türkiye, son yıllarda enerji talebindeki artış nedeniyle bu yakıtlara olan bağımlılığını sürdürmektedir. Artan sanayileşme ve kentsel büyüme ile paralel olarak, enerji tüketimi de önemli ölçüde artmıştır. Bunun sonucunda, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi daha fazla CO₂ salınımına neden olmakta, bu da iklim değişikliği ve çevresel bozulma üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Türkiye'nin enerji sektöründeki bu durum, sera gazı emisyonlarını azaltmak adına alınması gereken tedbirleri ve yapılması gereken dönüşümleri daha acil hale getirmektedir.

Sanayileşme ve inşaat sektörü de Türkiye'nin karbon ayak izini artıran önemli etmenlerden biridir. Hızla büyüyen sanayi sektörü, çimento, demir-çelik ve kimya gibi enerji yoğun sektörlerde faaliyet göstermektedir. Çimento üretimi, enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından yüksek emisyonlara yol açmaktadır. Çimento üretimi sırasında açığa çıkan büyük miktarda karbondioksit, bu sektörün çevresel etkisini önemli ölçüde artırmaktadır. Türkiye'nin hızlı sanayileşme süreci, doğal olarak enerji

tüketiminin artmasına ve dolayısıyla karbon emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır. İnşaat sektörü de benzer şekilde önemli bir emisyon kaynağıdır, zira inşaat malzemelerinin üretimi ve binaların inşa edilmesi süreçlerinde büyük miktarda CO₂ açığa çıkmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin büyüyen şehirlerinde yaşam alanlarının hızla arttığı bir dönemde daha belirgin hale gelmektedir. Bu sektörlerin çevresel etkileri, özellikle enerji verimliliği ve sürdürülebilir inşaat tekniklerine geçişin önemini vurgulamaktadır.

Türkiye'deki ulaşım sektörü de karbon ayak izinin büyük bir bileşenini oluşturmaktadır. Kara taşımacılığı, özellikle kişisel araçların yaygın kullanımı, emisyonların artmasına yol açmaktadır. Türkiye'de toplu taşımaya yeterince önem verilmemesi ve bireysel araç kullanımı oranının yüksek olması, ulaşım sektöründeki karbon emisyonlarının önemli bir faktör olmasına neden olmaktadır. Toplu taşıma sistemlerinin yetersizliği ve bireysel taşıma araçlarına olan yüksek talep, bu sektördeki emisyonları artırmaktadır. Ayrıca, Türkiye'de havayolu taşımacılığındaki artış da emisyonları daha da yükseltmektedir. Hava yolculuğu, yüksek enerji tüketimi ve emisyonları ile bilinen bir sektördür. Bu nedenle, ulaşım sektöründeki karbon ayak izini azaltmak için toplu taşıma ağlarının genişletilmesi, elektrikli araç kullanımının teşvik edilmesi ve daha verimli ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi gibi adımlar kritik öneme sahiptir.

Tarım ve hayvancılık sektörü, Türkiye'nin karbon ayak izinin bir diğer önemli bileşenidir. Tarım sektörü, özellikle büyükbaş hayvancılıkla ilişkilendirilen metan (CH₄) emisyonları açısından büyük bir kaynaktır. Hayvancılık faaliyetleri, özellikle ineklerin sindirim süreçlerinde metan gazı salınımına yol açmaktadır. Bu gaz, atmosferdeki sera etkisini artırarak küresel ısınmaya neden olur. Ayrıca, tarımda kullanılan azotlu gübreler dinitrojen oksit (N₂O) emisyonlarına yol açmaktadır. Dinitrojen oksit, metan gazından daha etkili bir sera gazıdır ve atmosferde uzun süre kalır. Tarımsal üretim süreçleri, gıda güvenliği sağlamak için önemli olsa da, çevresel etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tarım ve hayvancılık sektöründe sürdürülebilir tarım yöntemlerinin benimsenmesi, organik gübre kullanımının artırılması ve hayvancılıkta daha verimli üretim tekniklerine geçilmesi, bu sektörden kaynaklanan karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Enerji dönüşümü ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak, Türkiye'nin karbon ayak izini azaltmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Son yıllarda Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerji üretiminde kaydedilen artış, karbon ayak izinin düşürülmesine yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilebilir. Türkiye, özellikle güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından büyük fırsatlar barındırmaktadır. Bu kaynaklar, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin yerine geçerek karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Türkiye'nin 2023 yılı itibarıyla yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırma hedefi, karbon ayak izini azaltma yolunda önemli bir fırsat sunmaktadır. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar, aynı zamanda enerji güvenliğini artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu süreç, Türkiye'nin enerji üretiminde daha temiz ve sürdürülebilir kaynakları kullanarak, gelecekte daha düşük karbon emisyonlarına sahip bir ekonomi oluşturma yolunda atılacak önemli bir adımdır.

1.5.5 Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı karbon ayak izi

Madencilik faaliyetleri, yüksek enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları nedeniyle karbon ayak izine önemli ölçüde katkı bulunmaktadır. Özellikle metal, kömür ve diğer minerallerin uzaklaştırılması ve işlenmesi sırasında gerçekleşen enerji yoğun işlemler, karbon emisyonlarının artışında kritik bir rol oynamaktadır (Kumaş vd., 2019).

Bu durum, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede sektörün karbon azaltma stratejilerini benimsemesini zorunlu kılmaktadır. Uluslararası literatürde, madencilik faaliyetlerinde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar ve yaklaşımlar bulunmaktadır.

Enerji Verimliliğinin Artırılması: Madencilik ve metal sektöründe enerji tüketiminin verimliliğini artırmak, çevresel zorluklarla başa çıkmada en yüksek önceliklerden biri olarak kabul edilmektedir. KPMG'nin 2023 Küresel Madencilik ve Metal Sektörü Genel Görünümü raporuna göre, şirketler enerji verimliliğini artırarak karbon emisyonlarını azaltma konusunda hızlı ilerlemeler kaydetmektedir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı: Madencilik sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, karbon ayak izini azaltmada kritik bir rol

oyunmaktadır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak emisyonları düşürmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kullanımının madencilik operasyonlarının sürdürülebilirliğini artırdığını göstermektedir.

Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) Teknolojileri :Karbon yakalama ve depolama teknolojileri, madencilik faaliyetleri sırasında açığa çıkan karbondioksitin atmosfere salınmadan önce yakalanarak depolanmasını sağlamaktadır. Bu teknolojiler, sektörün karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak, CCS teknolojilerinin yüksek maliyetleri ve teknik zorlukları, geniş çaplı uygulamalarını sınırlamaktadır.

Otomasyon ve Dijitalleşme: Madencilik sektöründe otomasyon ve dijitalleşme, operasyonel verimliliği artırarak enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını azaltmaktadır. İleri teknolojilerin kullanımı, süreçlerin optimize edilmesini ve enerji tasarrufu sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu alandaki yenilikçi uygulamalar, sektörün karbonsuzlaşma hedeflerine ulaşmasına katkı sağlamaktadır.

Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (ESG) Stratejilerinin Benimsenmesi: Madencilik ve metal şirketleri, karbon ayak izlerini azaltmak için ciddi yatırımlar yapmanın yanı sıra ESG hedeflerine de odaklanmaktadır. KPMG'nin raporuna göre, yöneticiler, karbon dönüşümünde kilit bir rol oynamaları gerektiğinin farkındadır ve şirketlerin ESG hedeflerini gerçekleştirmeye yardımcı olacak en etkili yöntemin CEO ve Yönetim Kurulu'nun bu hedefleri benimsemesi olduğunu belirtmektedir.

Kömür Madenciliği: Kömür madenciliği, madencilik sektöründe en yüksek karbon ayak izine sahip faaliyetlerden biri olarak görülmektedir. Kömür çıkarma ve taşımacılık süreçlerinde büyük miktarda metan (CH₄) atmosfere salınmaktadır. Bu, güçlü bir sera gazı olarak, küresel ısınmaya karbondioksitten daha fazla etki etmektedir (Demirarslan ve Kaya, 2017).

Metal Madenciliği: Demir, alüminyum ve bakır gibi metallerin çıkarılması ve işlenmesi sırasında fosil yakıtların kullanılması, karbondioksit (CO₂) emisyonlarının önemli bir kaynaklardanır (Kılınç ve Şanlısoy, 2024). Ayrıca, metal ergitme

süreçlerinde kullanılan kimyasal işlemler de karbon salınımını artırmaktadır. (Bıyık ve Özkale, 2017).

Taşocakçılığı ve Maden Taşımacılığı: Madenlerin çıkarılması kadar taşımacılığı da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. Ağır yük araçları ve iş makinelerinin yoğun kullanımı, fosil yakıt tüketimini artırır ve bu da yüksek karbon salınımına yol açmaktadır (Demirbugan, 2014).

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izinin azaltılması için enerji verimliliğini artıran teknolojilerin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ve maden atıklarının yönetimi gibi stratejiler hayata geçirilmektedir.

Madencilik faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkileri, özellikle enerji tüketimi ve emisyonlar açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Madencilik, oldukça enerji yoğun bir sektördür ve bu faaliyetlerin büyük bir kısmı fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Madenlerin çıkarılması, taşınması ve işlenmesi sırasında kullanılan makineler ve ekipmanlar, genellikle kömür, doğal gaz veya petrol gibi fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Bu yüksek enerji tüketimi, madencilik faaliyetlerinin karbon ayak izinin büyük bir kısmını oluşturur. Kömür madenciliği ve metal cevheri madenciliği gibi enerji yoğun faaliyetler, yüksek miktarda karbondioksit (CO₂) emisyonuna yol açmaktadır. Bu emisyonlar, özellikle fosil yakıtların yaygın olarak kullanıldığı enerji üretim süreçlerinden kaynaklanır. Enerji tüketimi yalnızca madencilik faaliyetlerinin doğrudan bir sonucu olmakla kalmaz, aynı zamanda taşımacılık ve lojistik süreçleri gibi ikinci dereceden emisyon kaynaklarına da yol açmaktadır. Madencilik, yüksek enerji tüketimi nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi zorluklarla karşı karşıyadır.

Bir diğer önemli emisyon kaynağı ise patlayıcıların kullanımındır. Madencilik faaliyetlerinde, özellikle yer altı madenlerinin çıkarılması için kullanılan patlayıcılar doğrudan sera gazı salınımına neden olabilir. Patlayıcıların üretimi ve kullanımı sırasında, karbon ayak izini artıran ek emisyonlar ortaya çıkar. Patlayıcıların üretim süreçlerinde kullanılan enerji ve kimyasallar, atmosfere karbondioksit ve diğer sera gazlarının salınmasına neden olmaktadır. Bu da madencilik faaliyetlerinin karbon ayak izini daha da büyötmektedir. Patlayıcıların yeraltı madenlerinde kullanımı, aynı zamanda patlama sırasında açığa çıkan metan gazları gibi potansiyel sera gazlarının

salınımına da yol açabilmektedir. Bu durum, doğrudan çevresel zararlara ve iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkilerin artmasına yol açmaktadır.

Taşıma ve lojistik, madencilik sektörünün karbon ayak izine katkıda bulunan bir diğer önemli faktördür. Madenlerin çıkarıldığı yerlerden işleme tesislerine ve nihai pazarlara taşınması sırasında kullanılan taşıma araçları, büyük miktarda fosil yakıt tüketmektedir. Bu süreçte kullanılan kamyonlar, trenler ve diğer taşıma araçları, fosil yakıtlarla çalışmakta ve bu da karbon emisyonlarını artırmaktadır. Madencilik sektöründe taşımacılık, yalnızca malzeme taşıma değil, aynı zamanda enerji ve lojistik süreçlerinin de önemli bir parçasıdır. Bu nedenle, taşıma sırasında oluşan emisyonlar, sektördeki toplam karbon ayak izine önemli bir katkı sağlamaktadır. Taşıma süreçlerinde kullanılan fosil yakıtlar ve enerji verimsiz taşıma yöntemleri, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini artıran diğer etkenlerdir.

Cevher işleme ve zenginleştirme, madencilik sektöründeki bir başka enerji yoğun süreçtir. Çıkarılan cevherlerin işlenmesi ve zenginleştirilmesi genellikle büyük miktarda enerji gerektiren işlemlerdir. Örneğin, demir cevherinin çelik üretimine dönüştürülmesi veya boksitin alüminyuma dönüştürülmesi süreçleri, yüksek enerji tüketimi ile ilişkilidir ve bu süreçler sırasında büyük miktarda karbondioksit emisyonu salınmaktadır. Metal üretimi, özellikle çelik ve alüminyum gibi ürünlerin üretimi, madencilik faaliyetlerinin enerji tüketen ve sera gazı salınımı yapan en kritik aşamalarından biridir. Bu süreçlerin yoğun enerji tüketimi, sektörün karbon ayak izinin büyük bir kısmını oluşturur. Bu nedenle, madencilik sektöründe karbon ayak izini azaltma çabaları, cevher işleme ve zenginleştirme süreçlerinde enerji verimliliği sağlama konusunda da önemli bir odak noktası olmalıdır.

Kömür madenciliği, metan gazı salınımı açısından da büyük bir endişe kaynağıdır. Yer altı kömür madenlerinde, kömürle birlikte metan gazı da yer alır. Metan, karbondioksitten daha güçlü bir sera gazı olduğu için, kömür madenciliği sırasında bu gazın salınması iklim değişikliği üzerinde önemli bir etkidir. Kömür madenciliği sırasında metan gazının atmosfere salınması, bu gazın kontrollü bir şekilde yakalanmaması durumunda, büyük miktarda sera gazının salınmasına yol açar. Madencilik sektöründe metan emisyonlarının yönetilmesi, bu gazın yeraltında birikmesini önleyerek veya yakalayarak iklim değişikliğine olan etkisini azaltmak için

kritik öneme sahiptir. Metan yönetimi, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmak adına önemli bir strateji olarak ön plana çıkmaktadır.

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izini azaltma çabaları, sektördeki sürdürülebilirlik hedeflerinin hayata geçirilmesi açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için, enerji verimliliğini artırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak ve düşük karbonlu teknolojilerin kullanımı büyük bir fırsat sunmaktadır. Madencilik sektöründe enerji verimliliğini artırmak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve yenilenebilir enerji kullanımı ile karbon ayak izini azaltmak, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli adımlar olacaktır. Yüksek verimli ekipmanların kullanılması, otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu ve enerji tasarrufu sağlayan süreçlerin benimsenmesi gibi stratejiler, sektördeki enerji tüketimini azaltarak emisyonları düşürmeye yardımcı olabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, kömür madenciliği gibi fosil yakıtlara dayalı süreçlerin yerine geçerek karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilir. Madencilik sektöründe bu tür yenilikçi ve sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaştırılması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan faydalar sağlayacak ve küresel karbon ayak izinin azaltılmasına önemli bir katkıda bulunacaktır.

1.6 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli olarak yenilenebilen ve tükenme riski olmayan enerji kaynaklarıdır (Demirci, 2018). Bu kaynaklar, fosil yakıtlara kıyasla daha temiz enerji üretimi sağladığı için karbon ayak izinin azaltılmasında kritik bir role sahiptir (Kılınç, 2023). Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji yer almaktadır (Erden Özsoy, 2015).

Güneş Enerjisi: Güneş panelleri kullanılarak güneş ışığından elektrik üretimi sağlanmaktadır. Fotovoltaik sistemler sayesinde, güneş enerjisi kullanımının artırılması karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Aladağ ve Yanıktepe, 2022).

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr türbinleriyle elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Rüzgâr enerjisi, dünya genelinde en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve karbon ayak izini azaltmada büyük bir potansiyele sahiptir.

Hidroelektrik Enerji: Akarsular ve barajlardan elde edilen hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir paya sahiptir. Ancak, büyük ölçekli baraj projeleri çevresel etkiler yaratabilmektedir (Kurdoğlu ve Özalp, 2010).

Jeotermal Enerji: Yer altındaki sıcak su ve buhardan elde edilen jeotermal enerji, sürekli bir enerji kaynağıdır ve karbon emisyonu oldukça düşüktür (Çoban, 2015).

Biyokütle Enerjisi: Tarımsal atıklar, hayvansal atıklar ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntem, atıkların enerjiye dönüştürülmesini sağlayarak çevresel fayda sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, hem enerji arz güvenliğini sağlamada hem de karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir araçlarındandır.

Yenilenebilir enerjinin kullanımı sadece çevresel etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik büyümeyi ve halk sağlığını olumlu yönde etkilemektedir. Araştırmalar, yenilenebilir enerjinin karbon ve sera gazı emisyonlarını azaltarak ekonomik ve çevresel performansı artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca, üretim planlama sistemlerinde yenilenebilir enerjinin kullanımı, sera gazı emisyonlarının azaltılması için umut verici bir çözüm olarak kabul edilmektedir.

Sonuç olarak, enerji ve madencilik sektörlerinde yenilenebilir enerjinin benimsenmesi, karbondioksit emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğinin kontrol altına alınması ve sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi hedeflerine ulaşılması açısından hayati öneme sahiptir. Rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbondioksit emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir, çevre kalitesini iyileştirebilir ve ekonomik büyümeyi destekleyebilmektedir.

1.6.1 Rüzgar enerjisi

Türkiye, sahip olduğu coğrafi avantajlar sayesinde rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek bir ülkelerdendir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye

Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (REPA) göre, 50 metre yükseklikte ve yıllık ortalama 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda toplam 47.849,44 MW kurulu güç kapasitesi bulunmaktadır (URL-3).

Kurulu Güç ve Üretim Kapasitesi: 2021 yılı itibarıyla Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü 12.103 MW'a ulaşmıştır. Aynı yıl, bu santraller yaklaşık 31,1 milyar kilovatsaat elektrik üretilmiştir (URL-4).

Bu üretim, Türkiye'nin toplam elektrik ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır.

Bölgesel Dağılım: Rüzgâr enerjisi santralleri, özellikle Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu bölgeler, yüksek rüzgâr hızları ve uygun arazi koşulları nedeniyle yatırımcılar için cazip alanlar sunmaktadır.

Gelecek Projeksiyonları: Türkiye, 2035 yılına kadar rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesini 120.000 MW'a çıkarmayı hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşmak için yaklaşık 108 milyar dolarlık kamu ve özel sektör yatırımı öngörülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, bu kapsamda yeni Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ihaleleri düzenlemeyi ve izin süreçlerini hızlandırmayı planlamaktadır (URL-5).

Önemli Projeler: Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütülen ve yıllık 60 milyon kilovatsaat elektrik üretecek olan Rüzgâr Enerjisi Santrali projesi, Türkiye'nin toplu ulaşım sektöründeki ilk RES projesi olma özelliği taşımaktadır. Bu proje, 80 tramvayın elektrik ihtiyacını karşılayacak kapasitededir (URL-6).

Ulusal Gelişmeler: Türkiye, rüzgâr enerjisi teknolojilerinde dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla Millî Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi Projesi'ni (MİLRES) hayata geçirmiştir. Bu proje ile yerli rüzgâr türbini üretimi hedeflenmektedir (URL-7).

Sonuç olarak, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli ve mevcut projeleri, ülkenin enerji arz güvenliğine ve sürdürülebilir kalkınmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Yapılan yatırımlar ve belirlenen hedefler doğrultusunda, rüzgâr enerjisinin Türkiye'nin enerji portföyündeki payının artması beklenmektedir.

Ülkemiz, rüzgar enerjisi sektöründeki yatırımlar, sektördeki kuruluşların faaliyetleri ve gelişen teknoloji ile erişilebilir hale gelen offshore potansiyeli gibi faktörleri değerlendirerek, karbon nötr hedeflerine zamanında ulaşmayı hedeflemektedir. Şekil 1.1’de örnek rüzgar enerji sistemleri yer almaktadır.



Şekil 1.1. Örnek rüzgar enerji sistemleri (URL-8).

1.6.2 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, enerji sektöründeki karbon ayak izini azaltma potansiyeliyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda genel karbon emisyonlarını azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Güneş panelleri, kurulumdan itibaren neredeyse sıfır emisyonla enerji üretmektedirler. Bu durum, bir panelin ömrü boyunca binlerce ton CO₂ emisyonunun önlenmesi anlamına gelmektedir.

Geniş ölçekte güneş enerjisinin benimsenmesi, kirliliğe neden olan kömür ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının kullanımını azaltabilmektedir. Bu da enerji sektöründeki genel karbon emisyonlarında büyük bir düşüş sağlayabilmektedir. Ayrıca, güneş enerjisinin etkili bir şekilde depolanabilmesi, yenilenebilir enerjinin gece veya güneşsiz dönemlerde kullanılmasını sağlar, bu da fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilmektedir.

Bazı ülkeler, güneş enerjisinin benimsenmesini hızlandırarak karbon ayak izlerinde önemli azalmalar elde etmiştir. Örneğin, Almanya'nın Energiewende (Enerji

Dönüşümü) politikası sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmış ve karbon emisyonları önemli ölçüde azalmıştır. Benzer şekilde, Çin dünyanın en büyük güneş paneli üreticisi olmasının yanı sıra yerel enerji ihtiyaçlarını karşılamak için de güneş enerjisini yaygın olarak kullanmıştır, bu da ülkenin genel karbon ayak izini azaltmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneş panelleri daha verimli ve ekonomik hale gelmektedir. Daha yüksek verimli paneller, aynı alanda daha fazla enerji üretebilir ve bu da daha az kaynak kullanılarak daha fazla enerji elde edilmesini sağlar. Bu da karbon ayak izini azaltma potansiyelini artırır.

Güneş enerjisi, düşük karbon ayak izi ve fosil yakıtların yerini alarak enerji sektöründeki genel emisyonları azaltma potansiyeliyle iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artması, enerji sektörünü ve dünyayı daha sürdürülebilir bir geleceğe taşıyacaktır. Şekil 1.2’de örnek güneş enerji sistemlerine ait görüntü yer almaktadır.



Şekil 1.2. Örnek güneş enerji sistemleri (URL-9).

1.6.3 Hidroelektrik

Hidroelektrik, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en ileri teknolojiye sahip olanlardandır. Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bu enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahiptir. Düşük karbonlu bir teknoloji olarak hidroelektrik, dünyadaki yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır.

Hidroelektrik santrallerden kaynaklanan sera gazları, su bitkilerindeki organik maddenin ve rezervuarlardaki alg biyokütlesinin ayrışması sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak termik santrallerde fosil yakıtlar yakıldığında atmosfere büyük miktarda karbondioksit salınmaktadır. Dolayısıyla hidroelektrik santraller termik santrallere göre çok daha az karbondioksit emisyonu üretmektedir.

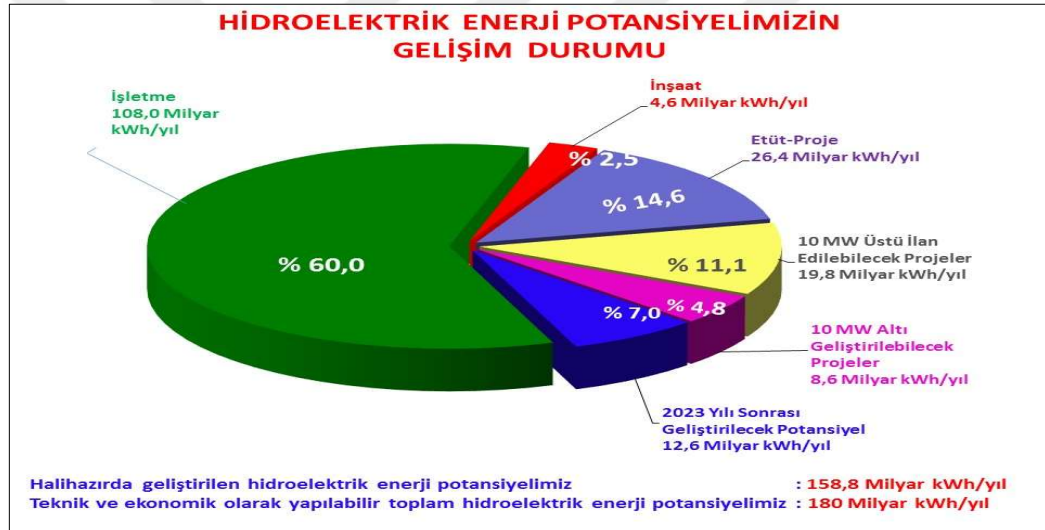
Hidroelektrik projeleri, Paris Anlaşması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında ülkeleri iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden korumaktadır. Hidroelektrik, diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında kilovat saat başına en düşük sera gazı emisyonuna sahiptir. Örneğin, kömürle çalışan bir termik santralin ortalama ömür boyu karbon eşdeğer yoğunluğunun 820 gCO₂-eq/kWh olduğu söylenirken, bir hidroelektrik santralininkinin 18,5 gCO₂-eq/kWh olduğu söylenmektedir. Hidroelektrik santrallerin kömür santrallerine kıyasla sera gazlarını %97,7 oranında azalttığını görülmektedir.

Hidroelektrik, sera gazlarını doğalgaza göre % 96,2, biyokütleyle göre % 92, güneş enerjisine göre %61,5, jeotermal enerjiye göre % 51,3 oranında kilovat saat başına azaltmaktadır. Rüzgar enerjisi, sera gazları açısından hidroelektrik enerjiye göre % 0,5 oranında avantaja sahiptir. Bu veriler hidroelektrik enerjinin fosil yakıtlara göre önemli ölçüde daha az sera gazı ürettiğini göstermektedir.

Enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine hidroelektrik enerji kullanılması, atmosfere bırakılan partikül, sülfür dioksit ve nitrojen oksit gibi zararlı maddelerin salınımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle, hidrolik enerjinin karbon ayak izini azaltma potansiyeli oldukça yüksektir. Şekil 1.3'de örnek hidroelektrik sistemlerine ait görüntü yer almaktadır. Şekil 1.4'de ise Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünü gösterir şema yer almaktadır.



Şekil 1.3. Örnek hidroelektrik santrali (URL10).

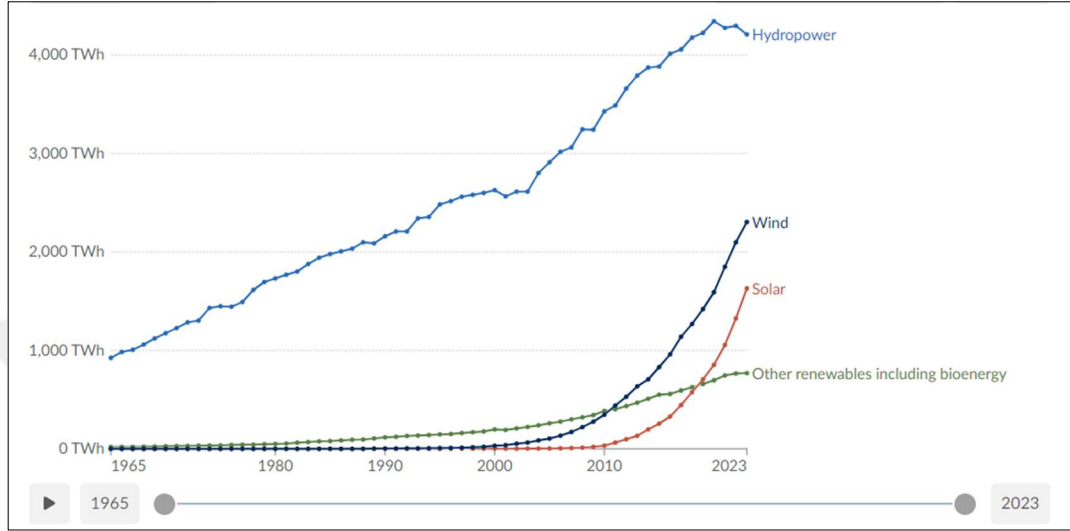


Şekil 1.4. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (URL-11).

Sonuç olarak; Türkiye hidroelektrik, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları konusunda önemli potansiyele sahip bir ülkedir. Bu enerji kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla çevreyi karbondioksit emisyonunda düşük tutuyor.

1980'lerden itibaren küresel iklim değişikliğinin artmasıyla birlikte, enerji, ekonomi ve çevrenin birlikte değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Bu yaklaşım, artık 3E (Enerji, Ekonomi, Çevre) olarak adlandırılmakta ve bir zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Rio de Janeiro ve Kyoto'da yapılan toplantılarla, atmosfere verilen emisyonlar ve çevre kirliliği konusunda çeşitli düzenlemeler ve zorunluluklar

getirilmiştir. Ekonomik gelişme ile birlikte, enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonları artmıştır. Türkiye'de 1990 yılında 127,2 milyon ton olan CO₂ emisyonu, 2003 yılında 213 milyon tona yükselmiştir. Dünya genelinde ise 1990-2013 dönemi için yenilenebilir enerji tüketim değerleri Şekil 1.5'te özetlenmiştir.



Şekil 1.5. Dünya yenilenebilir enerji tüketimi (URL-12).

Şekil 1.5'te görüldüğü suretiyle dünya yenilenebilir enerji tüketimi 1965 senesinde 0 TWh iken seneler itibariyle mühim seviyede artarak 2023 senesinde 4.0000 TWh düzeyine yükselmiştir. 1965 senesinde 0 TWh olan güneş enerjisi tüketiminin 2008'e kadar mühim bir artış göstermediği, 2010 yılından itibaren kayda kıymet artışların gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Rüzgar enerjisinin tüketimi 1965 senesinde 0 TWh iken 2003 senesinde artarak 2023 senesinde yaklaşık 2,100 TWh seviyesine ulaşmıştır. Çizelge 1.1'de Global yenilenebilir enerji senaryosuna ilişik değerler yer almaktadır.

Çizelge 1.1. Global yenilenebilir enerji senaryosu (2040) (MTEP)* (Kralova ve Sjöblom, 2010).

	2001	2010	2020	2030	2040
Biyokütle	1080	1313	1791	2483	3271
Hidro	32.2	285	358	447	547
Jeotermal	43.2	86	186	333	493
Rüzgâr	4.7	44	266	542	688
Güneş	4.2	15.4	69	260	548
Fotovoltaik	0.1	2	24	221	784
Gel-git/Dalga Enerjisi	0.05	0.1	0.4	3	20
Toplam yenilenebilir enerji	1.365	1.745	2.964	4.289	6.351
Yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı %	13.6	16.6	23.6	34.7	47.7

*MTEP: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri

Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere, toplam yenilenebilir enerji tüketimi 2001 senesinde 1.365 MTEP iken 2040 senesinde bu miktarın 6.351 MTEP'e yetişmesi öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji kaynaklarına olan katkısı 2001 senesinde %13.6 iken bu nispet 2010 senesinde %16.6'ya terfi etmiştir ve bu oranın 2040 senesinde %47.7'ye yükselmesi beklenmektedir. Enerji sektöründen meydana gelen karbon emisyonuna ilişik değerler Çizelge 1.2'de sergilenmektedir.

Çizelge 1.2. Enerji sektöründen kaynaklanan karbon emisyonu (Milyon Ton) (IEA, 2014).

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Orta Doğu	550	763	900	1.166	1.522	1.579	1.647
Çin	2.278	3.058	3.350	5.444	7.295	8.000	8.251
Asya	1.278	1.708	2.140	2.639	3.412	3.502	3.699
Türkiye	127	153	201	216	266	286	302
OECD	11.140	11.665	12.615	13.005	12.491	12.326	12.146
Dünya	20.973	21.841	23.756	27.494	30.482	31.345	31.735

Çizelge 1.2'ye göre, 1990 senesinde Türkiye'de enerji sektöründen meydana gelen karbon emisyonu 127 milyon ton iken seneler itibariyle devamlı artarak 2012 senesinde 302 milyon ton seviyesine yükselmiştir. OECD ülkelerinin karbon emisyonu 1990 senesinde 11.140 milyon ton iken ortalama olarak % 9 artarak 2012 senesinde 12.146 milyon ton'a çıkmıştır. 1990 senesinde 20.973 milyon ton olan Dünya karbon emisyonu ortalama %51 artarak 2012 senesinde 31.735 milyon ton'a ulaşmıştır.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) güncel veriler inceğinde ;

Dünya: IEA'nın 2023 raporuna göre, küresel enerjiye bağlı karbondioksit (CO₂) emisyonları 2023 yılında %1,1 artarak 37,4 milyar ton ile rekor seviyeye ulaşmıştır.

OECD Ülkeleri: Gelişmiş ekonomiler, 2023 yılında gayri safi yurt içi hasılları (GSYİH) artarken karbon emisyonlarında rekor bir düşüş yaşamıştır. Emisyonları son 50 yılın en düşük seviyesine gerilemiş, kömür talebi de 1900'lerin başından bu yana görülmeyen seviyelere inmiştir (IEA).

Çin: Dünyanın en büyük enerji tüketicisi olan Çin, enerji sektöründen kaynaklanan emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmaktadır. Ancak, enerji talebindeki artış nedeniyle emisyonlarını kontrol altına almakta zorluklar yaşamaktadır (IEA).

Orta Doğu ve Asya: Bu bölgelerde enerji talebi ve buna bağlı emisyonlar artış eğilimindedir. Özellikle sanayileşme ve ekonomik büyüme, enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını artırmaktadır (IEA).

Türkiye: Türkiye, enerji sektöründe yenilenebilir kaynakların payını artırarak karbon emisyonlarını azaltmayı hedeflemektedir. Son yıllarda güneş ve rüzgar enerjisi yatırımlarında önemli artışlar kaydedilmiştir (IEA).

Çizelge 1.3'te 2012 yılına ait enerji kaynaklı CO₂ emisyonları, Dünya ve Türkiye'ye ait değerler gösterilmektedir. 2012 yılında, Türkiye'nin enerji kaynaklı CO₂ emisyonları 302 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve dünya CO₂ emisyonlarının yaklaşık %1,05'ini oluşturmuştur. Aynı dönemde, OECD ülkelerinin CO₂ emisyonlarının ise yaklaşık %4'ünü oluşturmuştur. Kişi başına düşen CO₂ emisyonları açısından, Türkiye'nin değeri dünya ve OECD değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Ancak, Toplam Birincil Enerji Arzı dikkate alındığında, üretilen birim enerji başına düşen enerji kaynaklı CO₂ miktarının Dünya ve OECD değerlerinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Bu gösterge, birincil enerji arzında yüksek karbon emisyonuna sahip olan fosil kaynakların payının önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Çizelge 1.3. 2012 yılı enerji kaynaklı CO₂ emisyonları, dünya ve Türkiye (IEA, 2014).

	CO ₂ (Milyon ton)	CO ₂ /Nüfus (Milyon Ton/Kişi)	Enerji Sektörü Karbon Yoğunluğu İndeksi-CO ₂ /Toplam Birincil Enerji Arzı (Milyon Ton/TEP)*
Orta Doğu	1.647	7.72	92.76
Çin	8.251	5,14	109.50
Asya	3.699	1.59	124.61
Türkiye	302	4.04	107.45
OECD	12.146	9.68	93.92
Dünya	31.735	4.51	99.36

* TEP: Ton Petrol Eşdeğeri

1.7 Enerji Sektörü ve Karbon Emisyonu

Sanayileşmenin hızla büyümesi, küresel iklim değişikliğini tetikleyerek sera gazlarının atmosfere salınımını artırmıştır. Bu değişim dünyadaki yaşamı olumsuz etkileyecektir. Bu tehdidin farkına varan ülkeler küresel ısınmayı önlemek için çeşitli önlemler almaya başlamışlardır. Bu kapsamda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü gibi sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik

anlaşmalar imzalanmıştır. Gelişmiş ülkeler sera gazı emisyonlarını belirli ölçüde azaltmayı taahhüt etmişlerdir.

Bu anlaşmalar ve protokoller sera gazlarının hesaplanması ve ticaretine ilişkin standartları tanımlamaktadır. Bu standartlar arasında örneğin ürün karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan PAS 2050 standardı ve kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan ISO 14064 standardı yer almaktadır. Sera gazı hesaplamaları, kurumların doğrudan etkileyen faaliyetleri, hizmet veya ürün satın almalarından kaynaklanan faaliyetler ve sera gazı emisyonunu etkileyen diğer faaliyetlerle ilgili üç kapsamlı hesaplamaya dayanmaktadır.

Enerji sektörü, küresel karbon emisyonlarının en büyük kaynaklarından. Fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) enerji üretiminde yaygın olarak kullanılması, atmosfere büyük miktarda karbondioksit (CO₂) salınımına neden olmaktadır. Elektrik ve ısı üretimi, enerji kaynaklı karbon emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluştururken, ulaşım ve sanayi sektörü geri kalan kısmı paylaşmaktadır (Özdemir ve Koç, 2020).

Türkiye’de enerji sektörü, toplam sera gazı emisyonlarının %70’inden fazlasını oluşturmaktadır. 2021 yılında enerji sektörü kaynaklı emisyonlar, 400,6 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (TÜİK). Ayrıca, Türkiye’nin enerji tüketimindeki artış, karbon emisyonlarındaki yükselişi tetikleyen önemli bir etkidir.

Azaltım çabalarına yönelik olarak yenilenebilir enerji yatırımları, enerji verimliliği projeleri ve karbon ticareti mekanizmaları, enerji sektörünün karbon emisyonlarını düşürmek için kritik adımlar olarak değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması fosil yakıt kullanımını azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil kaynaklar arasındaki temel fark, fosil yakıtların kullanıldıktan sonra yerine yenisinin konulamamasıdır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları neredeyse sınırsızdır ve tekrar enerjiye dönüştürülebilmektedir. Böylece sera gazı oluşumu önlenmiş olmaktadır.

Güneş enerjisi, enerji sektöründeki karbon ayak izini azaltma potansiyeliyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda genel karbon emisyonlarını azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Güneş panelleri, kurulumdan itibaren neredeyse sıfır emisyonla enerji

 retirler. Bu durum, bir panelin ömrü boyunca binlerce ton CO₂ emisyonunun önlenmesi anlamına gelir.

Geniş ölçekte güneş enerjisinin benimsenmesi, kirliliğe neden olan kömür ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının kullanımını azaltılmalıdır. Bu da enerji sektöründeki genel karbon emisyonlarında büyük bir d ş e neden olmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisinin etkili bir şekilde depolanabilmesi, yenilenebilir enerjinin gece veya güneşsiz dönemlerde kullanılmasını sağlar, bu da fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilmektedir.

Bazı  lkeler, güneş enerjisinin benimsenmesini hızlandırarak karbon ayak izlerinde önemli azalmalar elde etmiştir. Örneğin, Almanya'nın Energiewende (Enerji Dönüşümü) politikası sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmış ve karbon emisyonları önemli ölçüde azalmıştır. Benzer şekilde, Çin dünyanın en büyük güneş paneli üreticisi olmasının yanı sıra yerel enerji ihtiyaçlarını karşılamak için de güneş enerjisini yaygın olarak kullanmıştır, bu da ülkenin genel karbon ayak izini azaltmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneş panelleri daha verimli ve ekonomik hale gelmektedir. Daha yüksek verimli paneller, aynı alanda daha fazla enerji üretebilir ve bu da daha az kaynak kullanılarak daha fazla enerji elde edilmektedir.

1.7.1 Karbon ayak izinin hesaplanması ve etkisinin azaltılmasında kilit rol oynayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı

Karbon ayak izi, bireylerin, kuruluşların ya da toplumların faaliyetleri sonucu atmosfere salınan toplam sera gazı miktarını ifade etmektedir. Bu değer, genellikle karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) birimi ile ölçülmektedir. Karbon ayak izinin hesaplanmasında enerji tüketimi, ulaşım, atık yönetimi ve beslenme alışkanlıkları gibi faktörler göz önünde bulundurulmaktadır.

1.7.1.1 Yenilenebilir enerjinin rolü

Fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, karbon ayak izinin azaltılmasında kilit bir role sahiptir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle

enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar, enerji üretimi sırasında atmosfere sera gazı salmaz ya da çok düşük seviyede salınım gerçekleştirilmektedir.

Hidroelektrik Enerji: Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir kısmını oluşturan hidroelektrik enerji, yıllık yaklaşık 55,7 milyar kWh elektrik üretimiyle enerji arzına önemli katkı sağlamaktadır. Ancak, baraj inşaatları çevresel ve ekolojik etkilere neden olabilmektedir.

Güneş Enerjisi: Fotovoltaik panellerle güneş enerjisi üretimi, karbon ayak izini en aza indiren teknolojilerden biri olarak görülmektedir.

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr türbinleriyle üretilen elektrik, karbon emisyonlarını büyük ölçüde azaltır.

Etkilerin Azaltılması: Enerji sektöründe yenilenebilir kaynakların kullanımıyla karbon emisyonları düşürülebilmektedir.

Ayrıca, enerji verimliliği projeleri, karbon dengeleme mekanizmaları ve bireysel tasarruf önlemleri karbon ayak izini azaltmada etkili stratejilerdendir.

1.7.1.2 Karbon ayak izinin hesaplanması

Karbon ayak izi, bir bireyin, bireyin, etkinliğin veya ürün sürecinin sonucu atmosfere saldığı toplam sera gazı miktarı ifade edilmektedir. Bu ölçüm karbon genellikle dioksit eşdeğeri (CO₂e) birimiyle yapılmaktadır. Karbon ayak izini hesaplama, doğrudan (birincil) ve dolaylı (ikincil) emisyonları içermektedir.

Birincil Karbon Ayak İzi: Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan doğrudan emisyonları kapsamaktadır. Örneğin, ulaşımda kullanılan yakıt tüketimi veya evlerdeki enerji kullanımı gibi örnekler verilebilir.

İkincil Karbon Ayak İzi: Ürünlerin ürettiği tüketime kadar olan süreçte ortaya çıkan dolaylı emisyonları içermektedir. Örneğin, gıda üretiminde veya tedarik zincirinde kullanılan enerji.

Karbon ayak izi programlaması, kişisel ve kurumsal yapının farklılaştırılması mümkündür. Kişisel hesaplayıcılar, günlük aktivitelerinden kaynaklanan

emisyonlarını (bununla ulaşım, enerji kullanımı, yiyecek tüketimi) analiz ederken, Cool Climate Calculator gibi araçlarla bireysel aydınlatmayı artırmayı ve davranışı yönlendirme işlemlerini gerçekleştirme işlemlerini gerçekleştirir. Kurumsal hesaplayıcılar, onların enerji tüketimi, lojistik ve üretim süreçlerinden kaynaklanan karbon salınımlarını analiz ederek, sürdürülebilirlik hedefi ve uluslararası raporlamaya uyum sağlamalarına yardımcı olur; GHG Protokol Aracı gibi araçlar buna örnektir. Manuel programlama ise, emisyon faktörleri ve kapasite formülleriyle, bireysel faaliyetlerin veya kirletici emisyonlarını doğrudan programlamak için kullanılmaktadır.

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) metodolojisi, ülkelerin sera emisyonlarını hesaplamaları ve raporlamaları için uluslararası standartlar sunmaktadır. Bu algoritma, 2006 IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberi başlıklı rehberde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. IPCC'nin sunduğu standart emisyon faktörleri (Tier 1) veya ülkedeki spesifik emisyon oranları (Tier 2 ve Tier 3) kullanılmaktadır. Örneğin, kömür, petrol veya doğal gaz gibi yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ miktarı için belirlenen esas esas alınmaktadır.

2023 yılında TUMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis üretimden faaliyetleri kapsamında CO₂ emisyonu hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanılmıştır. Bu çalışmada TUMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis' karbon ayak izi hesaplamaları için ilk olarak IPCC kılavuzunda yer alan Tier-1 yaklaşımının hesaplama metodolojisi ve kabul görmüş veri envanterlerinden emisyon faktörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Karbon ayak izinin hesaplanması, enerji tüketiminden ulaşım alışkanlıklarına, gıda tüketiminden atık yönetimine kadar geniş bir yelpazeyi içeren kapsamlı bir süreçtir.

Enerji Tüketimi: Evlerde, iş yerlerinde ve endüstriyel tesislerde kullanılan elektrik ve ısıtma amaçlı enerji, karbon ayak izinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimi, büyük miktarda karbondioksit salınımına neden olmaktadır.

Ulaşım: Kişisel araç kullanımı, uçak seyahatleri ve toplu taşıma araçlarının tükettiği yakıtlar, karbon ayak izine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonlar, fosil yakıtların yanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

Gıda Tüketimi: Beslenme alışkanlıkları, özellikle et ve süt ürünlerinin tüketimi, karbon ayak izini büyük ölçüde etkilemektedir. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan enerji ve metan gibi sera gazlarının salınımı, gıda tüketiminin karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

Tüketim Alışkanlıkları: Satın alınan ürünlerin üretimi, taşınması ve bertarafı sırasında salınan karbon miktarı, karbon ayak izine eklenmektedir. Giysiler, elektronik cihazlar ve diğer endüstriyel ürünler, karbon ayak izini artıran unsurlardandır.

Atık Yönetimi: Atıkların geri dönüştürülmesi, kompostlanması ve bertaraf edilmesi sırasında ortaya çıkan karbon emisyonları, karbon ayak izini etkilemektedir. Atık yönetiminde yapılan iyileştirmeler, bu emisyonların azalmasına katkıda bulunmaktadır.

Karbon ayak izinde "tier yöntemi", çeşitli faaliyetlerin ya da ürünlerin karbon emisyonlarına göre sınıflandırılması ve değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, farklı ürünlerin, hizmetlerin veya süreçlerin çevresel etkilerini daha iyi anlamak ve azaltmak amacıyla karbon ayak izlerini kategorilere ayırmaktadır.

Genellikle üç Tier yaklaşımı kullanılmaktadır.

Tier 1: Genel enerji istatistiklerinden alınan veriler ve uluslararası emisyon faktörleri kullanılmaktadır.

Tier 2: Ülkeye veya bölgeye özgü emisyon ve yakıt özellikleri kullanılmaktadır.

Tier 3: Esnek teknolojilere dayalı emisyon türleri ve özelliklere özgü istatistikler kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine kıyasla çok daha düşük karbon emisyonlarıyla enerji üretimini mümkün kılmaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, karbon ayak

izin azaltılmasında kilit rol oynamaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı, enerji sektöründeki karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir ve iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir adım olarak değerlendirilebilmektedir. Güneş enerjisi, güneş panelleri aracılığıyla üretilen enerji ile karbondioksit salınımına neden olmadan elektrik üretimi sağlar. Bu, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon ayak izinin küçülmesine yol açmaktadır. Güneş enerjisinin yaygınlaşması, özellikle elektrik üretiminde karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir faktördür. Rüzgar enerjisi de, rüzgar türbinleri aracılığıyla rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürken, bu süreçte neredeyse sıfır karbon emisyonu üretir. Rüzgar enerjisinin daha fazla kullanımı, enerji üretiminden kaynaklanan karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Diğer yandan hidroelektrik enerji, su gücünden elde edilen ve uzun vadeli, düşük karbon emisyonlu bir enerji kaynağıdır. Barajlar ve akarsu türbinleri aracılığıyla üretilen enerji, hem çevreye duyarlı hem de sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Hidroelektrik enerjinin yaygınlaştırılması, karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Biyokütle enerjisi de, organik atıklardan ve bitkilerden elde edilen bir diğer karbon nötr enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisinin kullanımı, atık yönetimi süreçleriyle entegre edildiğinde hem atık miktarını azaltmak hem de karbon emisyonlarını düşürmek için etkili bir yöntem olabilir. Son olarak, jeotermal enerji, yer altındaki sıcak su ve buhar kaynaklarından elde edilen düşük emisyonlu bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak karbon ayak izini küçültme potansiyeline sahiptir. Jeotermal enerjinin yaygınlaşması, özellikle enerji üretiminde temiz ve sürdürülebilir bir alternatif sunarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bu şekilde yaygınlaşması, karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltarak iklim değişikliğine karşı etkili bir çözüm sunmaktadır.

1.7.1.3 Yenilenebilir enerjiye geçişin önemi

Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, karbon ayak izini azaltmanın yanı sıra, enerji güvenliğini artırır ve fosil yakıtların tükenmesiyle ilgili endişeleri hafifletmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektörü, istihdam yaratarak ve teknolojik yenilikleri teşvik ederek ekonomik büyümeye de katkıda bulunmaktadır. Enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, sürdürülebilir kalkınmanın ve çevresel korumanın temel unsurlarından biri olmaktadır.

Karbon ayak izi, bir bireyin veya organizasyonun çevresel etkisini ölçen kritik bir göstergedir ve bu izi azaltmak, iklim değişikliği ile mücadelede büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon ayak izinin azaltılmasında kilit bir rol oynamaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, fosil yakıtların kullanımını azaltarak atmosfere salınan sera gazı miktarını düşürebilmektedir. Bu geçiş, sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda enerji güvenliği ve ekonomik büyüme için de uzun vadeli faydalar sunmaktadır.

1.8 Altın-Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesisi

1.8.1 Altın-gümüş madeni ve zenginleştirme tesisinin çevresel açıdan değerlendirilmesi

Altın ve gümüş gibi değerli metallerin çıkarılması ve işlenmesi, hem ekonomik hem de teknolojik açıdan büyük öneme sahiptir. Ancak, bu süreçler çevresel açıdan önemli riskler ve zorluklar taşımaktadır. Madencilik faaliyetleri, doğal kaynakların tüketilmesi, habitatların bozulması, su kaynaklarının kirlenmesi ve atmosfere zararlı emisyonların salınması gibi çeşitli çevresel etkileri beraberinde getirmektedir. Bu makalede, altın ve gümüş madenciliği ile ilgili çevresel etkiler incelenecek ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik stratejiler değerlendirilecektir. TÜMAD Madencilik San. ve Tic. A.Ş. operasyonlarında çevresel risklerin minimuma indirilmesi için gerekli tüm şartları ve taahhütleri yerine getirmeye özen göstermektedir. Yapmış olduğu çalışmalar ve gerçekleştirilen denetimlerle, Bonds&Loans Türkiye Ödülleri bünyesinde 3 kez Doğal Kaynaklar Dalında En İyi Proje Finansman Ödülü ve 2024 yılında EBRD tarafından Çevresel ve Sosyal En İyi Uygulamalar kategorisinde Sürdürülebilirlik Altın Ödülü'nü almıştır. Altın Madenciliği süreçlerinde karşılaşılabilecek tüm riskler için gerekli aksiyonlar ve önlemleri olarak güvenli ve sürdürülebilir üretim faaliyetlerinin yürütülmesi ve bunların izlenmesi, projelerin su ayak izi ve karbon ayak izinin azaltılması, biyoçeşitliliğin korunması, hava-su-toprak kalitesinin korunması, yaşanabilecek hadiselerin ve tehlikelerin de önüne geçebilecektir.

Altın ve gümüş madenciliği, genellikle büyük ölçekli açık ocak madenciliği veya yer altı madenciliği şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür faaliyetler, geniş alanların kazılması ve işlenmesi anlamına gelmektedir. Toprak katmanları yerinden çıkarılır, bitki örtüsü tahrip edilmekte ve doğal habitatlar zarar görmektedir. Bu süreç, biyoçeşitliliği olumsuz etkileyebilir ve ekosistemlerde geri dönüşü olmayan değişikliklere yol açabilmektedir.

Madencilik faaliyetleri, su kaynakları üzerinde ciddi etkiler yaratabilmektedir. Altın ve gümüş zenginleştirme işlemlerinde kullanılan kimyasallar, su kaynaklarına sızarak su kalitesini düşürebilir ve hem yerel topluluklar hem de ekosistemler için zararlı olabilmektedir. Özellikle siyanür liçi gibi yöntemler, altın madenciliğinde yaygın olarak kullanılmakta ve bu tür kimyasalların kontrolsüz kullanımı ciddi su kirliliği riskleri taşımaktadır.

Altın ve gümüş madenciliğinde büyük miktarlarda atık üretilmektedir. Bu atıklar, genellikle cevher işleme sırasında çıkarılan kayaların ve işlenmemiş materyallerin bir karışımıdır. Atık barajları ve depolama alanları, çevresel açıdan büyük riskler taşımaktadır. Bu atıklar, asit maden drenajına (AMD) yol açarak su kaynaklarını kirlitebilir ve yerel çevre üzerinde uzun vadeli olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Maden çıkarma ve işleme süreçleri, büyük miktarda enerji gerektirir. Bu enerji genellikle fosil yakıtların yakılmasıyla sağlandığından, bu süreçler önemli miktarda karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının atmosfere salınmasına yol açmaktadır. Ayrıca, madencilik faaliyetleri sırasında toz ve diğer partikül maddeler havaya karışarak yerel hava kalitesini düşürebilir ve solunum yolu hastalıklarına neden olabilmektedir.

Zenginleştirme tesisleri, cevherlerin işlenmesi ve metalin saflaştırılması için kullanılmaktadır. Bu süreçler genellikle kimyasal ve fiziksel işlemleri içerir ve çevresel etkileri oldukça çeşitlidir.

Altın ve gümüş zenginleştirme işlemleri sırasında siyanür, cıva ve diğer ağır metaller kullanılmaktadır. Bu kimyasallar, hem işleme tesislerinde çalışanlar hem de çevre için toksik olabilmektedir. Atık suların uygun şekilde arıtılmaması durumunda, bu

kimyasallar su kaynaklarına karışabilir ve çevrede ciddi kirlilik sorunlarına neden olunabilmektedir.

Zenginleştirme tesisleri, büyük miktarda enerji tüketmektedir. Bu enerji genellikle elektrik veya fosil yakıtlar yoluyla sağlanır, bu da tesislerin karbon ayak izini artırmaktadır. Enerji yoğun süreçlerin çevresel etkileri, sera gazı emisyonlarına ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır.

Zenginleştirme süreçlerinde üretilen katı atıklar, tehlikeli maddeler içerebilir. Bu atıkların güvenli bir şekilde depolanması ve yönetilmesi, çevresel risklerin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Atık depolama alanlarının sızdırmaz olması ve düzenli olarak izlenmesi, yeraltı suyu kirlenmesi riskini azaltabilir.

1.8.2 Çevresel etkilerin azaltılması için stratejiler

Madencilik faaliyetlerinde sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi, çevresel etkilerin azaltılmasında önemli rol oynar. Bu, madenlerin çıkarılması sırasında çevresel tahribatın minimize edilmesi, habitatların korunması ve madencilik sonrası arazilerin yeniden doğal hale getirilmesini içerir.

Zenginleştirme işlemlerinde kullanılan zararlı kimyasalların miktarının azaltılması veya alternatif, çevre dostu kimyasalların kullanılması, su kaynakları ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, kapalı devre su sistemlerinin kullanılması, atık suyun tekrar kullanılmasını sağlayarak su tüketimini azaltabilir.

Zenginleştirme tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, tesislerin karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmaktadır. Güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir enerji çözümleri, enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel etkileri en aza indirebilmektedir.

Atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi ve atıkların geri dönüştürülmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Maden atıkları ve zenginleştirme işlemlerinden kaynaklanan atıklar, tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir malzemeler olarak değerlendirilebilir. Bu tür atıkların uygun şekilde yönetilmesi, çevre kirliliği riskini azaltmaktadır.

Sonuç olarak altın ve gümüş madenciliği ile zenginleştirme faaliyetleri, ekonomik olarak önemli ancak çevresel açıdan dikkatle yönetilmesi gereken süreçlerdir. Bu faaliyetlerin çevresel etkileri, toprak ve su kaynaklarından hava kalitesine kadar geniş bir yelpazede ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Ancak, sürdürülebilir madencilik uygulamalarının benimsenmesi, kimyasal kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi gibi stratejiler, bu etkilerin minimize edilmesine yardımcı olabilmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik, madencilik sektörünün gelecekteki başarıları için hayati öneme sahiptir ve bu yönde atılacak adımlar, hem doğal kaynakların korunmasına hem de insan sağlığının güvence altına alınmasına katkıda bulunacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tezimin genelinde çevre kirliliği, sera gazları ve karbon ayak izi hesaplama, inceleme ve yorumlamada literatürde çeşitli kaynaklar mevcuttur. Aşağıdaki paragraflarda bölüm başlıkları halinde yerli ve uluslararası alanda yapılan çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

Küresel Isınma ve İklim Değişikliği ile Mücadelede Uluslararası Müzakereler ve Anlaşmaların Başarısı (Gürkaynak, 2019) : Gürkaynak, M., bu çalışmada küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında gerçekleştirilen uluslararası müzakereler ve anlaşmaların başarı düzeyini incelemiştir. Çalışma, bu süreçlerdeki aktörlerin rollerine, zorluklara ve uygulama sonuçlarına odaklanmıştır.

Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri (Bayraktar, 2010): Bayraktar, E., bu çalışmada hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, hava kirliliği kaynaklı sağlık sorunlarını ve bu sorunların önlenmesine yönelik çözüm önerilerini ele almıştır. Araştırma, özellikle Balıkesir ili ve çevresindeki durum üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çiftlik Hayvanları ve Küresel İklim Durumu Arasındaki Etkileşim (Koyuncu ve Akgün, 2018): Koyuncu, M. ve Akgün, H., bu çalışmada çiftlik hayvanlarının küresel iklim değişikliği üzerindeki etkilerini ve iklim değişikliğinin hayvancılık sektörü üzerindeki yansımalarını incelemiştir. Araştırma, sera gazı emisyonları ve hayvancılık faaliyetlerinin çevresel etkileri üzerine odaklanmıştır .

Türkiye'de Tarım, Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketimi, Doğrudan Yabancı Sermaye Girişi ve CO₂ Emisyon İlişkisi: ARDL Analizi (Dallı ve Kütükçü 2023): Dallı, T. ve Kütükçü, E., bu çalışmada Türkiye'deki tarım sektörü ile yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, doğrudan yabancı sermaye girişleri ve CO₂ emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. ARDL analizi yöntemi kullanılarak enerji kullanımı ile karbon emisyonları arasındaki bağlantı analiz edilmiştir. Çalışma, sürdürülebilir enerji politikalarının önemine vurgu yapmaktadır.

Türkiye'nin Batı Bölgelerinde İklim Değişimi ve Kömürle Çalışan Termik Santrallerden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları (Ayan, 2008): Ayan, E., bu çalışmada Türkiye'nin batı bölgelerinde iklim değişikliği sürecini ve kömürle çalışan termik

santrallerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının çevresel etkilerini incelemiştir. Araştırma, bölgedeki enerji üretiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisini değerlendirerek iklim değişikliği ile mücadelede çözüm önerileri sunmaktadır.

Maden Çıkarma İşlemlerinin Çevreye Etkileri (Aydın, 2012): Aydın, E., bu çalışmada maden çıkarma işlemlerinin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırma, madencilik faaliyetlerinin toprak, su ve hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerine odaklanarak, çevresel sürdürülebilirlik adına alınabilecek önlemler ve uygulamaları değerlendirmiştir .

Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkileri (Kelen, 2014): Kelen, F., bu çalışmada motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini incelemiştir. Araştırma, emisyonların hava kirliliği, ekosistem dengesi ve toplum sağlığına yönelik tehditlerini değerlendirmiş ve bu sorunlarla başa çıkmak için çözüm önerileri sunmuştur.

Hava Kirliliği ve Asit Yağmurlarının Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri (Mete, 2015): Mete, M., bu çalışmada hava kirliliğinin ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini incelemiştir. Araştırma, asit yağmurlarının bitki örtüsü, su kaynakları ve toprak yapısı üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve hava kalitesini artırmaya yönelik öneriler sunmuştur.

Küresel Isınmanın Nedenleri, Sonuçları, Çözümleri Üzerine Yeni Yaklaşımlar (Reyhan ve Reyhan, 2019): Reyhan, A.S. ve Reyhan, H. bu çalışmada küresel ısınmanın nedenlerini, çevresel ve sosyoekonomik sonuçlarını detaylı bir şekilde incelemiştir. Araştırma, iklim değişikliğiyle mücadelede kullanılan mevcut stratejilerin etkinliğini değerlendirerek, sürdürülebilir çözümler üzerine yeni yaklaşımlar sunmuştur.

Fosil Yakıt Kaynaklı Karbondioksit Emisyonlarına Dayalı K-Ortalama Kümeleme Analizi: G20 Örneği (Doğan, Doğan ve Tüzer 2022): Doğan, S., Doğan, E. ve Tüzer, M., bu çalışmada G20 ülkelerindeki fosil yakıt kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarını analiz etmiştir. Araştırmada, k-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak emisyon profilleri gruplandırılmış ve ülkelerin çevresel performansı

değerlendirilmiştir. Çalışma, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejiler üzerine öneriler sunmuştur.

Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi (Özsoy, 2015): Özsoy, C.E., bu çalışmada düşük karbon ekonomisine geçişin gerekliliğini ve Türkiye'nin karbon ayak izini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Araştırma, düşük karbon stratejilerinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını değerlendirerek, Türkiye için uygulanabilir çözüm önerileri sunmuştur.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Konutlarda Karbon Ayak İzinin Azaltılmasındaki Rolü (Demirci, 2018): Demirci, E., bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda karbon ayak izini azaltmadaki etkilerini incelemiştir. Araştırma, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımıyla karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejiler ve uygulamalar üzerine odaklanmıştır.

Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi (Özsoy, 2015) : Erden Özsoy, C., bu çalışmada düşük karbon ekonomisinin Türkiye'nin karbon ayak izi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji politikalarına geçiş sürecindeki zorlukları ve fırsatları değerlendirerek, düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş için stratejik öneriler sunmuştur.

.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı

Çalışma da karbon ayak izi hesaplanacak tesis; TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde gerçekleştirilen Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis'idir.

3.1.1 Tesis bilgileri

TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde yürütülen Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Projesi faaliyete geçmiştir. Proje için nihai Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci, 23 Haziran 2015 tarihinde ÇED Başvuru Dosyasının Mülga Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na sunulmasıyla başlamıştır. 14 Ağustos 2015 tarihinde, 3969 karar numaralı ÇED Olumlu Belgesi alınmıştır. ÇED Olumlu kararına müteakip yapılan rezerv çalışmalarında, Kestanelik ocağının bulunduğu bölgede cevherleşmenin açık ocak madenciliği yöntemiyle çıkarılamayacak şekilde derinlerde varlığını sürdürdüğü tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, örtü-kazı oranının cevher üretimindeki ekonomik rolü dikkate alınarak, yeraltı madenciliği yöntemi benimsenmiştir.

28 Mayıs 2019 tarihinde alınan E-2019198 karar numaralı "ÇED Gerekli Değildir" belgesiyle proje çevresel etkiler açısından değerlendirilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Proje kapsamında, açık ocak madenciliği ile çıkarılan cevher, tesis alanında zenginleştirilerek nihai ürün olarak dore altın ve gümüş elde edilmektedir. Bu üretim, ülke ekonomisine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Nihai ÇED Kararına göre, tesisin faaliyete geçmesiyle toplam üretimin 600.000 ons altın ve 441.000 ons gümüş olması planlanmaktadır.

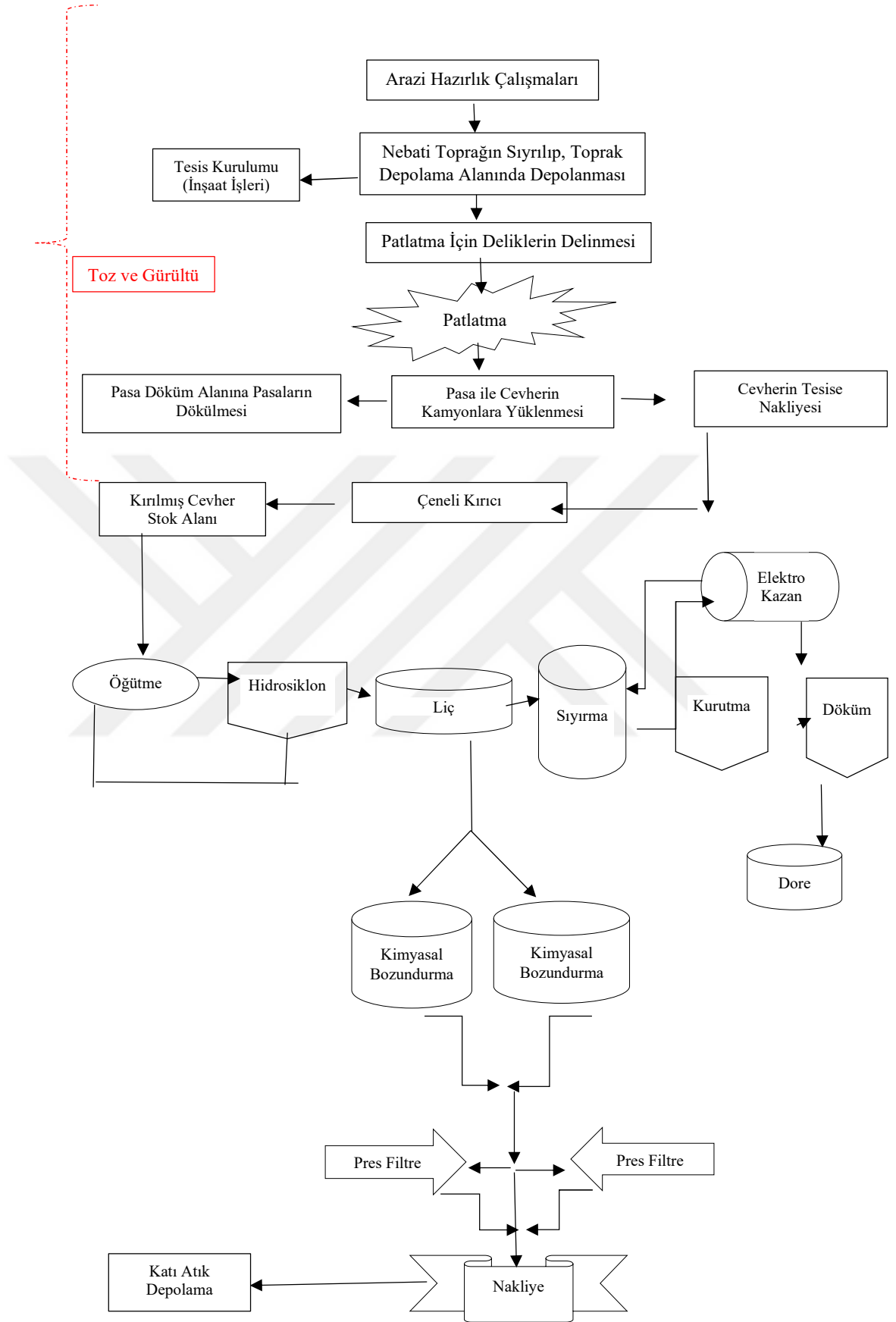
3.1.2 İş akım şeması

Şekil 3.1'de şema halinde gösterilen üretim faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler genel hatları ile aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Açık ocaklardan ve yeraltı ocağından uygun yöntemle (delme, patlatma, yükleme ve nakliyat) tüvenan cevherin çıkarılması,

- Açık ocaklardan aynı yöntemle çıkarılan ve ekonomik olmayan kayacın, belirlenen ilgili depolama alanına (PASA/EOK depolama alanı) depolanması,
- Ekonomik değeri olan cevherin cevher stok sahasında depolanarak belirli bir dane boyutuna kadar kırma-eleme işlemlerine tabi olması,
- Belirli boyuta gelmiş cevherin Değirmen ünitesi ile 90 mikron boyutlarına kadar öğütülmesi,
- Tikner ünitesi ile 90 mikrona öğütülmüş ve % katı oranı 28 – 30 civarı olan cevherin % katı miktarının % 45 – 48 ‘e çıkarılması,
- Tikiner alt akımından Liç ve C.I.P. Adsorpsiyon devresine beslenen cevher (katı – sıvı karışımı yada çamur olarak adlandırılmaktadır.) seyreltik siyanür solüsyonu (% 25) ile aynı besleme haznesine beslenerek altın ve gümüşün çözünmesinin sağlanması,
- Liç devresinde, altın (Au) ve gümüşün (Ag) sıvı faza geçme işlemi tamamlandıktan sonra çamur (katı – sıvı karışımı) aktif karbon yatağı olarak tanımlanan C.I.P. (Carbon in Pulp) Ünitesine doğal cazibesi ile yönlendirilerek C.I.P. ünitesinde sıvı faza geçmiş olan altın ve gümüş bileşiklerinin aktif karbon üzerine absorblanması,
- Kimyasal bozundurma ünitesinde siyanürün zayıf metallerle yapmış oldukları bileşikler ile serbest halde bulunan siyanürler (WAD Siyanür) INCO SO₂/Hava prosesi ile siyanata dönüştürülmesi,
- Sıyırma da denilen desoprsiyon işlemi ile belirli sıcaklık ve basınç altında değerli metallerin aktif karbon üzerinden çözeltiye alınması, elektroliz işlemi ile değerli metallerin bu çözeltiden kazanılması ve altın kekinin döküm için hazır hale getirilmesi,
- Ergitme yöntemi ile altın ve gümüş içeren dore külçelerinin dökülmesi,
- Dore külçelerinin saflaştırılmak üzere saha dışındaki rafinerilere gönderilmesi.

Üretim faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler genel hatları ile Şekil 3.1’de şema halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Genel iş akım şeması.

3.1.3 Tesiste oluşan atıklar

Faaliyet kapsamında, Maden Atıkları Yönetmeliği'ne uygun olarak, maden atığı özelliği taşıyan üniteler atık depolama tesisi ve pasa depolama alanıdır. Üretim süreçleri sırasında ortaya çıkan atıklara ilişkin, Mülga Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmış bir atık yönetim planı bulunmaktadır. Onaylı plan çerçevesinde, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıklar, tesis bünyesinde yer alan depolama alanlarında bertaraf edilmektedir. Tesise, harici dışarıdan atık kabulü yapılmamaktadır. Ayrıca; işletmede oluşan diğer atıklar ve atık kodları Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Oluşan diğer atık kodları.

Atık Kodu	Atık Cinsi	Açıklama	Tehlikelilik Durumu
01 01 01	Metalik maden kazılarında kaynaklanan atıklar	Açık Ocaklar ve Yeraltı Ocağı ekonomik olmayan kaya üretimleri	
01 03 06	01 03 04 ve 01 03 05 dışındaki diğer maden atıkları	Cevherin proseste işlendikten sonra Kuru Atık Depolama alanında depolanan atık	
08 03 17	Tehlikeli Maddeler İçeren atık baskı tonerleri	İdari bina	M
13 02 08	Diğer motor, şanzıman ve yağlama yağları	İş makineleri, kamyonlar, zenginleştirme tesisi içerisinde yer alan tüm makina ve ekipmanların bakım ve onarım işlemlerinden	A
13 01 13	Diğer Hidrolik Yağlar	İş makineleri, kamyonlar, zenginleştirme tesisi içerisinde yer alan tüm makina ve ekipmanların bakım ve onarım işlemlerinden	A
15 01 10	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	Madeni yağ ambalajları, boya ambalajları, kimyasal madde ambalajları, vb.	M
15 02 02	Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler	Ocak sahası ve tesiste yapılan makine bakım ve onarımlarından	M
16 01 07	Yağ filtreleri	İş makineleri	A
16 02 15	İskarta ekipmanlardan çıkartılmış tehlikeli parçalar	İş makineleri, kamyonlar, zenginleştirme tesisi içerisinde yer alan makina ve ekipmanların bakım ve onarım işlemlerinden	A
16 06 01	Kurşunlu piller	İdari bina	A
18 01 03	Tıbbi Atıklar	Revir	A
20 01 21	Flüoresan lambalar ve diğer cıva içeren atıklar	İdari bina, tesis genel aydınlatma	A
08 03 17	Tehlikeli maddeler içeren atık baskı tonerleri	İdari bina, Yardımcı tesisler	A

Çizelge 3.1 (devam). Oluşan diğer atık kodları.

15 01 11	Boş basınçlı konteynerler dahil olmak üzere tehlikeli gözenekli katı yapı (örneğin asbest) içeren metalik ambalajlar.	Ocak Sahası ve tesis geneli ölçüm faaliyetleri	A
15 01 06	Karışık ambalaj	Yardımcı Tesisler, Ambar	
20 01 01	Kâğıt ve karton	Yardımcı Tesisler, Ambar	
20 01 39	Plastikler	Yardımcı Tesisler,	
20 03 01	Karışık Belediye Atıkları	Yardımcı Tesisler, Ocak sahası , Tesis geneli	
20 01 26	Bitkisel atık yağlar	Yemekhane	

Üretim faaliyetleri kapsamında, Maden Atıkları Yönetmeliği gereğince maden atığı özelliği taşıyan üniteler Kuru Atık Depolama Tesisi ve Pasa (Ekonomik Olmayan Kaya) Depolama Alanı olarak belirlenmiştir. İnsan ve çevre sağlığını gözeten, sürdürülebilir ve güvenli bir madencilik faaliyeti yürütmek amacıyla yapılan jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, jeoteknik incelemeler ve risk değerlendirmeleri sonucunda, maden atıklarıyla ilgili bir atık yönetim planı hazırlanmış ve gerekli izinler alınarak depolama faaliyetlerine başlanmıştır.

Üretim sürecinde oluşan evsel nitelikli katı atıklar, Lapseki Belediyesi'ne bağlı firmalar tarafından toplanarak bertaraf edilmektedir. Tehlikeli atıklar ise, Atık Yönetimi Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak lisanslı geri kazanım veya bertaraf tesislerine sevk edilmektedir. Yemekhane kaynaklı bitkisel atık yağlar, Bitkisel Atık Yağların Kontrolü ve Atık Yönetimi Yönetmeliği çerçevesinde lisanslı bertaraf veya geri kazanım tesislerine yönlendirilmektedir. Ambalaj atıkları ise, Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği ve Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun şekilde lisanslı geri kazanım tesislerine sevk edilmektedir. Biyolojik atıksu arıtma tesisinde oluşan arıtma çamurları ise, ihtiyaç duyulması halinde sulu çamur olarak vidanjörlerle toplanarak lisanslı bertaraf tesislerine gönderilmektedir.

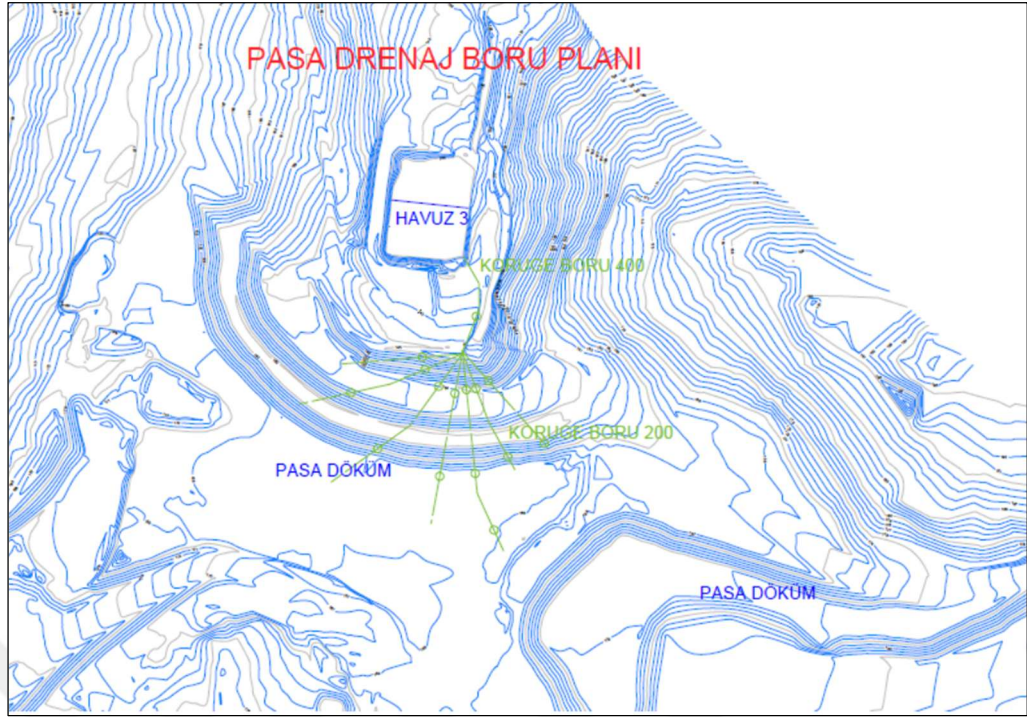
Yeraltı çöktürme havuzlarında ve pasa sızıntı havuzlarında oluşan çamurlar, yeraltı ocağı ve açık ocak faaliyetleri kapsamında meydana gelen pasa malzemesi ile birlikte 14 Ağustos 2015 tarihli, 3696 sayılı ÇED Olumlu Kararına dayanarak belirlenen pasa depolama alanında depolanmaktadır. Ayrıca, yeraltı ocağında oluşan endüstriyel nitelikli atıksular, yeraltı çöktürme havuzları ve pasa sızıntı havuzlarında dinlendirilmekte ve bu

süreçte oluşan dip çamuru, pasa malzemesiyle aynı özelliklere sahip olduğundan mevcut pasa depolama alanında depolanmaktadır.

3.1.4 Tesiste oluşan atıksu

Tesiste gerçekleştirilen faaliyet kapsamında pasa depolanmasından, yeraltı ocak faaliyetinden ve personel kaynaklı olmak üzere üç başlık altında atıksu oluşumu gözlenmektedir.

(1) Pasa Depolama Alanı Kaynaklı Atıksu Oluşumu: Açık ocak kapsamında üretimler sonucu açığa çıkan pasa (Ekonomik Olmayan Kaya), ÇED alanı içerisinde belirlenen pasa depolama alanında depolanmaktadır. Üretim planları dâhilinde, yaklaşık işletme aşaması kapsamında toplam 59.761.233 ton (24.649.932 m³) pasa meydana gelmektedir. Pasa depolama alanı tek etap olarak planlanmış olup proje bitimine kadar kullanılacak olan pasa döküm alanı 105,68 hektarlık alanı kaplamaktadır. Pasa depolama alanına düşen yağış ve sızıntı sularının toplanması için drenaj sistemi oluşturulmuştur. Drenaj sistemi ile toplanan sular 4687,5 m³ hacme sahip pasa sızıntı havuzunda toplanmakta ve süzöntü ile birlikte gelen askıda katı maddelerin çökmesi sağlanmaktadır. Fiziksel arıtma sürecini tamamlayan atıksu 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 7.1 Maden Sanayii Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları kapsamında değerlendirilerek deşarj limitleri içerisinde kalması durumunda Kovanlık Deresine deşarj edilemesi planlanmaktadır. Pasa sızıntı havuzuna gelen atıksu, pasa alanına düşen yağış ile orantılı olmakla birlikte yıl içerisinde değişkenlik göstermektedir. Yağışlı dönemlerde sızıntı suyu miktarı ortalama 60 m³/saat iken kurak dönemlerde sızıntı suyu tamamen kesilmektedir. Şekil 3.2’de pasa sızıntı suyu toplama sistemini gösterir plan ve Şekil 3.3’te ise arıtma tesislerin genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 3.2. Pasa sızıntı suyu toplama sistemi.



Şekil 3.3. Arıtma tesisleri genel görünüm.

- (2) Yeraltı Ocağı Kapsamında Oluşan Atıksular: İşletmede, yeraltı üretim faaliyetlerinde kes-doldur üretim yöntemi uygulanmaktadır. Üretim yapılan cevher katlarının üretimi tamamlandıktan sonra, uygun dolgu materyalleri (çimento içerikli beton dolgu, pasa dolgu veya macun dolgu) ile tekrar doldurulmaktadır. Yeraltı üretim sürecinde, yeraltı

suyunun galerilere akışı söz konusu olmaktadır. Yeraltı ocağı faaliyetlerinde, galerilerde açılan boşluğun güvenli bir şekilde açık tutulabilmesi amacıyla beton püskürtme yöntemiyle tahkimat yapılmaktadır. Bu tahkimatta kullanılan beton içerisine, katkı malzemesi olarak Viscocrete Hitech 3261, Sigunit L2430AF, Sigunit P2401AF ve Fiber Force60 kimyasalları eklenmektedir. Yeraltı faaliyetleri sırasında oluşan yeraltı suyu, tahkimat için kullanılan beton ile temas etmekte ve beton yapımında kullanılan katkı kimyasalları nedeniyle atıksuyun pH seviyesinde artışa neden olmaktadır. Bu durumu yönetmek amacıyla, yeraltı atıksu arıtma tesisi devreye girmektedir. Galerilerden gelen ve beton katkı malzemeleriyle kontamine olmuş atıksu, fiziksel çökelme işlemine tabi tutulduktan sonra, pH seviyesinin nötralize edilmesi için Sodyum Bisülfat çözeltisi eklenerek nötralizasyon işlemi uygulanmaktadır. Fiziksel arıtma süreci tamamlanan atıksu, 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde yayınlanan Tablo 7.1 Maden Sanayii Atık Suları'nın Alıcı Ortama Deşarj Standartları'na uygun olarak değerlendirilmekte olup, deşarj limitleri içerisinde kaldığı takdirde, Kovanlık Deresi'ne deşarj edilmektedir. Yeraltı çöktürme havuzlarına gelen atıksu miktarı, galerilerin geçtiği zemin geçirimliliği ve tahkimat özelliklerine göre değişiklik göstermekte olup, ortalama olarak 10,4 m³/saat atıksu çöktürme havuzlarına ulaşmaktadır. Şekil 3.4'de yeraltı atıksu arıtma tesisini gösterir plan yer almaktadır.



Şekil 3.4. Yeraltı atıksu arıtma tesisi.

- (3) İnsani Tüketim Amaçlı Oluşan Atıksular: İşletmede yemekhane ve personel ihtiyaçları kaynaklı oluşan evsel nitelikli atıksuların arıtılması için 60 m³/gün

kapasiteli paket tip biyolojik atıksu arıtma tesis kurulmuştur (40 m³/gün ve 20 m³/gün iki adet). Arıtma süreci tamamlanan atıksuyun 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Çizelge 3.2 Maden Sanayii Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları kapsamında değerlendirilerek deşarj limitleri içerisinde kalması durumunda Kovanlık Deresine deşarj edilmektedir.

Çizelge 3.2. İşletmedeki evsel ve endüstriyel nitekli atıksu arıtma tesisleri.

Tesis Adı	Kapasitesi (m ³ /gün)	Arıtma Yöntemi	İzin durumu
Pasa Sızıntı Havuzu Arıtma Tesisi	1440 (kesikli)	Fiziksel Arıtma	08.06.2021 tarih E-17270915-611.011056798 Sayılı yazı ile Proje Onay Muafiyeti
Yeraltı Çöktürme Havuzları Arıtma Tesisi	288	Fiziksel Arıtma	06.10.2020 tarihli 17270915-145.09-E.22262 sayılı yazı ile Proje Onay Muafiyeti
Paket Evsel AAT	40	Biyolojik	30.07.2017 tarih E.4508 sayılı yazı ile Proje Onayı
Paket Evsel AAT	20	Biyolojik	0.09.2021 Tarih ve E-17270915-110.03.02-1689951 Sayılı yazı ile Proje Onayı

3.1.5 Hava emisyonu

İşletme ısınma ihtiyacı için LNG gazı kullanmakta olup yıllık kullanım miktarı yaklaşık 64.000 SM³ tür. İşletme Hava Emisyon Konulu Çevre İznine tabiidir. Hava Emisyonu Konulu Çevre İzni dahilindeki emisyon kaynakları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Ayrıca açık ocak ve yer altı ocakları faaliyetleri (delme, patlatma, yükleme, taşıma, depolama vb) kapsamında da toz oluşumları gerçekleşmektedir.

Çizelge 3.3. Emisyon ölçüm noktaları.

No	Baca Kodu	Baca Adı	Ait olduğu ünite/tesis	Temsil ettiği ünite sayısı	İ ünite sayısı Kullanım amacı (Yakma/Proses/ Proses Dışı)	Bacanın Tabandan Yüksekliği (m)	Bacanın Çatıdan Yüksekliği (m)	Emisyon Azaltıcı tedbirler	On-line İzlenme durumu
1	KTB	Kırıcı	Kırıcı Ünitesi	2	Toz Tutma Bacası	11,7	-	Filtreleme	Hayır
2	ETB	Elek	Elek Ünitesi	2	Toz Tutma Bacası	11,7	-	Filtreleme	Hayır
3	APD-1	ADR Elektroliz	ADR Ünitesi	1	Proses	19	2	Scrubber	Hayır
4	APD-1	ADR Ortam	ADR Ünitesi	1	Proses	19	2	-	Hayır
5	APD-2	Altın Üretim	Altın Odası	2	Proses	12	2	Scrubber	Hayır
6	APD-2	Kalsinasyon Fırını	Altın Odası	1	Proses	11	1,5	-	Hayır
7	LAB-1	Lab Toz	Laboratuvar	1	Proses Dışı	6,30	1,5	Filtreleme	Hayır

Çizelge 3.3 (devam). Emisyon ölçüm noktaları.

8	LAB-2	Lab Çeker Ocak	Laboratuvar	1	Proses Dışı	6,30	1,3	Scrubber	Hayır
9	LAB-3	Lab Havalandırma	Laboratuvar	1	Proses Dışı (Ortam) Bacası	6,3	1,5	-	-
10	KD-CL	Asit Tankı Havalandırma	Kimyasal Depo	1	Proses Dışı (Ortam) Bacası	10	1,5	-	-

Açık ocaktan ve yeraltı ocaklarından kamyonlar aracılığıyla gelen cevher, cevher stok sahasında %10 nemli halde depolanmaktadır. Cevher stok sahasındaki cevher yükleyiciler yardımıyla kapalı bina içerisinde yer alan kırıcı ünitesi besleme bunkerine beslenmektedir. Yükleme işlemi esnasında bunker üzerinde bulunan nozzlelar ile toz ile mücadele kapsamında spreyleme işlemi yapılmaktadır. Besleme Bunker üzerinde bir adet, 600 mm açıklığında sabit ızgara bulunmaktadır. Izgaradan geçemeyen cevher, hidrolik kırıcı ile kırılıp tekrar bunkere beslenecektir. Bunkerin üzerine cevher dökülürken tozumayı önlemek amacı ile spreyleme yapılmaktadır.

Ayrıca; üretim faaliyetleri kapsamında yapılan nakliyelerden kaynaklı oluşan toz emisyonları için mevsimsel şartlarda göz önüne alınarak belirli periyotlarda sulama veya spreyleme işlemleri yapılmaktadır.

3.2 Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Karbon ayak izi hesaplaması çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yöntemler, bireylerin, şirketlerin veya ülkelerin çevreye olan etkilerini ölçmek için farklı araçlar ve veri kaynakları kullanılmaktadır. Karbon ayak izi hesaplamak için kullanılan temel yöntemler aşağıdaki başlıklarda özetlenmiştir.

3.2.1 Çevrimiçi karbon ayak izi hesaplayıcıları

Kişisel ve Kurumsal Hesaplayıcılar: Birçok çevrimiçi platform, bireyler ve işletmeler için karbon ayak izi hesaplayıcıları sunmaktadır. Bu hesaplayıcılarda genellikle enerji tüketimi, ulaşım, beslenme alışkanlıkları ve atık yönetimi gibi bilgiler girilerek karbon ayak izi hesaplanmaktadır. Örneğin, Global Footprint Network, WWF gibi organizasyonlar ücretsiz hesaplama araçları sunmaktadırlar.

Karbon ayak izi hesaplaması için kullanılan yazılımlar, daha sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu ve sera gazı emisyonlarını azaltmak ve azaltmak amacıyla geliştirilmiştir.

CCaLC₂, yaşam çözüm analizi (LCA) yaklaşımıyla sunulan, geniş kapsamlı veya sistemlerin karbon ayak izinlerini değerlendirirken, SimaPro ve OpenLCA gibi yazılımlar da benzer şekilde LCA odaklı geniş veri tabanları ve sektörel uygulamalar sunmaktadır. GHG Protokol Aracı ve Carbon Trust Footprint Calculator gibi araçlar, özellikle kurumsal karbon ayak izi belirtilerine odaklanırken, Energy Star Portfolio Manager ve CoolClimate Calculator gibi yazılımlar enerji tüketimi ve bireysel karbon programlamaları için uygun olmaktadır. Yenilenebilir enerji, lojistik, gıda ve sanayi gibi birçok üründe kullanılan bu yazılımlar, kullanıcı dostu bağlantılar ve ayrıntılı analiz yeteneğiyle, hem bireysel hem de kurumsal sürdürülebilirlik geliştirme olanağı sağlamaktadır. Özellikle CCaLC₂, akademik ve endüstriyel uygulamalarda hızla etkili çözümler sunarak öne çıkmaktadır.

3.2.2 Manuel hesaplama

Karbon ayak izi, manuel olarak enerji, yakıt ve tüketim verilerine dayanarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntemde, kullanılan elektrik, doğal gaz, benzin gibi kaynakların tüketim miktarları belirlenir ve bu değerler karbondioksit emisyon katsayılarıyla çarpılır. Örneğin:

- » 1 kWh elektrik kullanımı ortalama olarak 0.233 kg CO₂ salınımına neden olur.
- » 1 litre benzin ise yaklaşık 2.31 kg CO₂ salınımı yaratır.

Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment - LCA): Bir ürünün, hizmetin veya faaliyetin tüm yaşam döngüsü boyunca neden olduğu karbon emisyonlarını ölçen bir yöntemdir. Ürünün hammaddelerinin çıkarılmasından üretimine, taşınmasına, kullanımına ve atık yönetimine kadar olan tüm aşamalar dikkate alınmaktadır. Özellikle büyük şirketler bu yöntemi kullanarak ürünlerinin karbon ayak izini hesaplamaktadırlar. Bu yöntem, daha kapsamlı ve ayrıntılı bir değerlendirme sağlamaktadır.

Karbon Emisyon Faktörleri: Emisyon faktörleri, belirli faaliyetler için standart karbon salınım katsayılarıdır. Örneğin, bir litre benzinin yanması belirli bir miktar CO₂ salınımına neden olmaktadır. Bu tür standart katsayılar kullanılarak, bir faaliyetin toplam karbon salınımı hesaplanabilmektedir. Emisyon faktörleri genellikle hükümetler veya çevre kuruluşları tarafından belirlenmektedir. Bu yöntem, sektörel bazda da

uygulanabilmektedir. Örneğin, bir üretim tesisinin veya tarım işletmesinin karbon ayak izi bu faktörler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Kapsamlı (Tier) Yaklaşımı: Karbon ayak izi hesaplamasında Tier 1, 2 ve 3 şeklinde üç kapsam kullanılır:

- » Tier 1: Doğrudan emisyonlar, yani firmanın kendi kontrolündeki faaliyetler (örneğin, bir fabrikadaki yakıt tüketimi).
- » Tier 2: Dolaylı enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlar (örneğin, satın alınan elektrik).
- » Tier 3: Tedarik zincirinden ve diğer dolaylı faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar (örneğin, taşımacılık veya çalışanların iş seyahatleri).

Karbon Ayak İzi Yazılımları: Kurumlar, şirketler veya büyük projeler için özel karbon ayak izi yazılımları kullanmaktadırlar. Bu yazılımlar, veri girişine dayalı olarak tüm süreçleri izler ve raporlar oluşturmaktadır. Örneğin, SimaPro, GaBi gibi yazılımlar, karmaşık karbon ayak izi analizleri için kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle, bireyler ve işletmeler enerji tüketimleri ve faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salınımlarını daha iyi anlayabilir ve bu emisyonları azaltma yollarını planlayabilirler.

3.2.3 IPCC karbon ayak izi hesaplama metodolojisi

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli), karbon ayak izi ve sera gazı emisyonlarının hesaplanmasına yönelik çeşitli kılavuzlar ve metodolojiler geliştirmiştir. Bu metodolojiler, iklim değişikliği üzerindeki etkileri anlamak, karbon emisyonlarını ölçmek ve azaltmak için bilimsel temelli bir yaklaşım sunmaktadır. IPCC'nin karbon ayak izi hesaplama metodolojisi, ülkelerin, sektörlerin ve bireylerin emisyonlarını hesaplayarak raporlamalarını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. IPCC, bu hesaplamaları üç ana düzeyde gerçekleştirir: Tier 1, Tier 2 ve Tier 3. Bu düzeyler, hesaplama yöntemlerinin detay seviyesini ve veri gereksinimlerini ifade eder.

IPCC'nin sunduğu standart emisyon faktörleri (Tier 1) veya ülkedeki spesifik emisyon oranları (Tier 2 ve Tier 3) kullanılmaktadır.

3.2.3.1 IPCC'nin üç seviyeli (Tier) yöntemi

IPCC, karbon ayak izi hesaplamasında üç farklı doğruluk seviyesi sunmaktadır.

- « Tier 1 (Temel Seviye): Genel emisyon faktörlerinin kullanıldığı en basit yöntemlerdendir. Bu yöntem, belirli bir bölgeye veya sektöre özgü olmayan küresel ortalama verilerle yapılmaktadır. Çoğu ülke ve kuruluş başlangıç olarak bu seviyeyi kullanmaktadır. Veriler genellikle IPCC'nin hazırladığı varsayılan emisyon faktörlerine dayanmaktadır.
- « Tier 2 (Orta Seviye): Bölgeye veya ülkeye özgü emisyon faktörlerini ve verileri kullanarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu seviyede, belirli sektörler veya yerel koşullar dikkate alınarak emisyonlar daha kesin bir şekilde hesaplanmaktadır.
- « Tier 3 (Gelişmiş Seviye): En karmaşık ve en doğru seviye olan Tier 3, tesis bazlı veya doğrudan ölçümlerle yapılan hesaplamaları içermektedir. Bu yöntem, sektöre özgü modellemeleri, süreçlere dayalı hesaplamaları ve daha ayrıntılı veri analizlerini içermektedir. Özellikle büyük sanayi kuruluşları bu seviyede emisyon raporlaması yapmaktadırlar.

2023 yılında TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis üretimden faaliyetleri kapsamında CO₂ emisyonu hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanılmıştır. Bu çalışmada TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis' karbon ayak izi hesaplamaları için ilk olarak IPCC kılavuzunda yer alan Tier-1 yaklaşımının hesaplama metodolojisi ve ulusal ve uluslararası mecrada kabul görmüş (LCA, GHG vb.) emisyon faktörleri seçimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sektörel Emisyon Hesaplama: IPCC metodolojisi, sera gazı emisyonlarının sektörel bazda hesaplanmasını önermektedir. Ana sektörler şunlardır:

- Enerji Sektörü: Elektrik üretimi, fosil yakıt tüketimi, ulaşım gibi enerji ile ilgili emisyonlar.
- Endüstri: Üretim süreçlerinden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı emisyonlar.
- Tarımsal Faaliyetler: Tarım ve hayvancılıktan kaynaklanan metan ve azot oksit emisyonları.

- Arazi Kullanımı ve Ormancılık (LULUCF): Ormanların kesilmesi, ağaçlandırma gibi arazi değişikliklerinden kaynaklanan karbon tutma veya salım.
- Atık Yönetimi: Çöp depolama alanları, atık su arıtma gibi süreçlerden kaynaklanan emisyonlar.

3.2.3.2 Emisyon faktörleri

Emisyon faktörleri, belirli bir faaliyet veya süreçten kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarını ifade etmektedir. IPCC, enerji kullanımı, endüstriyel faaliyetler, tarım ve atık gibi farklı sektörler için emisyon faktörlerini sağlamaktadır. Bu faktörler, birim enerji başına, ton başına ya da belirli bir üretim miktarı başına ne kadar sera gazı salındığını göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda kullanılacak emisyon faktörlerine ait bilgi ve alındığı kaynak ile ilgili bilgilerin içerdiği tablolar aşağıda alt başlıklar halinde gösterilmiştir.

Yakıt Türleri İçin Emisyon Faktörü: Aşağıdaki tablo, IPCC'nin 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories dokümanında yer alan yakıt türlerine göre CO₂ emisyon faktörlerini göstermektedir. Bu faktörler, enerji hesaplamalarında yaygın olarak kullanılır ve yakıt türüne göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3.4. Yakıt türlerinin CO₂ emisyon faktörleri (IPCC, 2006).

Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (CO ₂)	Birim	Kaynak
Taş Kömürü	94.6	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Linyit	101.0	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Doğal Gaz	56.1	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Benzin	69.3	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Dizel Yakıtı	74.1	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Jet Yakıtı	71.5	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
LPG (Sıvılaştırılmış Gaz)	63.1	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Kerosin	71.9	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Fuel Oil	77.4	kg CO ₂ /GJ	Cilt 2
Odun (Biyokütle)	112	kg CO ₂ /ton	Cilt 2

Bu tablo, IPCC tarafından önerilen varsayılan değerleri içermektedir. Daha kesin emisyon hesaplamaları için ülkeye veya yakıtın kaynağına özgü faktörlerin kullanılması önerilmektedir.

Dolaylı Sera Gazlarının CO₂ Emisyon Faktörleri : IPCC, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories dokümanında, dolaylı sera gazı türlerine ilişkin varsayılan CO₂ emisyon faktörleri genellikle enerji üretiminden kaynaklanan emisyonlar veya süreçlerdeki diğer sera gazlarının CO₂ eşdeğerleri olarak değerlendirilmektedir. Tez çalışması kapsamında dolaylı sera gazları; enerji kullanımı (örneğin, elektrik) ve diğer dolaylı kaynaklar için ayrı ayrı ele alınmaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Dolaylı sera gazlarının CO₂ emisyon faktörleri (IPCC, 2006).

Dolaylı Emisyon Kaynağı	Emisyon Faktörü (CO ₂)	Birim	Kaynak
Elektrik Tüketimi	0.3 - 1.0	kg CO ₂ /kWh	Bölgesel Kayıtlara Göre (TEİAŞ 2024)
Atık Yönetimi (Depolama)	50 - 300	kg CO ₂ /ton atık	Cilt 5

Ulaşım Kaynaklı Dolaylı Sera Gazı Emisyon Faktörleri: Çizelge 3.6’da, IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories dokümanında yer alan ulaşım kaynaklı dolaylı sera gazı emisyon faktörleri tablo halinde sunulmuştur. Bu faktörler, farklı ulaşım modları (karayolu, deniz, hava vb.) ve yakıt türlerine göre CO₂ emisyonlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.6. Ulaşım kaynaklı dolaylı sera gazı emisyon faktörleri (IPCC, 2006).

Ulaşım Türü	Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (CO ₂)	Birim	Kaynak
Karayolu Taşımacılığı	Benzin	2.37	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
	Dizel	2.7	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
	LPG	1.6	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
Havayolu Taşımacılığı	Jet Yakıtı	2.5	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
	Avgas (Pistonlu Uçak)	2.4	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
Deniz Taşımacılığı	Fuel Oil	3.1	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
	Dizel	2.7	kg CO ₂ /litre	Cilt 3
Demiryolu Taşımacılığı	Dizel	2.7	kg CO ₂ /litre	Cilt 3

Bir Kuruluş Tarafından Kullanılan Ürünlerden Kaynaklanan Dolaylı Sera Gazı Emisyonları: IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, bir kuruluş tarafından kullanılan ürünlerden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında kullanılabilecek varsayılan emisyon faktörlerini de içermektedir (Çizelge 3.7). Bu tür emisyonlar genellikle Scope 3 olarak sınıflandırılır ve kimyasal madde kullanımı ve atık yönetimi gibi dolaylı süreçlerden kaynaklanır.

Çizelge 3.7. Dolaylı sera gazı emisyon faktörleri (IPCC, 2006).

Ürün veya Süreç	Emisyon Kaynağı	Emisyon Faktörü (CO ₂)	Birim	Kaynak
*Kimyasal Madde Kullanımı	Cevher Zenginleştirme Tesisi	-	kg CO ₂ /litre	Reaksiyonlar
Atık Yönetimi	Depolama veya Yakma	50 - 300	kg CO ₂ /ton atık	Cilt 5

*Kimyasal Maddenin kullanıldığı işlemde açığa çıkan reaksiyonlar sonucu hesaplanmaktadır.

Patlayıcı Maddelerin Kullanımından Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Faktörleri: Ecoinvent, yaşam sorunu analizi (LCA) için kullanılan bir veri tabanıdır. Patlayıcı maddeler gibi belirli kimyasalların üretim ve kullanımından kaynaklanan emisyon parçalarını içermektedir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Patlayıcı maddelerden kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri.

Patlayıcı Madde	Sera Gazı Türü	Emisyon Faktörü	Birim	Kaynak
Patlayıcı Madde	CO ₂	2,9625	kg CO ₂ /ton	Ecoinvent Veri Tabanı

Patlatma faaliyetleri, madencilik operasyonlarının hem açık ocak hem de yer altı ocaklarında önemli bir parçasıdır.

Patlayıcıların kimyasal yapısı (örneğin, amonyum nitrat ve yakıt karışımları) ve patlama koşulları, emisyon miktarlarını doğrudan etkiler. Patlatma sırasında açığa çıkan emisyonlar, genellikle karbonhidratlar (CO₂), azot oksitler (NO_x) ve metan (CH₄) gibi sera gazlarını içerir. Açık ocaklarda emisyonlar daha fazla serbestleşirken, yer altı ocaklarında gazlar sınırlı bir biçimde birleştirilmiş birikir ve havalandırma sistemleri atmosfer salınmaktadır.

ANFO ve Dinamit: Emisyon faktörleri, kullanılan patlayıcı türüne ve kimyasal bileşimine göre değişebilmektedir. Yerel Veriler: Daha kesin hesaplamalar için, tesis veya operasyon bazlı ölçümler yapılması önerilmektedir.

N₂O ve CH₄ Eşdeğerleri: Bu gazların küresel ısınma potansiyelleri (GWP) dikkate alınarak CO₂ eşdeğerine dönüştürülmesi önemlidir.

Kağıt-Karton, Metal ve Plastik Atıkların Depolanmasından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyon Faktörleri: IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

atıkların depolanması sırasında oluşan sera gazı emisyonlarını (CO_2 , CH_4 ve N_2O) hesaplamak için kullanılan varsayılan emisyon faktörlerini içermektedir. Çizelge 3.9’da Sameer Sawant and Basavraj Babaleshwar’in ‘‘ A New Method Of Assessment And Equations On Carbon Footprint’’ çalışmasından kağıt-karton, metal ve plastik atıkların depolanmasından kaynaklanan emisyon faktörleri verilmiştir.

Çizelge 3.9. Kağıt-karton, metal ve plastik atıkların depolanmasından kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri (Sawant,S. ve Babaleshwar, B., 2015).

Atık Türü	Sera Gazı Türü	Emisyon Faktörü	Birim	Kaynak
Kağıt ve Karton Atıklar	CO_2	0,928	kg $\text{CO}_2\text{eq/kg}$	Sawant,S. ve Babaleshwar, B., 2015
Plastik Atıklar	CO_2	2,154	kg $\text{CO}_2\text{eq/kg}$	Sawant,S. ve Babaleshwar, B., 2015

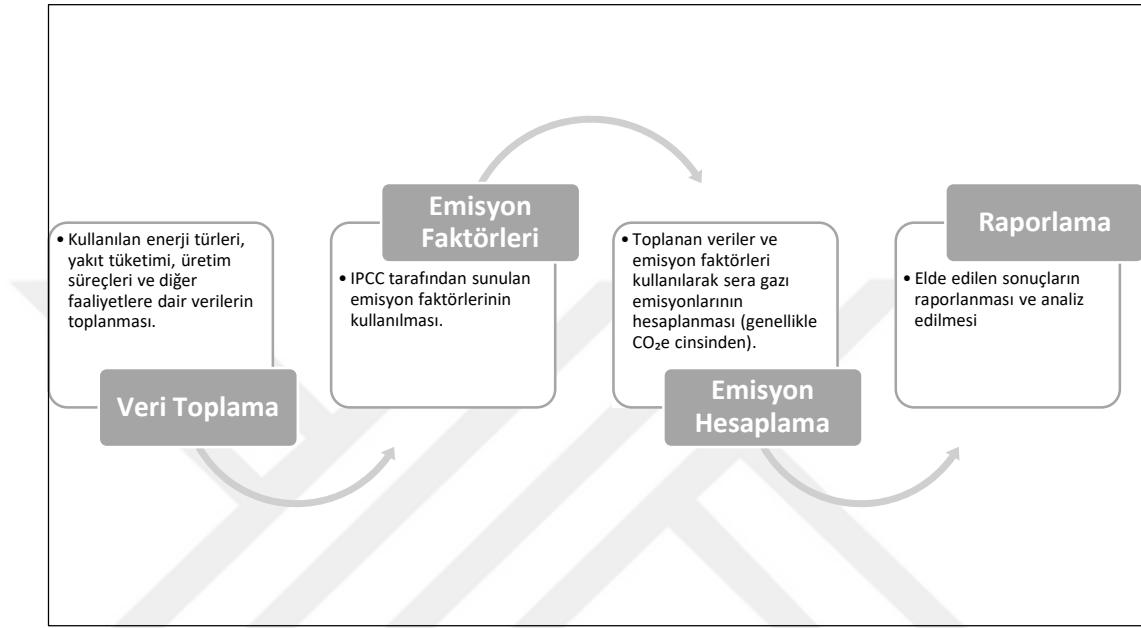
Toprak Kazınmasından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyon Faktörleri: IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, toprağın kazınmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları için, özellikle toprak karbonunun bozulması ve karbonun atmosfere salınımı gibi süreçlere odaklanmaktadır. Bu tür emisyonlar genellikle tarım, ormancılık ve arazi kullanımı (AFOLU) kategorisinde değerlendirilmektedir. Toprak kazınmasından kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Toprak kazınmasından kaynaklanan sera gazı emisyon faktörleri.

Emisyon Kaynağı	Sera Gazı Türü	Emisyon Faktörü	Birim	Kaynak
Ormanlık Alan	CO_2	100	ton C/ha	Cilt 4
	N_2O	0.005	kg $\text{N}_2\text{O/kg}$ azot	Cilt 4
	CH_4	0 (Varsayılan)	-	Genel IPCC Yaklaşımı
Tarım Alanı	CO_2	50	ton C/ha	Cilt 4
	N_2O	0.004	kg $\text{N}_2\text{O/kg}$ azot	Cilt 4
	CH_4	0 (Varsayılan)	-	Genel IPCC Yaklaşımı
Çayır Alanı	CO_2	75	ton C/ha	Cilt 4
	N_2O	0.003	kg $\text{N}_2\text{O/kg}$ azot	Cilt 4
	CH_4	0 (Varsayılan)	-	Genel IPCC Yaklaşımı

3.2.3.3 IPCC metodolojisinin aşamaları

Karbon ayak izi hesaplamasında izlenmesi gereken genel adımlar aşağıda sunulmuştur. Bu metodoloji, ülkelerin ve işletmelerin karbon ayak izini hesaplayarak iklim değişikliği ile mücadele hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmaktadır. Şekil 3.5’de IPCC metodolojisinin aşamaları yer almaktadır.



Şekil 3.5 IPCC metodolojisinin aşamaları.

3.2.4 Sera gazı emisyonları türleri

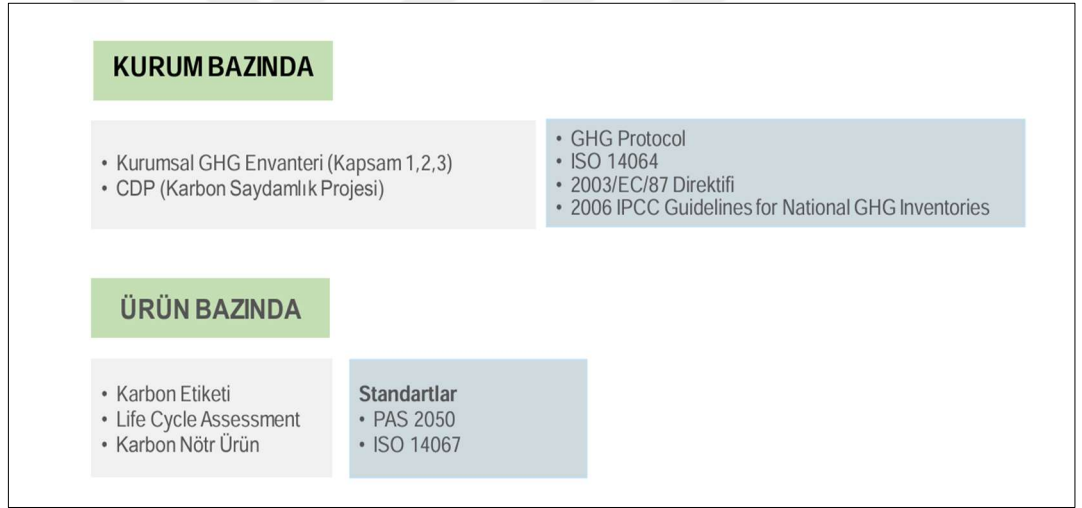
IPCC, karbon ayak izi hesaplamalarında sadece karbondioksit (CO₂) değil, diğer sera gazlarını da dikkate almaktadır. Bu gazlar şunlardır:

- Karbondioksit (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Diazot monoksit (N₂O)
- Hidroflorokarbonlar (HFC'ler)
- Perflorokarbonlar (PFC'ler)
- Kükürt hekzaflorür (SF₆)

Her gazın farklı bir Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) vardır. IPCC, bu gazların her birinin küresel ısınmaya katkısını ölçmek için bir GWP katsayısı kullanır ve bunlar CO₂ eşdeğeri (CO₂e) olarak ifade edilmektedir.

3.3 Karbon Ayak İzi Hesaplamalarında Kullanılan Standartlar

Türkiye'de, kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları için en yaygın kullanılan yöntemler arasında GHG Protokolü ve ISO 14064 standartları bulunmaktadır. Bunlar, sera gazı emisyonlarını izlemek ve raporlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Ancak, kurumlar karbon ayak izlerini hesaplamak için başvurabilecekleri diğer standartlar da mevcuttur. Bunlar arasında Karbon Saydamlık Projesi (Carbon Disclosure Project), Carbon Reduction Commitment & Energy Efficiency Scheme, EPA Climate Leaders, ve US Regional Greenhouse Gas Initiative gibi önemli standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar, kuruluşların sera gazı emisyonlarını izlemek, raporlamak ve azaltmak için çeşitli kılavuzlar ve yöntemler sunmaktadır. Bu sayede kurumlar, karbon ayak izlerini belirleyerek çevresel etkilerini azaltma konusunda daha bilinçli kararlar alabilmektedir. Şekil 3.6'da karbon ayak izi hesaplama standartlarını gösterir şema yer almaktadır.



Şekil 3.6. Karbon ayak izi hesaplama standartları.

3.3.1 ISO 14064

ISO 14064, sera gazı emisyonlarının hesaplanması, raporlanması ve doğrulanması için uluslararası kabul görmüş bir standarttır. Sera gazı emisyonlarını yönetmek, azaltmak ve izlemek isteyen kuruluşlar için oluşturulmuş üç bölümden oluşmaktadır. Bu standart, özellikle işletmelerin ve kuruluşların çevresel etkilerini daha iyi yönetmelerine ve azaltmalarına yardımcı olmaktadır.

Bir kurulusun; sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının istikrarlı raporlanması, envanterlerinin çıkartılması, sera gazı emisyon azaltımı veya uzaklaştırılması iyileştirme projeleri ve sera gazı bildirimlerinin doğrulanması ve geçerli kılınması için bir rehber olarak kullanılmak üzere önerilen bir standartlar serisidir. Bir denkleştirme protokolüdür. 2006 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu tarafından çıkarılmıştır, gönüllü olarak sera gazı azaltımları amaçlamaktadır ve tarafsız duran bir politikası yürütmektedir.

ISO 14064, üç ana bölümden oluşmaktadır:

(1) ISO 14064-1: Kuruluşların Sera Gazı Envanteri Hazırlaması ve Raporlaması: Söz konusu standart ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- » ISO 14064-1, kuruluşların sera gazı emisyonlarını nasıl ölçmesi, raporlaması ve yönetmesi gerektiğini tanımlamaktadır. Bu bölüm, kuruluşların sera gazı (SG) envanterlerini hazırlamak için izlemeleri gereken adımları açıklamaktadır.
- » Doğrudan (Scope 1) ve dolaylı (Scope 2 ve Scope 3) sera gazı emisyonlarının llmesine odaklanmaktadır.
 - Scope 1: Kuruluşun kontrolü altındaki doğrudan emisyonlar (rneğin, tesislerde kullanılan fosil yakıtlar).
 - Scope 2: Kuruluşun enerji tüketiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlar (rneğin, elektrik tüketimi).
 - Scope 3: Kuruluşun tedarik zinciri ve diğer dolaylı faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar (rneğin, taşımacılık veya atık yönetimi).

Bu bölüm, kuruluşların emisyonları izlemelerini, raporlamalarını ve iyileştirme hedefleri belirlemelerini sağlamaktadır.

(2) ISO 14064-2: Projeler için Sera Gazı Azaltımı: Söz konusu standart ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- » ISO 14064-2, zel projelerde sera gazı emisyonlarının nasıl azaltılacağını açıklayan bir bölümdür. Bu, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik projeleri (rneğin, enerji verimliliği projeleri veya yenilenebilir enerji projeleri) planlamak ve yürütmek için bir ereve sunmaktadır.

- » Projelerin sera gazı azaltımı üzerindeki etkilerinin nasıl ölçüleceği, raporlanacağı ve doğrulanacağına dair rehberlik sağlamaktadır.
- » Bu bölüm, karbon azaltma projeleri yürüten kuruluşlar için büyük önem taşır ve özellikle karbon ticareti (karbon kredisi) sistemlerine uyum sağlamak için kullanılmaktadır.

(3) ISO 14064-3: Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanması ve Denetimi: Söz konusu standart ile ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- » ISO 14064-3, sera gazı beyanlarının bağımsız olarak doğrulanması ve denetlenmesi sürecini tanımlamaktadır. Kuruluşların raporladıkları sera gazı emisyonlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır.
- » Bağımsız doğrulayıcılar tarafından yapılacak olan denetimlerin metodolojisini belirlemektedir. Bu bölüm, emisyon verilerinin uluslararası standartlara uygun olarak kontrol edilmesini sağlamaktadır.

3.3.2 ISO 14064-1

ISO 14064-1, sera gazı envanterlerinin kuruluş veya şirket seviyesinde tasarlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması için belirli ilkeler ve şartlar sunan bir standarttır. Bu standart, sera gazı emisyonlarının belirlenmesi ve bir kuruluşun sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırılmalarının hesaplanmasına yönelik gereklilikleri içerir. Ayrıca, şirketin özel tedbirlerini veya faaliyetlerini tanımlamak için de bir çerçeve sağlar. ISO 14064-1, doğrulama faaliyetleri için envanter kalite yönetimi, raporlama, iç tetkik ve kuruluşun sorumluluklarına dair şartları ve rehberlik sağlamaktadır.

Bu standart, sera gazı yönetimini iyileştirmek için birçok sektörde ve farklı büyüklükteki kuruluşlar için uygulanabilir. Örneğin, sanayi ve üretim sektöründe, fabrikalar ve üretim tesisleri, operasyonlarının karbon ayak izini izlemek ve azaltmak amacıyla ISO 14064-1 standardını kullanabilir. Enerji sektöründe ise, enerji üretimi ve dağıtım süreçlerinde sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması için bu standart önemli bir araçtır. Tarım ve gıda işletmeleri de üretim süreçlerinin çevresel etkilerini izlemek için ISO 14064-1'i kullanabilir, böylece tarımsal faaliyetlerin sera gazı emisyonlarına olan etkisi değerlendirilir.

Hizmet ve lojistik sektöründe de, özellikle lojistik ve nakliye şirketleri, tedarik zincirindeki emisyonları izlemek ve raporlamak için ISO 14064-1'i benimseyebilirler. Bu, şirketlerin çevresel etkilerini daha iyi yönetmelerine yardımcı olur ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını kolaylaştırır. Ayrıca, bu standart, kuruluşların karbon ayak izlerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmelerine yardımcı olur ve sürdürülebilirlik çabalarını destekler.

Sonuç olarak, ISO 14064-1, sera gazı emisyonlarını izlemek, ölçmek ve şeffaf bir şekilde raporlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Karbon ayak izini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek isteyen her türlü kuruluş için uygundur ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır.

3.3.3 ISO 14067

ISO 14067, ürünlerin karbon ayak izi (Carbon Footprint of Products - CFP) ile ilgili bir uluslararası standarttır. Bu standart, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını hesaplama ve raporlama sürecine odaklanmaktadır. ISO 14067, özellikle ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerini ölçmek ve şeffaf bir şekilde raporlamak isteyen şirketler için geliştirilmiştir. ISO 14067, geniş bir kullanım alanına sahip olup, özellikle ürünlerin çevresel etkilerini ve karbon ayak izlerini ölçmek ve azaltmak amacıyla çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu standart, üretim süreçlerinde oluşan sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve iyileştirilmesi için oldukça faydalıdır. Üretim sektörü, ürünlerin üretim aşamalarındaki emisyonları hesaplayarak çevresel etkilerini daha iyi anlayabilir ve bu etkileri azaltmak için stratejiler geliştirebilir. Bu sayede, üretim süreçlerinin karbon ayak izi minimize edilebilir. Tarım ve gıda sektörü de ISO 14067'yi kullanarak, gıda ürünlerinin üretiminden tüketimine kadar olan süreçlerdeki karbon emisyonlarını hesaplayabilir. Tarım faaliyetlerinin sera gazı salınımına olan etkisini değerlendiren bu standart, gıda tedarik zincirinde daha sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesine yardımcı olur. Ayrıca, tüketim malları sektöründe de ISO 14067 önemli bir rol oynar. Elektronik, tekstil, plastik ve diğer tüketim mallarının üretimi ve tüketimi sırasında oluşan karbon emisyonlarını belirlemek için bu standart kullanılmaktadır. Ürünlerin çevresel etkilerinin daha iyi anlaşılması, tüketici taleplerine yanıt vermek ve çevre dostu ürünler üretmek için büyük önem taşır. Lojistik ve taşımacılık sektörü de ISO 14067'yi, ürünlerin taşınması ve dağıtımı sırasında oluşan emisyonları izlemek ve optimize etmek için kullanmaktadır. Taşıma süreçlerinin karbon

ayak izini belirleyerek, daha düşük emisyonlu taşıma yöntemleri ve çözümler geliştirilmesi sağlanabilir. ISO 14067, bu sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin karbon ayak izlerini daha şeffaf bir şekilde raporlamalarına ve bu emisyonları azaltmak için adımlar atmaları adına bir rehberlik sağlar. Sonuç olarak, ISO 14067, ürünlerin karbon ayak izinin hesaplanması için küresel bir standart sunarak, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını desteklemektedir. Bu standart, ürünlerin çevresel etkilerini daha açık bir şekilde raporlama ve çevresel ayak izlerini azaltma çabalarını teşvik eder, böylece çevre dostu ve sürdürülebilir üretim ve tüketime katkı sağlar.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Doğrudan Sera Gazı Emisyonları

TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan kaynaklı emisyonlardır (doğrudan atmosfere emisyon salan, sahip olunan veya kontrol edilen faaliyetlerden kaynaklanır). Çizelge 4.1’de doğrudan sera gazı emisyonları veri kaynaklarını gösterir tablo yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Doğrudan sera gazı emisyonları veri kaynakları.

Emisyon Kaynağı	Detay
Şirket Araçları	Şirkette çalışanlara tahsis edilen ve çalışanlar tarafından iş süreçlerinde kullanılan araçlar
İş Makinaları	Madencilik faaliyetleri kapsamında kullanılan iş makinaları ve kamyonlar
Doğal Gaz	Personel ihtiyaçlarını (ısınma, sıcak su) karşılamak amacıyla kullanılan gaz yakıtlar
Kömür	Personel ihtiyaçlarını (ısınma, sıcak su) karşılamak amacıyla kullanılan katı yakıtlar
Patlatma Faaliyeti	Açık ocak ve yeraltı ocağı faaliyetleri kapsamında yapılan patlayıcı madde kullanımı
Havalandırma	Yeraltı Ocaklarındaki Havalandırma Sistemlerinden Kaynaklı Emisyonlar
Toprağın bozulması	Arazi hazırlık döneminde bitkisel toprağın sıyrılması ve oocak faaliyetlerinde kazı işlemlerinin yapılması

4.2 Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyonları

Dolaylı emisyonlar, bir şirketin yürütmüş olduğu faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır, ancak başka bir şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynakların kullanılmasından ortaya çıkmaktadır. Dolaylı emisyonlar aşağıdaki Çizelge 4.2’deki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 4.2. Enerji dolaylı sera gazı emisyonları veri kaynakları.

Emisyon Kaynağı	Detay
Elektrik Tüketimi	Şebekeden alınan elektrik tüketimi.

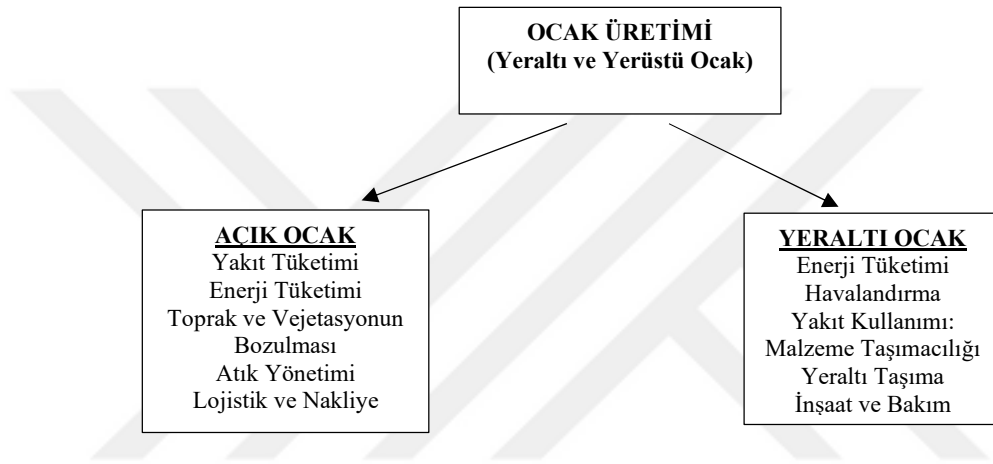
4.3 Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyonları

Enerji dolaylı sera gazı salımlarından başka, bir kuruluşun faaliyetlerinin bir sonucu olarak, başka kuruluşların sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından ortaya çıkan sera gazı salımlarını kapsamaktadır. Diğer dolaylı emisyonlar aşağıdaki Çizelge 4.3’teki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 4.3. Diğer dolaylı sera gazı emisyonları veri kaynakları.

Emisyon Kaynağı	Detay
Geri Dönüşüm	Geri Dönüşüm Kaynaklı Emisyonlar.
Atıklar	Atık Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar
Kimyasal Kullanımı	Üretimde Kullanılan Kimyasallardan Kaynaklı Emisyonlar

Tesise ait nihai ÇED raporunda yapılan inceleme doğrultusunda ocak faaliyetleri, Kırma Eleme Tesisi ve Zenginleştirme Tesisinde ki üretim faaliyetlerinde oluşacak karbon emisyonlarını aşama aşama gösteren iş akım şeması Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te yer almaktadır.



Şekil 4.1. Ocak faaliyetinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.

4.3.1 Açık ocak

Yakıt Tüketimi: Ağır Makineler ve Ekipmanlar: Açık ocak madenciliğinde kullanılan ekskavatörler, kamyonlar, buldozerler ve diğer ağır makineler büyük miktarda dizel yakıt tüketmektedir. Bu araçların çalışması sırasında karbondioksit (CO₂) emisyonları meydana gelmektedir.

Patlayıcılar: Cevherin çıkarılması için kullanılan patlayıcılar, karbon emisyonlarına ve diğer kirleticilere yol açabilmektedir.

Enerji Tüketimi: Elektrik: Maden sahasında kullanılan çeşitli ekipmanlar, pompalar ve aydınlatma için elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Elektrik üretimi fosil yakıtlardan yapıldığında karbon ayak izi artmaktadır.

Toprak ve Vejetasyonun Bozulması: Karbon Depolarının Azalması: Açık ocak madenciliği sırasında büyük miktarda toprak ve vejetasyon yer değiştirebilmekte veya yok edilmektedir. Toprak ve bitki örtüsü doğal karbon depolarıdır ve bunların yok edilmesi, karbon salınımına neden olabilmektedir.

Ormansızlaşma: Maden alanının genişletilmesi sırasında ormanların kesilmesi, karbon depolarının azalmasına ve karbondioksitin atmosfere salınmasına neden olmaktadır.

Atık Yönetimi: Maden Atıkları: Açık ocak madenciliği, büyük miktarda maden atığı (tüvenan cevher, gang) üretmektedir. Bu atıkların depolanması ve yönetimi sırasında karbon emisyonları meydana gelmektedir.

Taşımacılık: Lojistik ve Nakliye: Çıkarılan cevherin işleme tesislerine veya piyasaya taşınması sırasında yakıt tüketimi ve dolayısıyla karbon emisyonları artırmaktadır.

4.3.2 Yeraltı ocak

Enerji Tüketimi: Yeraltı ocak faaliyetinde enerji tüketiminde karbon oluşum aşamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

(1) Havalandırma: Yeraltı madenciliğinde havalandırma sistemleri, işçilerin güvenliği ve hava kalitesinin sağlanması için sürekli olarak çalışmaktadır. Bu sistemler yüksek miktarda elektrik tüketmektedir.

(2) Aydınlatma: Yeraltı madenlerinde sürekli aydınlatma gereklidir ve bu da enerji tüketimine neden olmaktadır.

(3) Pompalar: Yeraltı madenciliğinde suyun tahliye edilmesi için pompalar kullanılır. Bu pompalar da enerji tüketmektedir.

Yakıt Kullanımı: Makineler ve Ekipmanlar: Yeraltı madenciliğinde kullanılan delme makineleri, yükleyiciler, taşıma araçları ve diğer ekipmanlar genellikle dizel veya benzinle çalışmaktadır. Bu araçların çalışması sırasında karbondioksit (CO₂) emisyonları meydana gelir.

Patlayıcılar: Patlayıcı Kullanımı: Cevherin çıkarılması için kullanılan patlayıcılar, karbon emisyonlarına ve diğer kirleticilere yol açabilmektedir. Patlamalar sırasında ortaya çıkan gazlar da çevreye zarar vermektedir.

Malzeme Taşımacılığı: Yeraltı Taşıma: Çıkarılan cevherin yerüstüne taşınması sırasında kullanılan taşıma sistemleri enerji tüketir ve karbon emisyonlarına neden olmaktadır.

İnşaat ve Bakım: Yeraltı ocak faaliyetinde inşaat ve bakımdan işlemlerinde karbon oluşum aşamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

(1) Tünel İnşaatı: Tünel açma ve yeraltı yapılarının inşası enerji ve yakıt gerektirir, bu da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

(2) Ekipman Bakımı: Makinelerin ve ekipmanların düzenli bakımı da enerji ve kaynak tüketimine neden olmaktadır.

4.3.3 Kırma eleme tesisi

Şekil 4.2’de kırma eleme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kırma eleme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.

Enerji Tüketimi: Kırma Eleme Tesis faaliyetinde enerji tüketiminde karbon oluşum aşamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

(1) Elektrik Kullanımı: Öğütme makineleri, yüksek miktarda elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bu makineler, cevheri öğütmek için büyük miktarda enerji gerektirmektedir. Elektriğin fosil yakıtlardan elde edilmesi durumunda karbon emisyonları artmaktadır.

(2) Ekipman Kullanımı: Öğütme işlemi sırasında kullanılan konveyörler, pompalar ve diğer yardımcı ekipmanlar da enerji tüketmektedir.

Yakıt Kullanımı: Dizel Jeneratörler: Bazı maden sahalarında elektrik enerjisi dizel jeneratörlerle sağlanmaktadır. Dizel jeneratörlerin kullanımı karbon emisyonlarına neden olmaktadır.

Makine Bakımı ve İşletme: Kırma Eleme Tesis faaliyetinde makine bakımı ve işletme işlemlerinde karbon oluşum aşamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

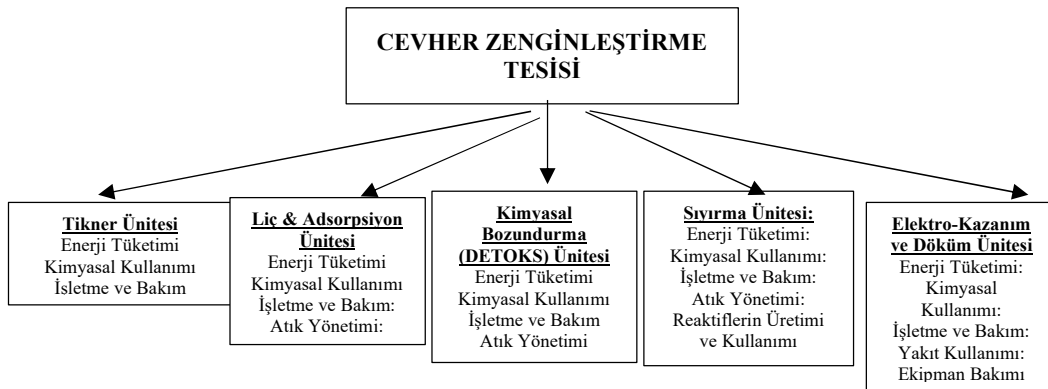
(1) Bakım ve Onarım: Öğütme makinelerinin ve diğer ekipmanların düzenli bakımı ve onarımı enerji ve kaynak tüketimine neden olmaktadır.

(2) Yağlama ve Diğer Sarf Malzemeleri: Öğütme makinelerinin işletilmesi sırasında kullanılan yağlama maddeleri ve diğer sarf malzemeleri de dolaylı olarak karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

Malzeme Taşımacılığı: Cevherin Taşınması: Öğütülecek cevherin madenden öğütme ünitesine taşınması sırasında kullanılan araçlar ve konveyör sistemleri enerji tüketir ve karbon emisyonlarına neden olmaktadır.

4.3.4 Cevher zenginleştirme tesisi

Şekil 4.3’de Kırma eleme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Cevher zenginleştirme tesisinde oluşacak karbon emisyonlarını aşamaları.

4.3.4.1 Tikner ünitesi (Enerji + kimyasal + bakım-onarım)

Enerji Tüketimi: Tikner üniteleri, mekanik ve elektriksel ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu ekipmanların çalışması için gereken enerji, genellikle fosil yakıtlardan üretilir ve bu da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

Kimyasal Kullanımı: Tikner ünitelerinde flokülantlar ve koagülantlar gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasalların üretimi, taşınması ve kullanımı sırasında karbon emisyonları meydana getirmektedir.

İşletme ve Bakım: Tikner ünitelerinin düzenli olarak işletilmesi ve bakımı için gereken işlemler de karbon ayak izi yaratabilmektedir. Bu işlemler arasında yedek parça kullanımı, ekipman taşımacılığı ve bakım işlemleri yer almaktadır.

4.3.4.2 Liç & Adsorpsiyon ünitesi (Enerji + kimyasal + bakım-onarım+ atık yönetimi)

Enerji Tüketimi: Enerji tüketimi ile ilgili aşamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

(1) Liç Ünitesi: Liç işlemi genellikle büyük miktarda enerji gerektirir. Bu enerji, cevherin kırılması, öğütülmesi ve liç çözeltilerinin hazırlanması gibi işlemler için kullanılmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerji kullanıldığında karbon emisyonları artmaktadır.

(2) Adsorpsiyon Ünitesi: Adsorpsiyon işlemi, aktif karbon gibi adsorban maddelerin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu süreçlerde de enerji tüketimi söz konusudur, özellikle aktif karbonun yenilenmesi veya reaktivasyonu sırasında enerji harcanmaktadır.

Kimyasal Kullanımı: Kimyasal kullanımı ile ilgili aşamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

(1) Liç Ünitesi: Liç işlemi sırasında siyanür veya diğer kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasalların üretimi, taşınması ve kullanımı sırasında karbon emisyonları meydana gelmektedir.

(2) Adsorpsiyon Ünitesi: Aktif karbon veya diğer adsorban maddelerin üretimi, taşınması ve kullanımı da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır.

(3) İşletme ve Bakım: Her iki ünitenin de düzenli olarak işletilmesi ve bakımı için gereken işlemler karbon ayak izi yaratabilmektedir. Bu işlemler arasında ekipmanların bakımı, yedek parça kullanımı ve diğer operasyonel faaliyetler yer almaktadır.

(4) Atık Yönetimi: Liç ve adsorpsiyon süreçlerinden kaynaklanan atıkların yönetimi de karbon ayak izine katkıda bulunabilmektedir. Atıkların taşınması, işlenmesi ve bertarafı enerji gerektirir ve bu süreçlerde karbon emisyonları meydana gelebilmektedir.

4.3.4.3 Kimyasal bozundurma (Detoks) ünitesi (Enerji+ kimyasal + bakım-onarım + atık yönetimi + reaktiflerin üretimi ve kullanımı)

Enerji Tüketimi: Kimyasal bozundurma süreçlerinde genellikle enerji yoğun olmaktadır. Bu süreçlerde kullanılan reaktörler, pompalar, karıştırıcılar ve diğer ekipmanlar enerji tüketmektedirler. Eğer bu enerji fosil yakıtlardan elde ediliyorsa, karbon emisyonları artmaktadır.

Kimyasal Kullanımı: Kimyasal bozundurma işlemlerinde çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasalların üretimi, taşınması ve depolanması sırasında karbon emisyonları meydana getirmektedir. Ayrıca, kullanılan kimyasalların miktarı ve türüne bağlı olarak bu emisyonlar değişebilmektedir.

İşletme ve Bakım: Detoks ünitelerinin düzenli olarak işletilmesi ve bakımı için gereken işlemler de karbon ayak izi yaratmaktadır. Ekipmanların bakımı, yedek parça kullanımı, kimyasalların düzenli olarak yenilenmesi gibi faaliyetler enerji ve kaynak tüketimine neden olmaktadır.

Atık Yönetimi: Kimyasal bozundurma işlemi sonucunda oluşan atıkların yönetimi de karbon ayak izine neden olmaktadır. Atıkların taşınması, işlenmesi ve bertarafı enerji gerektirir ve bu süreçlerde karbon emisyonları meydana getirmektedir..

Reaktiflerin Üretimi ve Kullanımı: Detoks işlemi sırasında kullanılan reaktiflerin üretimi ve taşınması da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. Özellikle yüksek miktarda reaktif kullanıldığında bu etki daha belirgin olabilmektedir.

4.3.4.4 Sıyırma ünitesi (Enerji+ kimyasal + bakım-onarım + atık yönetimi + reaktiflerin üretimi ve kullanımı)

Enerji Tüketimi: Sıyırma üniteleri genellikle enerji yoğun cihazlardır. İşlem sırasında kullanılan pompalar, kompresörler ve ısıtıcılar gibi ekipmanlar yüksek miktarda enerji tüketmektedirler. Eğer bu enerji fosil yakıtlardan elde ediliyorsa, karbon emisyonları artmaktadır.

Kimyasal Kullanımı: Sıyırma işlemi sırasında çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasalların üretimi, taşınması ve kullanımı sırasında karbon emisyonları meydana gelmektedir. Ayrıca, kullanılan kimyasalların miktarı ve türü de karbon ayak izini etkilemektedir.

İşletme ve Bakım: Sıyırma ünitelerinin düzenli olarak işletilmesi ve bakımı için gereken işlemler de karbon ayak izi yaratmaktadır. Ekipmanların bakımı, yedek parça kullanımı ve diğer operasyonel faaliyetler enerji ve kaynak tüketimine neden olmaktadır.

Atık Yönetimi: Sıyırma işlemi sonucunda oluşan atıkların yönetimi de karbon ayak izine katkıda bulunabilmektedir. Atıkların taşınması, işlenmesi ve bertarafı enerji gerektirir ve bu süreçlerde karbon emisyonları meydana gelebilmektedir.

Reaktiflerin Üretimi ve Kullanımı: Sıyırma işlemi sırasında kullanılan reaktiflerin üretimi, taşınması ve depolanması da karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. Özellikle yüksek miktarda reaktif kullanıldığında bu etki daha belirgin olmaktadır.

4.3.4.3 Elektro-kazanım ve döküm ünitesi (Enerji + kimyasal + bakım-onarım + atık yönetimi + reaktiflerin üretimi ve kullanımı)

Elektro-Kazanım Ünitesi : Ünite ile ilgili karbon oluşum aşamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Enerji Tüketimi: Elektro-kazanım süreçleri, yüksek miktarda elektrik enerjisi gerektirmektedir. Bu enerji genellikle metal iyonlarının çözeltilerden çıkarılması ve saf metal olarak biriktirilmesi için kullanılmaktadır. Elektriğin fosil yakıtlardan elde edilmesi durumunda karbon emisyonları artmaktadır.

Elektrolitik hücreler, pompalar, karıştırıcılar ve diğer ekipmanlar enerji tüketmektedirler.

Kimyasal Kullanımı: Reaktifler: Elektro-kazanım sürecinde kullanılan kimyasal reaktifler de karbon ayak izine katkıda bulunabilmektedir. Bu kimyasalların üretimi, taşınması ve kullanımı sırasında karbon emisyonları oluşabilmektedir.

İşletme ve Bakım: Ekipman Bakımı: Ekipmanların düzenli bakımı ve işletilmesi enerji ve kaynak tüketmektedirler.

Döküm Ünitesi: Ünite ile ilgili karbon oluşum aşamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Enerji Tüketimi: Ünite içerisinde enerji tüketimi ile ilgili karbon oluşum aşamalar değerlendirilmiş olup aşağıdaki maddelerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

(1) **Eritme:** Döküm işlemi sırasında metallerin eritilmesi yüksek miktarda enerji gerektirmektedir. Bu enerji genellikle fosil yakıtlarla sağlanır ve bu da karbon emisyonlarına yol açmaktadır.

(2) **Fırınlara ve Ocağın Kullanımı:** Dökümde kullanılan fırınlar ve ocaklar da enerji tüketir ve bu enerji genellikle fosil yakıtlarla sağlanmaktadır.

Yakıt Kullanımı: Döküm süreçlerinde doğal gaz veya diğer fosil yakıtlar kullanılabilir. Bu yakıtların yanması sonucu karbondioksit (CO₂) emisyonları meydana gelmektedir.

İşletme ve Bakım: Ekipman Bakımı: Döküm ünitelerinin düzenli olarak işletilmesi ve bakımı enerji ve kaynak tüketmektedir.

4.4 IPCC Metodolojisi ile CO₂ Emisyonu Hesaplanması

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) metodolojisi, ülkelerin sera emisyonlarını hesaplamaları ve raporlamaları için uluslararası standartlar sunmaktadır. Bu algoritma, 2006 IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberi başlıklı rehberde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu yöntem, enerji sektörü, endüstriyel üretim, tarım, arazi kullanımı değişikliği ve atık yönetimi gibi genişleme emisyon kaynakları kapsamını kapsamaktadır.

1IPCC metodolojisi ile CO₂ emisyon hesaplama sürecinde verilerin toplanması ve emisyon faktörünün belirlenmesi aşamaları aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Veri Toplama: Ülkenin enerji tüketim verileri, yakıt türleri, üretim parçaları ve teknolojik ayrıntılar alınmaktadır. Yakıt miktarı, sektörel kullanım ve enerji üretim verileri bu aşamada temellendirilir.

Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi: IPCC'nin sunduğu standart emisyon faktörleri (Tier 1) veya ülkedeki spesifik emisyon oranları (Tier 2 ve Tier 3) kullanılmaktadır. Örneğin, kömür, petrol veya doğal gaz gibi yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ miktarı için belirlenen esasemisyon esas alınmaktadır.

Hesaplama Formülü: Emisyonlar, yakıt tüketim miktarı (T) ile emisyon faktörünün (EF) çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} = T \times \text{EFCO}_2 \quad (4.1)$$

Burada EF, IPCC tarafından kaydedilen standart değerlerdirilmektedir (Yılmaz, 2022). Tez çalışmasında, IPCC ve diğer kabul görmüş veri envanterlerinde de emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Katman Yaklaşımları: Katman yaklaşımları üç ana başlıkta değerlendirilmektedir.

Tier 1: Genel emisyon emisyonları ve enerji istatistikleri kullanılmaktadır.

Tier 2: Bölgesel veya bölgesel olarak uygun emisyonlar dikkate alınmaktadır.

Tier 3: Tesis temelli ayrıntılı veriler ve teknolojik özellikler esas alınmaktadır.

Bu çalışmanın amaçlarından biri de 2023 yılında TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis üretimden kaynaklı bazı karbon oluşum miktarının hesaplanmasıdır.

Üretim faaliyetleri kapsamında CO₂ emisyonu hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanılmıştır. Bu çalışmada TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından işletilmekte olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve

Zenginleştirme Tesis' karbon ayak izi hesaplamaları için ilk olarak IPCC kılavuzunda yer alan Tier-1 yaklaşımının hesaplama metodolojisi ve diğer kabul görmüş veri envanterlerinden de emisyon faktörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tesis üretiminde oluşacak karbondioksit gazının hesaplanması alt başlıklar halinde verilmiştir. Hesaplama işlemlerindeki tüketim verileri; kapasite raporu, Nihai ÇED Raporları ve tesis verilerinden temin edilerek hesaplama dahil edilmiştir.

4.4.1 Elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 2)

Elektrik kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 2: Enerji sektörü altında incelenmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan elektrik tesis içerisinde üretilen elektrik olmadığı için elektrik kullanımından kaynaklı emisyon dolaylı emisyon olarak değerlendirilmektedir.

Tesiste 2023 yılında elektrik ile ilgili tüketimi (tüm faaliyetlerden kaynaklanan) 52.798.937 kWh'dir.

$$Karbon Ayak İzi (CO_2) = Elektrik Tüketimi (kWh) \times Emisyon Faktörü (kg \times \frac{CO_2e}{kWh}) \quad (4.2)$$

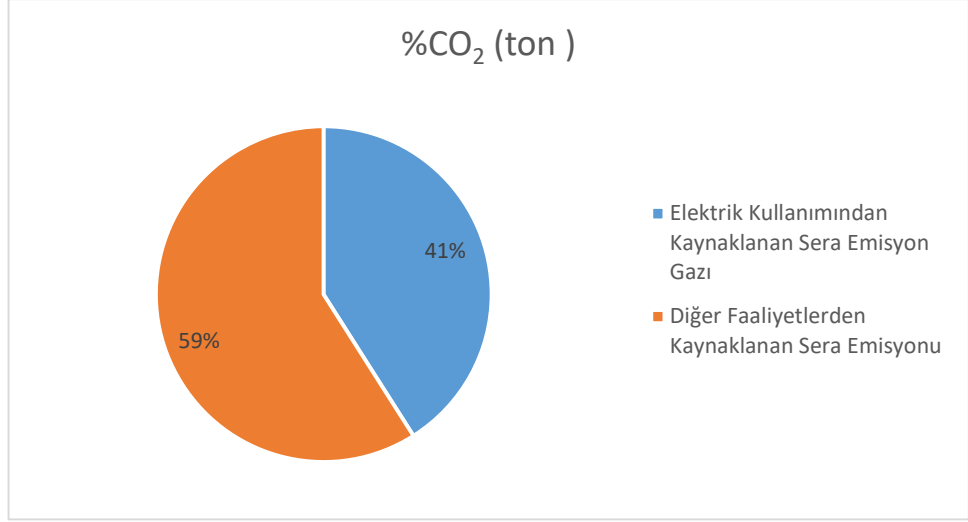
Tesiste elektrik kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı Tier 1 yöntemine göre hesabı aşağıda yer almaktadır.

Gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir.

- Elektrik tüketimi (kWh): Tüketilen elektrik miktarı (ölçü birimi kWh).
- Emisyon faktörü (kg CO₂e/kWh): Elektrğin üretildiği enerji kaynağına bağlıdır. Ülke veya bölgeye özgü olabilir. IPCC'nin verdiği referans değerler kullanılabilir veya yerel enerji mix'ine göre değerler tercih edilir. Emisyon faktörünü (kgCO₂/kWh), (Türkiye için 0,437 kgCO₂/kWh olarak alınmıştır) (TEİAŞ, 2024))

$$EtCO_2 = 52.798.937 \text{ kWh} \times 0,437 \text{ kg} \frac{CO_2e}{kWh} = 23.073.135,5 \text{ kg } CO_2e \text{ (23.073,14 ton } CO_2e \text{)}$$

Şekil 4.4'te 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde elektrik kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.4. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde elektrik kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.2 Motorin (Dizel) kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 3)

Tesiste yakıt tüketiminden oluşan emisyon olarak nakliye faaliyeti sırasında tüketilen motorin üzerinden hesaplama yapılmıştır. Motorin kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 2: Enerji sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan motorinden oluşan emisyon doğrudan emisyon olarak değerlendirilmektedir.

Tesiste 2023 yılında akaryakıt tüketimi (tüm faaliyetlerden kaynaklanan) 4.810.892 lt'dir.

Tesiste motorin kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı Tier 1 yöntemine göre hesabı aşağıda yer almaktadır.

Gerekli veriler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

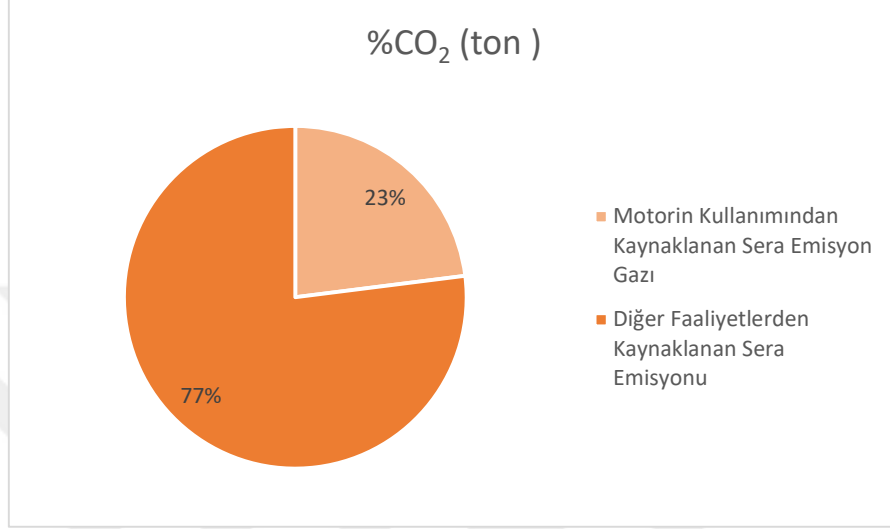
- Motorin Tüketimi (litre): Yakıt tüketimi miktarı.
- Emisyon Faktörü (kg CO₂e/litre): Yakıtların tüketimi sonucunda atmosfere salınan emisyonların, yakıtların cinsine göre belirlenen karakteristik değeridir.

IPCC'ye göre motorin için tipik emisyon faktörü:2,68 kg CO₂e/litre (yakıtın yanması sonucu doğrudan emisyonlar).

$$\text{Karbon Ayak İzi (CO}_2\text{e)} = \text{Motorin Tüketimi (litre)} \times \text{Emisyon Faktörü (kg } \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{litre}}) \quad (4.3)$$

$$\text{Karbon Ayak İzi (CO}_2\text{e)} = 4.810.892 \text{ litre} \times 2,68 \left(\text{kg } \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{litre}} \right) = 12.893.190,56 \text{ kg CO}_2\text{e} \text{ (12.893,2 ton CO}_2\text{e)}$$

Şekil 4.5’de 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde motorin kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.5. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde motorin kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.3 Doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)

Doğalgaz kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 2: Enerji sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyon doğrudan emisyon olarak değerlendirilmektedir. Detaylı hesaplama çalışmasına örnek teşkil etmesi için ; aşağıda yer alan hesaplama metodu kullanılmıştır.

Doğalgaz tüketimi metreküp (m³) ya da enerji birimi olarak terajoule (TJ) yıllık olarak hesaplanmaktadır.

Türkiye’de kullanılan doğalgaz faturaları genellikle m³ türündedir, ancak IPCC programlamalarında enerji birimine dönüştürülmesi daha yaygındır. Türkiye’de doğalgazın alt ısı değeri yaklaşık 38,67 MJ/m³ olarak kabul edilmektedir.

$$\text{Enerji Miktarı (TJ)} = \text{Doğalgaz Miktarı (m}^3\text{)} \times 38,67 \times 10^{-6} \quad (4.4)$$

IPCC, doğalgaz için emisyon emisyonları CO₂, CH₄ ve N₂O gibi çeşitli sera gazları için ayrı ayrı belirlemektedir. IPCC'nin 2006 ve 2019 raporlarına göre, 1 TJ Doğalgaz yakıldığında yaklaşık şu miktarda emisyon açığa çıkarmaktadır:

- CO₂ :-56,1 kg
- CH₄: 1,0 kg
- N₂O : 0,1 kg

Emisyonların CO₂ Eşdeğerine Dönüştürülmesi: CH₄ ve N₂O gazlarının her biri farklı küresel sıcaklık potansiyeline (GWP) sahiptir. IPCC, CO₂ dışındaki diğer gazları CO₂ eşdeğerine çevirirken şu GWP uygulamalarını önermektedir (2019 itibariyle):

- » CH₄: 28
- » N₂O : 265

Her gaz için CO₂ eşdeğerliği hesaplanır:

- » CH₄ CO₂ basıncı: CH₄ miktar×28
- » N₂O CO₂ gazı: N₂O miktar×265

Tesiste; 2023 yılında tesiste toplamda 47.286 m³ doğalgaz kullanılmıştır.

$$\text{Enerji Miktarı (TJ)} : 47.286 \times 38,67 \times 10^{-6} = 1,828 \text{ TJ}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} : 1,828 \times 56,1 = 102,58 \text{ ton CO}_2$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyon (CO}_2 \text{ Eşdeğeri)} : 1,828 \times 1,0 \times 28 = 51,184 \text{ ton CO}_2$$

$$\text{N}_2\text{O Emisyonu (CO}_2 \text{ Eşdeğeri)} : 1,828 \times 0,1 \times 265 = 484,42 \text{ ton CO}_2$$

$$\text{Toplam Emisyon} : 102,58 + 51,184 + 484,42 = 638,184 \text{ ton CO}_2$$

Tesiste doğalgaz kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı Tier 1 yöntemine göre hesabı ise aşağıda yer almaktadır.

Gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir.

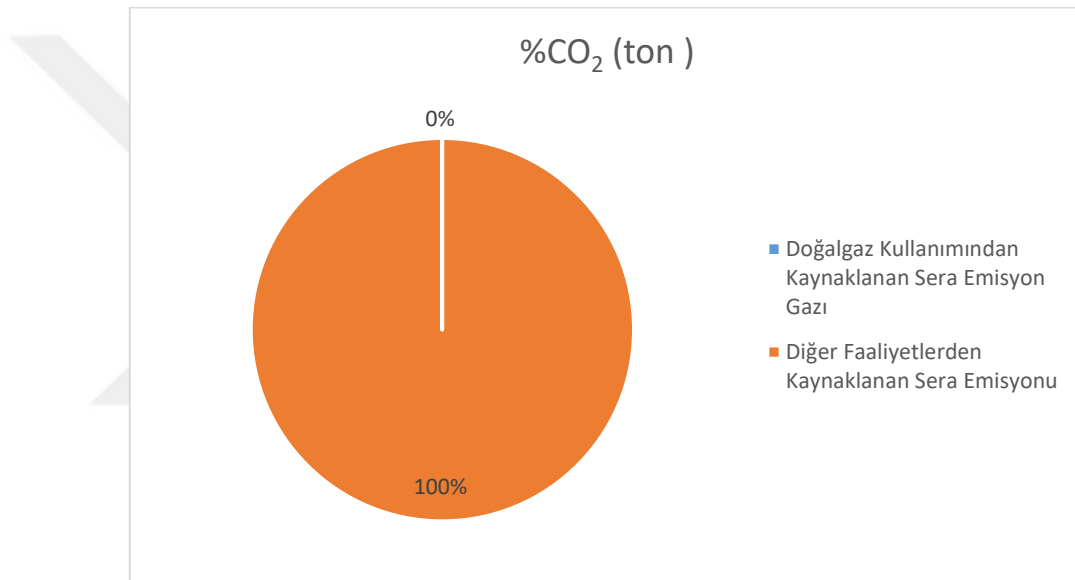
Doğalgaz Tüketimi (m³): Tüketilen doğalgaz miktarı.

Emisyon Faktörü (kg CO₂e/m³): IPCC veya yerel otoriteler tarafından sağlanan doğalgazın yanmasıyla ortaya çıkan standart emisyon faktörüdür.

IPCC'ye göre doğalgaz için tipik emisyon faktörü: 1,96 kg CO₂e/m³ (doğalgazın yanması sonucu doğrudan emisyonlar).

$$\text{Karbon Ayak İzi (CO}_2\text{e)} = \text{Doğalgaz Tüketimi (m}^3\text{)} \times \text{Emisyon Faktörü (kg} \times \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{m}^3}\text{)} \quad (4.5)$$
$$\text{Karbon Ayak İzi (CO}_2\text{e)} = 47.286 \text{ m}^3 \times 1,96 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{m}^3} = 92.680,56 \text{ kg CO}_2\text{e (92,681 ton CO}_2\text{e)}$$

Şekil 4.6'da 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde doğalgaz kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.6. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde doğalgaz kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.4 Yeraltı ocağı ve açık ocak faaliyetinde patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)

Patlayıcı madde kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 3: Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan emisyon doğrudan emisyon olarak değerlendirilmektedir. Patlayıcı karbon malzemeleri ayak izi IPCC'nin sera gazı envanteri hazırlama yöntemleri çerçeveleri ile hazırlanır. Bu programlama, patlama sırasında açığa çıkan karbonhidratlar (CO₂) ve diğer sera gazlarının (metan, azot oksitler vb.) miktarına dayanır.

IPCC'nin karbon ayak izi planlama rehberi üç aşamada ele alınmaktadır.

- Faaliyet Verileri (Aktivite Verileri): Kullanılan patlayıcı miktarı (kg veya ton).
- Emisyon Faktörleri (Emisyon Faktörleri): Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karbon içeriklerine dayalıdır.
- Kimyasal Reaksiyonlar: Patlatma sırasında oluşan yanma reaksiyonlarına dayalı sera gazı emisyonları hesaplanır.

Tesiste; 2023 yılında tesiste toplamda 8401,96 ton (8.401.960 kg) patlayıcı madde kullanılmıştır.

Kullanılan Madde (kg): Patlatmada kullanılan patlayıcı miktarı.

Karbon İçeriği (C_f): Malzemenin karbon içeriği yüzdesi. Örneğin:

ANFO: %2-6 (% 5 seçilmiştir.) (yakıt yağı nedeniyle).

Dinamit: %10-15 (%12 seçilmiştir.) (organik içerik nedeniyle).

Oksidasyon Faktörü (OF): Karbon ayak izi programlamalarında bir yakıtın yanma süreci içeriğindeki karbonun ne kadarının karbonhidratlara (CO₂) dönüştüğünü ifade eden bir katsayıdır (OF = 3,67).

CO₂ Dönüşüm Katsayısı: 1 kg karbonun CO₂'ye dönüşmesiyle 3.67 kg CO₂ oluşur. Bu nedenle dönüşümü 3.67'dir (C: 12 g/mol, CO₂: 44 g/mol).

Kullanım Oranı: ANFO ve dinamit için ayrı değerlendirilmiştir.

ANFO:2.800.653 kg

Dinamit:5.601.310 kg

$$CO_2 \text{ Emisyonu} = \text{Kullanılan Madde (kg)} \times \text{Karbon İçeriği} \times \text{Oksidasyon Faktörü} \quad (4.6)$$

Anfo için CO₂ emisyonu hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$CO_2 \text{ Emisyonu} = 2.800.653 \times 0.05 \times 3.67 = 513.919,8 \text{ kg } CO_2 = 513.919,8 \text{ ton } CO_2$$

Dinamit için CO₂ emisyonu hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} = 5.601.310 \times 0.12 \times 3.67 = 2.466.816,9 \text{ kg CO}_2 = 2.466,8 \text{ ton CO}_2$$

ANFO ve dinamitin toplam CO₂ emisyon hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Toplam Emisyon} = 513.919,8 \text{ ton CO}_2 + 2.466,8 \text{ ton CO}_2 = 516.387 \text{ ton CO}_2$$

IPCC, diğer sera gazlarının (örneğin metan, azot oksitler) emisyonlarını da içermesini önermektedir.

- « Metan (CH₄) ve Azot Oksit (N₂O) emisyon faktörleri kullanılır.
- « Açığa çıkan gazların küresel ısınma potansiyelleri (GWP) dikkate alınmaktadır.

Örneğin:

- « CH₄'nin GWP'si: 28 (100 yıllık zaman diliminde).
- « GWP'si: 265 .

Toplam karbon ayak izi, onun bir gaz miktarının GWP ile CO₂ değişimi (CO₂-eşd) olarak ifade edilerek hesaplanmasıyla hesaplanmaktadır.

IPCC doğrudan ANFO ve dinamit için emisyon emisyonu sağlamadığından, yakın emisyon oranları üzerinden bir tahmin yapılabilmektedir.

ANFO için önerilen emisyon faktörleri CO₂ v CH₄ , N₂O için belirlenmiştir.

- CO₂: 2,6 kg CO₂/kg ANFO
- CH₄: 0,0002 kg CH₄/kg ANFO (yaklaşık)
- N₂O: 0,002 kg N₂O/kg ANFO (yaklaşık)

Dinamit için önerilen emisyon faktörleri CO₂ , CH₄ , N₂O için belirlenmiştir.

- CO₂: 2,8 kg CO₂/kg dinamit
- CH₄ ve N₂O: dinamit için daha düşük oranlarda olması ihmal edilebilir.

IPCC'ye göre, bir gazın küresel enerji potansiyeline göre, 100 yıllık bir dönem için şu şekildedir:

CO₂: 1

CH₄: 25

N₂O: 298

Anfo için CO₂ emisyon hesabı aşağıda yer almaktadır.

- » CO₂ Emisyonu: $2.800.653 \text{ kg ANFO} \times 2.6 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg}} = 7.281.697,8 \text{ kg CO}_2$
- » CH₄ Emisyonu: $2.800.653 \times 0,0002 = 560,13 \text{ kg CH}_4$
- » CH₄'ü CO₂ değişimine dönüştürmek için:
- » $560,13 \times 25 = 14.003,25 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer}$
- » N₂O Emisyonu: $2.800.653 \times 0,002 = 5.601,3 \text{ kg N}_2\text{O}$
- » N₂O 'ü CO₂ değişimine dönüştürmek için:
- » $5.601,3 \times 298 = 1.669.189,2 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer}$

$$\begin{aligned} \text{ANFO Emisyonu (CO}_{2-\text{eq}}) &= 7.281.697,8 + 14.003,25 + 1.669.189,2 \\ &= 8.964.888 \text{ kg CO}_2 \text{ eşdeğer} \end{aligned}$$

Dinamit için CO₂ emisyon hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu} : 5.601.310 \text{ kg dinamit} \times 2.8 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg}} \text{ dinamit} = 15.683.668 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Dinamit Emisyonu (CO}_2 - \text{eşd)}: 15.683.668 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer}$$

ANFO+Dinamit tüketiminden oluşan CO₂ emisyon hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emisyonu (CO}_2 - \text{eşd)} &= 8.964.888 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer} + 15.683.668 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer} \\ &= 24.648.556 \text{ kg CO}_2 - \text{eşdeğer} \text{ (24.648,556 ton CO}_2 - \text{eşdeğer)} \end{aligned}$$

Tesiste patlayıcı kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı Tier 1 yöntemine göre hesabı ise aşağıda yer almaktadır.

Gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir

Patlayıcı Tüketimi (kg): Kullanılan ANFO veya dinamit miktarı.

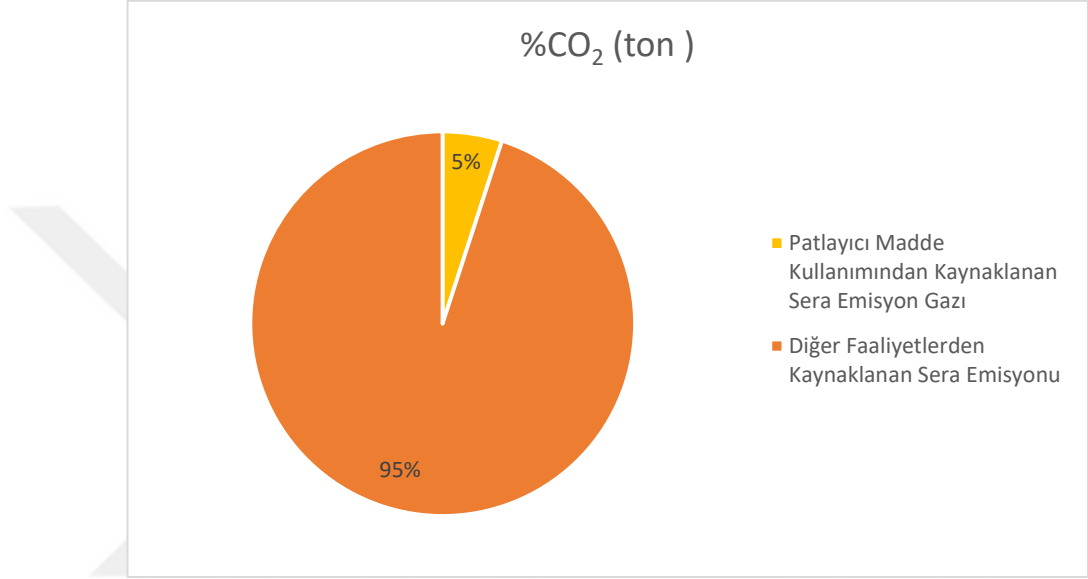
Emisyon Faktörü (kg CO₂e/kg): IPCC veya ulusal otoriteler tarafından sağlanmaktadır.

Emisyon Faktörleri: Ecoinvent veri tabanına göre 2,9625 kg CO₂/ton alınmıştır.

$$\text{Karbon Ayak İzi (CO}_2\text{e)} = \text{Patlayıcı Tüketimi (kg)} \times \text{Emisyon Faktörü (kg } \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{kg}}) \quad (4.7)$$

$$\text{Karbon Ayak İzi (Anfo + Dinamit)} = 841,96 \text{ ton} \times 2.9625 \left(\text{kg } \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 2.494,3 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Şekil 4.7’de 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.7. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde patlayıcı madde kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.5 Atık depolamasından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 4)

Atık depolanmasından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 5: Atık sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis atıkların depolanmasından kaynaklı emisyon dolaylı emisyon olarak değerlendirilmektedir.

Tesis faaliyetleri sonucu tehlikeli ve tehlikesiz atıklar oluşmaktadır. Oluşan atıklar mevzuata uygun şekilde Geçici Depolama Alanında depolanmaktadır.

Tehlikeli maddelerin depolanmasından kaynaklanan karbon ayak izi için genellikle analiz yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni, tehlikeli maddelerin türüne, depolama yöntemine ve çevresel etkileşimlerine bağlı olarak farklı sera gazı emisyonlarına neden olabilmeleridir. Bu tür maddelerin depolanmasından kaynaklanan karbon ayak izi

hesaplaması, standart yöntemlerle değil, belirli bir tesisin veya durumun özelliklerine göre özel bir analizle yapılmalıdır. Bu tez çalışması kapsamında; tesiste oluşan her bir tehlikeli atık için analiz yapılmadığından depolanan tehlikeli atıkların depolanmasından dolayı oluşacak sera gazı emisyon miktarları hesaplanmamıştır.

Atık kirliliğinden kaynaklanan karbon ayak izi, depolama sırasında metan (CH_4) ve karbonhidratlar (CO_2) gibi sera gazlarının emisyonlarına dayalı olarak hesaplanmaktadır. IPCC yöntemine göre bu programlama için katı atık depolama sahalarından kaynaklanan metan emisyonları ana odak noktasıdır, çünkü metan güçlü bir sera gazı emisyonudur.

Tesiste; 2023 yılında 947,04 ton Karışık evsel atık, 25,61 ton Kağıt-Karton, 198,22 ton Metal ve 21,64 ton Plastik depolanmıştır. Depolanan atık türlerine göre oluşan karbon miktarları;

IPCC Yöntemine Göre Hesaplama Adımları

Gerekli veriler aşağıda belirtilmiştir

Atık Miktarı (W): Yıllık olarak depolanan evsel katı atık miktarı (ton).

Organik Parçalanabilir Madde Oranı (BOM): Atıkların biyolojik olarak parçalanabilir fraksiyonu (%).

Karbon İçeriği (DOC): Atık organik kısmındaki karbon oranı (%).

Organik Karbon Dönüşüm Faktörü (DOCf): Organik karbonun biyolojik olarak parçalanmış kısmı (%).

Metan Üretim Potansiyeli (L_0): Atığın ton başına oluşan metan miktarı ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$).

Oksidasyon Faktörü (OX): Depolama sahasında gücülenen metan yüzdesi (genellikle %10 varsayılır).

Metanın Küresel Isınma Potansiyeli (GWP): Metan için 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli, genellikle 28 veya 34

Metan Emisyonlarının Hesaplanması : Metan emisyonlarını programlamak için şu temel formül kullanılır:

$$\begin{aligned}
& CH_4 \text{ Emisyonu (kg } CH_4) \\
& = \text{Atık Miktarı (ton)} \times \text{Karbon İçeriği} \\
& \times \text{Organik Karbonun Biyolojik Olarak Parçalanana Kısım} (\%) \\
& \times \text{Biyolojik Parçalanabilir Organik Madde Fraksiyonu} \\
& \times \text{Metan Üretim Potansiyeli} \times (1 - \text{Oksidasyon Faktörü})
\end{aligned} \tag{4.8}$$

Metanın CO₂ Eşdeğeri Dönüşümü: Metanın CO₂ eşdeğerini programlamak için şu formül kullanılır:

$$CO_2e \text{ (kg } CO_2e) = CH_4 \text{ Emisyonu (kg)} \times \text{Küresel Isınma (28 – 34)} \tag{4.9}$$

Karışık Evsel Atık: IPCC kaynaklarına göre varsayımlar:

Yıllık depolanan evsel katı atık miktarı: 947,04 ton .

Organik karbon içeriği (DOC): %10 (0,1).

Organik karbon dönüşüm faktörü (DOCf): %50 (0.5).

Biyolojik parçalanabilir fraksiyon (BOM): %60 (0,6).

Oksidasyon faktörü (OX): %10 (0.1).

GWP: 28 (metanın küresel ısınma potansiyeli)

$$\begin{aligned}
CH_4 \text{ Emisyonu (kg } CH_4) &= 947,04 \times 0,1 \times 0,5 \times 0,6 \times 1,0 \times (1 - 0,1) \\
&= 25,57 \text{ kg } CH_4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
CO_2e \text{ (kg } CO_2e) &= CH_4 \text{ Emisyonu (kg)} \times \text{Küresel ısınma (28 – 34)} = 25,57 \times 28 \\
&= 715,96 \text{ kg } CO_2e
\end{aligned}$$

Kağıt-Karton: Varsayımlar;

Atık Miktarı (W): Depolanan kağıt-karton atık miktarı (ton/yıl).

DOC (Degradable Organic Carbon): Atığın organik karbon içeriği. IPCC'ye göre kağıt ve karton için genellikle %40 alınmaktadır (0,40).

DOCf (Degradable Organic Carbon Fraction): Organik karbonun biyolojik olarak parçalanabilir kısmı. IPCC'ye göre %50 (0,5) varsayılır.

Oksidasyon Faktörü (OX): Depolama sırasında metanın oksitlendiği oran, genellikle %10 (0.1) varsayılır.

Metanın Küresel Isınma Potansiyeli (GWP): CH₄ için GWP değeri, 28 veya 34 (genellikle 28 kullanılır).

Metan Dönüşüm Faktörü (F): Tam biyolojik parçalanma sonucu üretilen metan miktarı, genellikle 1 olarak alınmaktadır.

BOM (Biyolojik Parçalanabilir Fraksiyon): Kağıt-karton için %40 alınır (0,40).

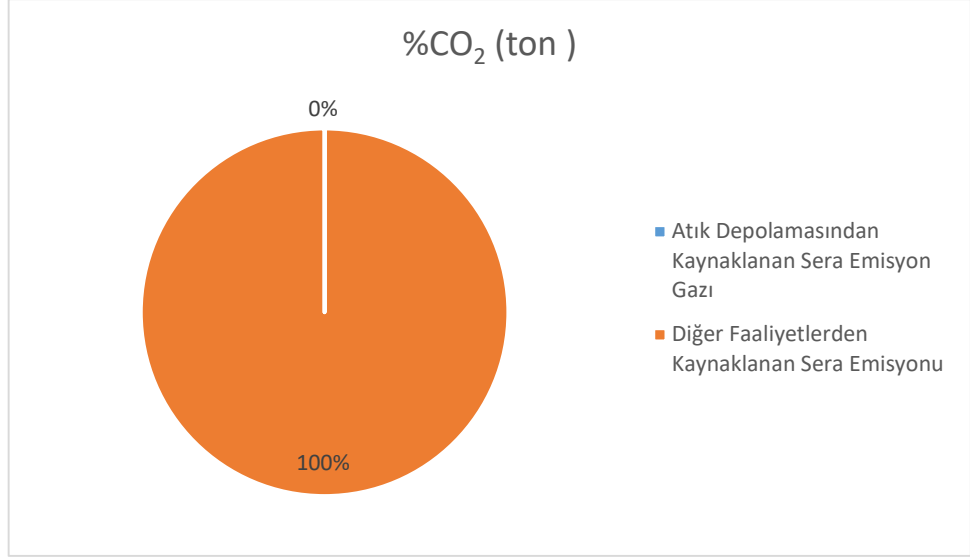
$$\begin{aligned} CH_4 \text{ Emisyonu (kg CH}_4) &= 25,61 \times 0,4 \times 0,5 \times 0,4 \times 1,0 \times (1 - 0,1) \\ &= 1,84 \text{ kg CH}_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO_2e \text{ (kg CO}_2e) &= CH_4 \text{ Emisyonu (kg)} \times \text{Küresel ısınma (28 - 34)} = 1,84 \times 28 \\ &= 51,62 \text{ kg CO}_2e \end{aligned}$$

Metal Atıklar: Metal atıkların depolanmasından kaynaklanan karbon ayak izi, IPCC'ye göre genellikle çok düşük veya sıfır olarak sonlandırılmaktadır. Bunun nedeni, metal atıkların biyolojik olarak parçalanabilir olmamasıdır; sayesinde organik karbon salınımına neden olmazlar. IPCC, metal atıkların üretimi sırasında metan (CH₄) veya karbonhidrat (CO₂) emisyonlarını gözlemlenmemektedir.

Plastik Atık: Plastik atıklar biyolojik olarak parçalanmaz, bu nedenle metan (CH₄) veya karbonhidratlar (CO₂) gibi sera gazı salınımları doğrudan oluşmamaktadır.

Plastiklerin kimyasal olarak bozunması veya fiziksel olarak parçalanması sırasında çok miktarda gaz salınımı olabilir, ancak bu genellikle ihmal edilir. Şekil 4.8'de 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde atık depolanmasından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.

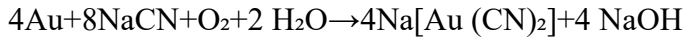


Şekil 4.8. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde atık depolanmasından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.6 Kimyasal madde kullanımından kaynaklı emisyonlar (Kategori 1)

Kimyasal madde kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 3: Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kimyasal kullanımından kaynaklı emisyon dolaylı emisyon olarak değerlendirilmektedir. Hesaplama yapılırken zenginleştirme tesisinde kullanılan kimyasallardan kaynaklı emisyon hesabı yapılmıştır.

Sodyum Siyanürün Kullanımı: Özellikle altın yapımı sırasında siyanür liçi işlemleri sırasında şu reaksiyonlar meydana gelmektedir.



Bu reaksiyon sırasında doğrudan CO₂ salınımı olmaz.

Sodyum Hidroksit (NaOH) Kullanımı: NaOH kullanımı, altın madenciliğinde genellikle siyanür liçi büyümlerinde gerçekleşir. Bu parçalarda NaOH kimyasal maddeler göre yan ürünler ürünler.

-NaOH, siyanür liçi sırasında karbonat iyonları (CO₃²⁻) yenilenebilir.

-Eğer karbonatlar, çözelti ortamında CO₂ gazına dönüşürse doğrudan emisyon oluşturur.

Kullanımdan Kaynaklanan Reaksiyon Emisyonları: Kullanım reaksiyonlarından belirlenir (örneğin, NaOH'nin CO₂ ile reaksiyonu durumunda, 0,5 mol CO₂/mol NaOH).

Reaksiyonun stokiyometrik analizi hesaplanır:

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2\text{)} & \quad (4.10) \\ &= \text{Kullanılan NaOH Miktarı (mol)} \\ &\times \text{Reaksiyonda açığa çıkan CO}_2 \text{ Miktarı (Mol)} \\ &/ \text{ton NaOH Miktarı} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2\text{)} \\ &= (403.000 \times \frac{1000}{40}) \text{ mol NaOH} \times 0,5 \text{ mol } \frac{CO_2}{\text{mol}} \text{ NaOH} \\ &\times (44 \frac{CO_2}{1000}) = 221,65 \text{ kg CO}_2 (0,22 \text{ ton CO}_2) \end{aligned}$$

Hidroklorik Asit, Kullanımı: Hidroklorik asit, altın madenciliğinde genellikle temizleme ve nötralizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır.. Kimyasalların değişimi sonucu dolaylı CO₂ emisyonları oluşabilir. HCl'nin reaksiyonuna bağlı karbon ayak izi şu şekilde;

Kullanımdan Kaynaklanan Reaksiyon Emisyonları: Literatürden alınan değer genellikle 0,2 mol CO₂/mol HCl.

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2\text{)} & \quad (4.11) \\ &= \text{Kullanılan HCl Miktarı (mol)} \\ &\times \text{Reaksiyonda açığa çıkan CO}_2 \text{ Miktarı } \frac{(\text{Mol})}{\text{ton HCL Miktarı}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2\text{)} &= 6.109.589 \text{ mol HCl} \times 0,2 \text{ mol } \frac{CO_2}{\text{mol}} \text{ HCl} \times \\ &\left(44 \frac{CO_2}{1000}\right) = 53.764,3 \text{ CO}_2 (53,74 \text{ ton CO}_2) \end{aligned}$$

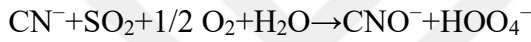
Bakır sülfatın Kullanımı: Bakır sülfatın kimyasal reaksiyonları sırasında doğrudan sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O) salınımı genellikle söz konusu değildir.

Flokülan Asit Kullanımı: Flokülan kullanımından kaynaklanan emisyon emisyonları genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak kullanım sırasında dolaylı emisyonlar (atık yönetimi veya enerji tüketimi) ortaya çıkarmaktadır.

Anti-skalanat Kullanımı: Anti-scalantlar, altın madenciliğinde genellikle atık su yönetimi ve boru hatlarında kireçlenmeyi önlemek için kullanılmaktadır.

Anti-skalanatların kullanımından kaynaklanan emisyon emisyonları genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak kullanım sırasında dolaylı emisyonlar (atık yönetimi veya enerji tüketimi) ortaya çıkarmaktadır.

SO₂/Hava Prosesi İle Siyanata Dönüştürülme Süreci: Altın ve gümüş zenginleştirme tesislerinde kullanılan SO₂/Hava prosesi ile siyanata dönüştürülme sürecinde karbon bazlı bir banyonun bulunmaması nedeniyle karbon emisyonu oluşmamaktadır. Bu süreç, siyanür (CN⁻) iyonlarının siyanat (CNO⁻) iyonlarına oksidasyonu ile olay ve reaksiyon sırasında karbondioksit (CO₂) veya karbonmonoksit (CO) gibi karbon bazlı gazlar açığa çıkar. Süreç ifade eden reaksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir:



Bu reaksiyonda karbon içerikli bir gaz salımı (CO₂ veya CO) oluşmaz çünkü reaksiyona giren siyanür iyonundaki karbon, siyanat iyonu (CNO⁻) alınır. Dolayısıyla karbon ayak izi açısından bu reaksiyon doğrudan karbon emisyonu yaratmaz. Reaksiyonda yalnızca sülfat (HSO₄⁻) ve siyanat (CNO⁻) iyonları gibi sulu iyonlar oluşur. Bu durum, karbon salınımını önlemek amacıyla bu süreçteki aktivitenin tercih edilmesinin nedenlerinden biridir.

Karbon Kullanımı: Karbonun altın madenciliği sırasında kimyasal işlemlerin kullanılması, genellikle doğrudan ve dolaylı emisyonlara neden olmaktadır.

Kullanımdan kaynaklanan kirletici emisyon: 0,02 ton CO₂/ton karbon

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2) &= 65 \times 0,02 \text{ ton CO}_2/\text{ton} \times 1,000 \\ &= 1.300 \text{ kg CO}_2 \text{ (1,3 ton CO}_2) \end{aligned}$$

Oksijen Kullanımı: Oksijen kullanımından doğrudan karbon emisyonları oluşmaz. dolayısıyla kullanım süreci emisyonları ihmal edilebilir .

Sodyum metabisülfite Kullanımı: Sodyum metabisülfite kimyasal reaksiyonlarından kaynaklanan emisyonlar genellikle dolaylıdır. Örneğin reaksiyon sırasında yan ürün olarak karbon içeren tablolar salınabilir.

Reaksiyondan kaynaklanan kirlenici emisyon: 0,02 ton CO₂/ton Na₂S₂O₅

$$CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2) = 2.570 \times 0.02 \times 1.000 = 51.400 \text{ kg CO}_2 \text{ (51.4 ton CO}_2)$$

DMKÜM (Düşük Moleküler Kütleli Üretim Maddesi) Kullanımı: Altın madenciliğinde kullanılan DMKÜM (Düşük Moleküler Kütleli Üretim Maddesi) kimyasalları, altın madenciliği oranları genellikle pH kontrolü, yüzey modifikasyonları veya liç bileşenlerinde kullanılmaktadır. Bu süreçten kimyasal emisyonlardan dolayı emisyonlar meydana gelmektedir.

DMKÜM kimyasalları kullanım sırasında doğrudan CO₂ salımı yapmaz. Ancak kimyasal dolaşım sırasında dolaylı emisyonlar olabilmektedir.

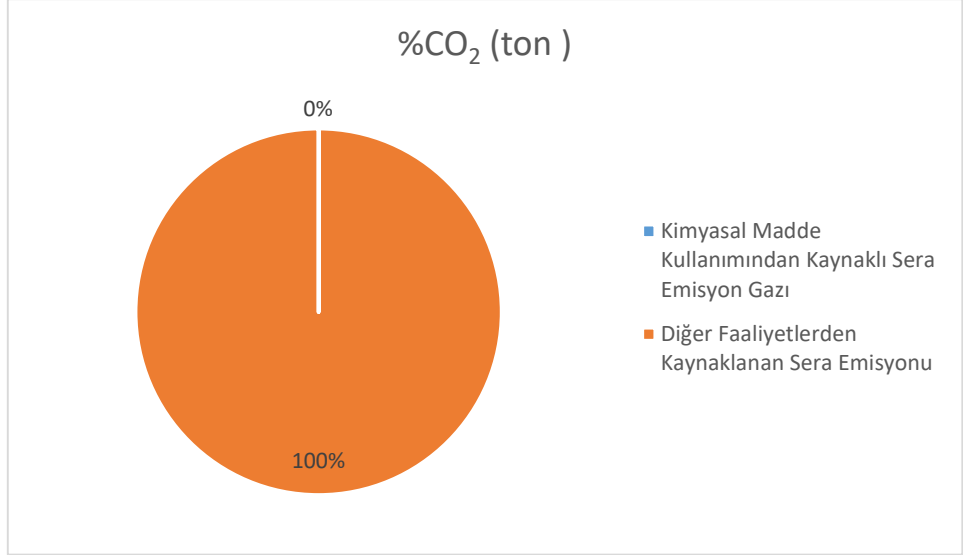
Reaksiyondan kaynaklanan kirlenici emisyon: 0,01 ton CO₂/ton DMKÜM

$$CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2) = 3 \times 0,01 \times 1,000 = 30 \text{ kg CO}_2 \text{ (0,03 ton CO}_2)$$

Toplam Oluşan CO₂ Emisyonu

$$\begin{aligned} &= 221,65 \text{ kg CO}_2 + 53.764,3 \text{ kg CO}_2 + 1.300 \text{ kg CO}_2 \\ &+ 51.400 \text{ kg CO}_2 + 30 \text{ kg CO}_2 = 106.7152 \text{ kg CO}_2 \text{ (106,72 ton CO}_2) \end{aligned}$$

Şekil 4.9’da 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kimyasal madde kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.9. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kimyasal madde kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.7 Kömür tüketiminden kaynaklanan emisyonlar (Kategori 1)

Kömür kullanımından kaynaklı emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 2: Enerji sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan kömür kullanımından kaynaklanan emisyon doğrudan emisyon olarak değerlendirilmektedir. Kömür yakıldığında aşağıdaki sera gazları açığa çıkmaktadır:

Karbondioksit (CO₂): Kömürün yanması sonucu oluşan sonuç ana sera gazı olarak görülmektedir.

Metan (CH₄) ve Azot protoksit (N₂O): Yakma teknolojisine bağlı olarak küçük salınım salınır.

Karbondioksit (CO₂) emisyon hesabı aşağıda yer almaktadır.

CO₂ emisyonları, yakıtın karbon içeriği ve yanma sırasında açığa çıkan enerji miktarına göre hesaplamalar:

$$\begin{aligned}
 &CO_2 \text{ Emisyonu (kg CO}_2\text{)} \\
 &= \text{Yakıt Miktarı (ton)} \times \text{Alt Isıl Değer (TJ/ton)} \\
 &\times \text{Karbon İçeriği (kg C/TJ)} \times \text{Oksidasyon Faktörü} \times 44/12
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

Değişkenler:

- « Yakıt Miktarı (ton): Kullanılan kömür miktarı (148 ton).
- « Alt Isıl Değer (Alt Isıtma Değeri, LHV): Kömürün enerji içeriği. IPCC'ye göre taş kömürü için ortalama 25,8 TJ/kt veya 0,0258 TJ/ton .
- « Karbon İçeriği: Kömürün karbon yoğunluğu. IPCC'ye göre taş kömürü için 26.4 tC/TJ
- « Oksidasyon Faktörü: Yakma sırasında karbonun okside olma oranı (genelde 0.98 alınır).
- « 44/12: Karbonhidratların dönüşüm faktörü (moleküler ağırlık oranı).

CO₂ Emisyonu (kg CO₂)

$$= 148 \text{ ton} \times 0,0258 \text{ TJ/ton} \times 26.4 \text{ tC/TJ} \times 0,98 \times 44/12$$

CO₂ Emisyonu (kg CO₂)

$$= 148 \text{ ton} \times 0,0258 \text{ TJ/ton} \times 26.4 \text{ tC/TJ} \times 0,98 \times 3.67$$
$$= 362,4457 \text{ kg CO}_2 \text{ (0,362 ton CO}_2\text{)}$$

Metan (CH₄) ve Azot Protoksit (N₂O) Emisyonları: Bu emisyonlar, kömürün yanma koşulları ve kullanılan teknolojilere bağlıdır. IPCC rehberi, bu gazlar için emisyon faktörlerini sağlar:

- CH₄ Emisyon Faktörü: 1 kg CH₄/TJ (IPCC taş kömürü için).
- N₂O Emisyon Faktörü: 1,5 kg N₂O/TJ (IPCC taş kömürü için).

CH₄ Emisyonu (kg CH₄)=Yakıt İçeriği (TJ)×CH₄ Emisyon Faktörü

N₂O Emisyonu (kg N₂O)= Yakıt İçeriği (TJ)× N₂O Emisyon Faktörü

$$\text{Yakıt Enerji İçeriği (TJ)} = 148 \times 0,0258 = 3,8184 \text{ TJ}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu} = 3,8184 \times 1 \text{ CH}_4/\text{TJ} = 3.8184 \text{ kg CH}_4$$

$$\text{N}_2\text{O Emisyonu} = 3,8184 \text{ TJ} \times 1.5 \text{ kg N}_2\text{O/TJ} = 5,7276 \text{ kg N}_2\text{O}$$

CH₄ ve N₂O'nun CO₂ eşdeğeri;

- CH₄: 25 (küresel enerji potansiyeli, GWP)
- N₂O: 298 (GWP)

$$CH_4 CO_2e = 3,8184 \times 25 = 95,46 \text{ kg } CO_2e$$

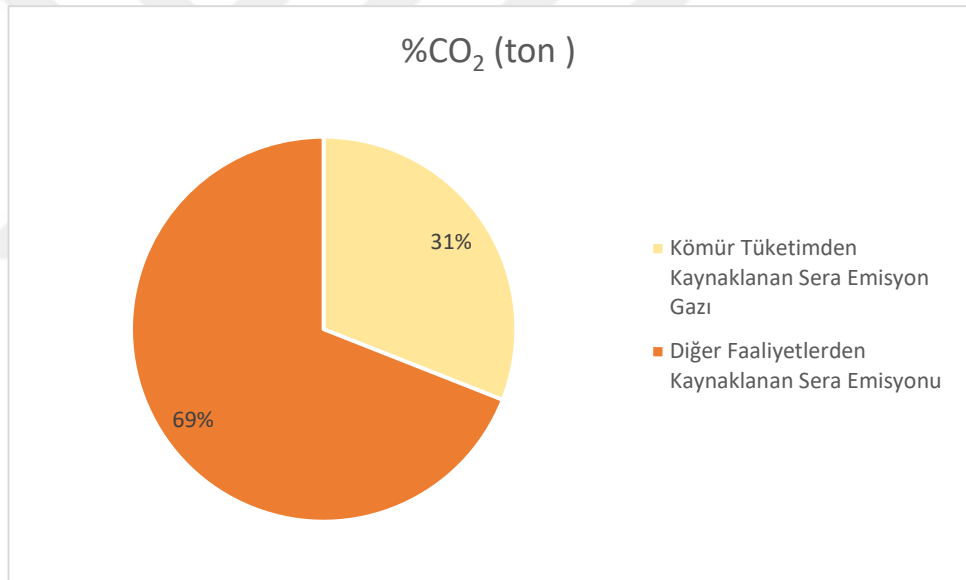
$$N_2O CO_2 = 5,7276 \times 298 = 17.068 \text{ kg } CO_2$$

Toplam karbon ayak izi, CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarının toplamıdır.

Toplam Emisyon (kg CO₂e)=CO₂+CH₄ CO₂e+N₂O CO₂

Toplam Emisyon=362,4457+95,46+17.068=17.068.705,9 kg CO₂e (17.068 ton CO₂e)

Şekil 4.10'da 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kömür kullanımından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.10. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde kömür tüketiminden kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.4.8 Toprağın bozulmasından kaynaklanan emisyonlar (Kategori 6)

Toprak kazıldığında, depolanmış karbon atmosferde CO₂ olarak serbest kalabilmektedir. Toprağın bozulmasından kaynaklanan emisyon hesabı; IPCC (2006). Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Kılavuz , Cilt 4: Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı (AFOLU) sektörü altında değerlendirilmektedir. Ayrıca; tesis kapsamında kullanılan toprağın bozulmasından oluşan emisyon doğrudan emisyon olarak değerlendirilmektedir.

IPCC'ye göre, toprağın karbon içeriği ve bozulma seviyesi dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır.

Formül:

$$Emisyon (CO_2) = A (ha) \times C (ton C/ha) \times R \times EF (CO_2) \quad (4.13)$$

Burada:

- A: Kazılan alan (hektar olarak).
- C: Toprağın organik karbon içeriği (ton C/ha, IPCC varsayılan değerleri).
- R: Toprak bozulma oranı (genellikle %20-30 alınır).
- EF: Karbonun CO₂'ye dönüşüm faktörü (3.67).

Çizelge 4.4. Toprak türlerine göre organik karbon içeriği (IPCC, 2006).

Arazi Türü	Toprak Organik Karbon İçeriği (C)	Birim
Ormanlık Alan	100	ton C/ha
Tarım Alanı	50	ton C/ha
Çayır Alanı	75	ton C/ha

- Kazılan alan (A): Orman Alanı 385,38 hektar ve Tarım Alanı 9,52 hektardır.
- Arazi türü: Ormanlık (C = 100 ton C/ha), Tarım Alanı (C = 50 ton C/ha)
- Toprak bozulma oranı (R): %30.
- CO₂ dönüşüm faktörü (EF): 3.67.

Orman Arazileri İçin CO₂ Emisyonu Hesabı:

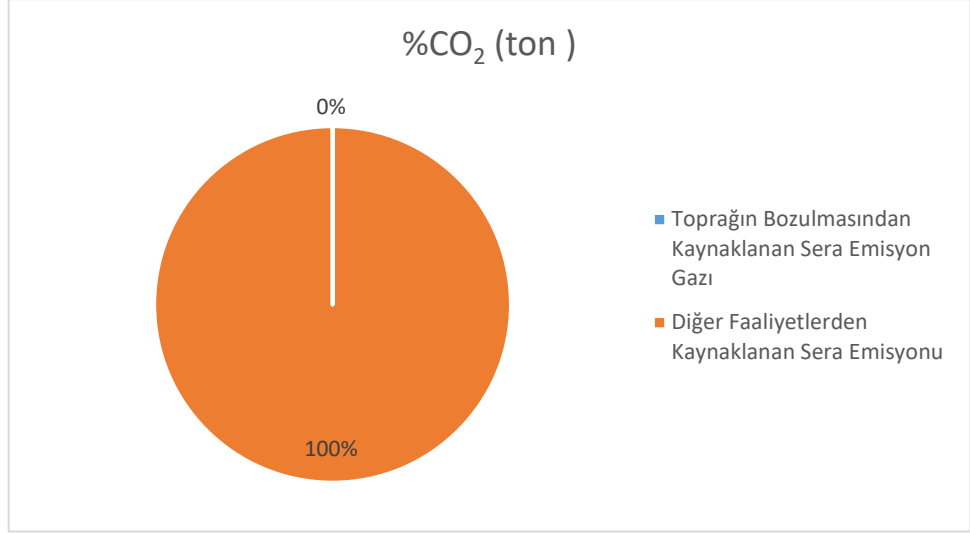
$$Emisyon (CO_2) = 385,38 ha \times 100 ton C/ha \times 0.3 \times 3.67 = 42.430,3 kg CO_2$$

Tarım Arazileri İçin CO₂ Emisyonu Hesabı:

$$Emisyon (CO_2) = 9,52 ha \times 50 ton C/ha \times 0.3 \times 3.67 = 10,48 kg CO_2$$

$$\begin{aligned} Toplam Emisyon (CO_2) &= 42.430,3 + 10,48 = \\ &= 42.954,3 kg CO_2 (42,44 ton CO_2) \end{aligned}$$

Şekil 4.11'de 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde toprağın bozulmasından kaynaklanan % CO₂ dağılım şeması yer almaktadır.



Şekil 4.11. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesinde toprağın bozulmasından kaynaklanan % CO₂ dağılımı.

4.5 Oluşan Karbondioksit Gazının Dağılımını Gösterir Hava Kalitesi Modelleme Çalışması

Hava kalitesi dağılım modellemesi çalışması ile tesisten kaynaklanacak kirleticilerin (karbondioksit) etki alanı içerisinde, mevcut meteorolojik koşullar altında ne şekilde yayılacağı, bu yayılma sonucunda söz konusu kirleticilerin neden olacağı muhtemel yer seviyesi konsantrasyonları incelenmiştir. Yayılım hesapları AERMOD modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AERMOD atmosferik dağılım modelleme sistemi 3 modül içermektedir.

Bunlar;

- « AERMOD
- « AERMAP
- « AERMET sistemleridir.

AERMOD, doğrusal, kararlı hal Plume modellemesidir. Ayrıca GaussianPlume karakteristiğine de sahiptir. AERMOD Modelleme sistemi, birçok farklı kaynak tipinde uygulanabilmektedir. Plume yükselmesi ve batmazlık, yükselen inversiyon içerisindeki nüfuz, kaynaktaki yüzey seviyesi, rüzgarların dikey profili, türbülans ve ısı, arazi efekti gibi gelişmiş algoritmaları da bünyesinde barındırmaktadır. AERMOD programının

performansı, arazi yapısına ve farklılık gösteren emisyon kaynaklarına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Yüksek konsantrasyonlarda gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir.

AERMAP, alan ön işlemcisidir. Asıl amacı, hava kirliliği davranışları ile alan özellikleri arasında fiziksel ilişkiyi sağlamaktır. Her bir tepe noktası yeri için konum ve yükseklik verisi oluşmaktadır. AERMET Meteorolojik veri ön işlemcisidir. Yüzey meteorolojik verilerini ve üst atmosfer tabakası verilerini kabul etmektedir.

AERMET, atmosferik türbülans karakteristikleri, sürtünme hızı ve yükseklikler gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplamaktadır. AERMOD, kirletici dağılımını simule etmek için üst atmosfer tabakasında saatlik meteorolojik gözlemlere ihtiyaç duymaktadır. Model, zaman içerisinde değişen gerçek zaman verilerini baz alarak saatlik, günlük ve yıllık YSK değerlerini tahmin edebilen en gelişmiş bilgisayar modellerinden birisidir.

Hava kalitesi dağılım modellemesi çalışması ile kirletici emisyonlar için her bir alıcı ortam elemanının köşe noktalarında oluşan yer seviyesi konsantrasyonları (YSK), bir yıllık modelleme süresi için günlük ve yıllık olarak hesaplanmıştır.

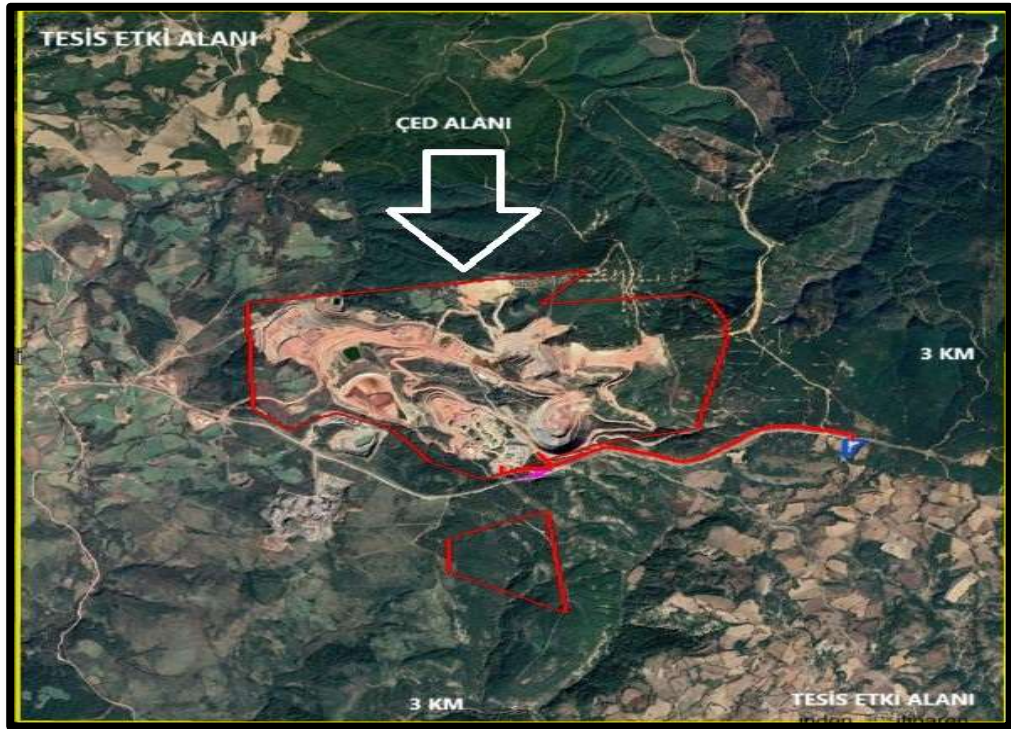
Modelleme çalışmaları ile faaliyetten kaynaklanan kirleticiler olan toz emisyonlarının çalışma alanı içerisinde, mevcut meteorolojik koşullar altında ne şekilde yayılacağı, bu yayılma sonucunda söz konusu kirleticilerin neden olacağı muhtemel yer seviyesi konsantrasyonları incelenmiştir. Yayılım hesapları AERMOD dağılım modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.5.1 Modelleme alanı koordinatları

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek-2'ye göre zeminden itibaren emisyonların efektif yüksekliği ($\Delta h + h$) 30 m'den daha az olan tesislerde, tesis etki alanı, bir kenar uzunluğu 2 km olan kare şeklindeki alandır. Ancak söz konusu faaliyet için bu alan yetersiz kaldığından bir kenarı 3 km olan kare şeklindeki alan dikkate alınmıştır (Çizelge 4.5). Emisyon kaynaklarını merkez kabul eden kare şeklindeki alan dikkate alınarak planlanan ÇED alanı ve tesis etki alanını içine alacak şekilde çalışma alanı belirlenmiş olup Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Modelleme alanı koordinatları.

Projeksiyon	UTM
Tesis Etki Alanı (km ²)	9.000.000 m ²
Çalışma Alanı Koordinatları	
Referans Noktası	
Kuzey	4464690
Güney	4458690
Doğu	484431
Batı	478431



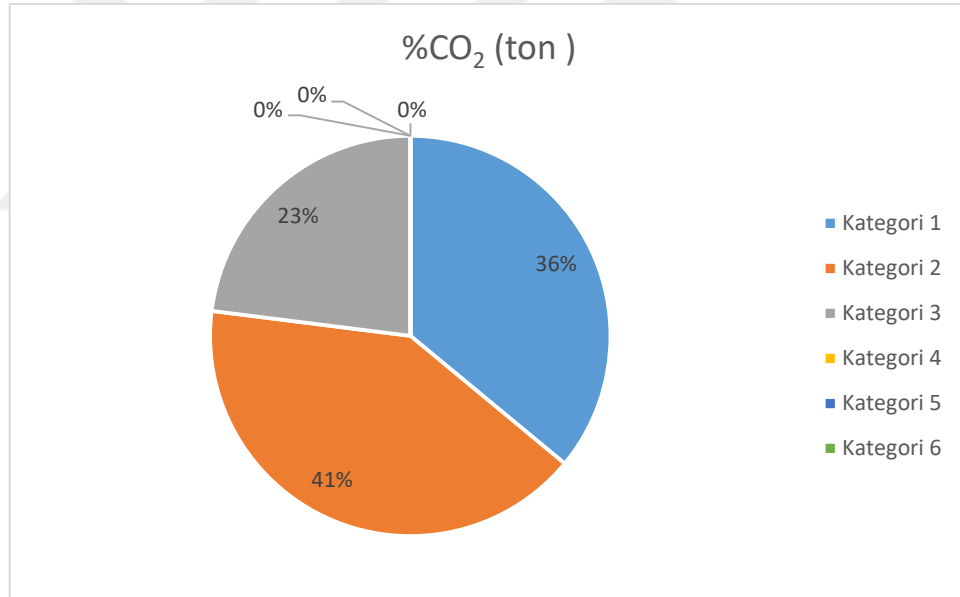
Şekil 4.12. Çalışma alanını ve çevresini gösterir harita.

Modelleme çalışmaları için gerekli olan uzun dönemli meteorolojik veriler, yöredeki mevcut meteoroloji istasyonlarından sağlanmaktadır. AERMOD modeli için saatlik yüzey istasyonu verileri ve ravinsonde tip istasyonlarında ölçülen meteorolojik sondaj verisi gerekmektedir. Bu çalışmada, gerekli saatlik meteorolojik veri setlerinin, proje güzergâhına en yakın istasyon olan Çanakkale İli istasyonundan (İstasyon No: 17112) temin edilmesi uygun bulunmuş ve bu istasyona ait meteorolojik veriler modelleme çalışmaları sırasında kullanılmıştır. Sondaj verileri ise, Türkiye’de 8 adet bulunan ravinsonde istasyonlarından proje sahasına en yakın olan İzmir Meteoroloji İstasyonu’ndan temin edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sera gazı emisyon envanterini oluşturmak için öncelikle ilgili tüm sera gazı emisyon kaynakları tespit edilmiştir. Sonrasında, şirketin ilgili birimlerinden faaliyet verileri toplanmış olup, bu faaliyet verileri ile güncel emisyon faktörleri çarpılarak her bir kaynaktan ortaya çıkan emisyonlar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu emisyon verileri TUMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Lapseki İşletmesi toplam karbon ayak izini oluşturmaktadır.

TUMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Lapseki işletmesi 2023 yılının yukarıda belirtilen operasyonel sınırları içerisinde sera gazı emisyonlarına sebep olan faaliyet verileri belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar ISO 14064-1:2018'e göre kategori 1,2,3,4,5 ve 6 olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.1'de 2023 yılı Lapseki altın işletmesinde kategori dağılımı yer almaktadır.

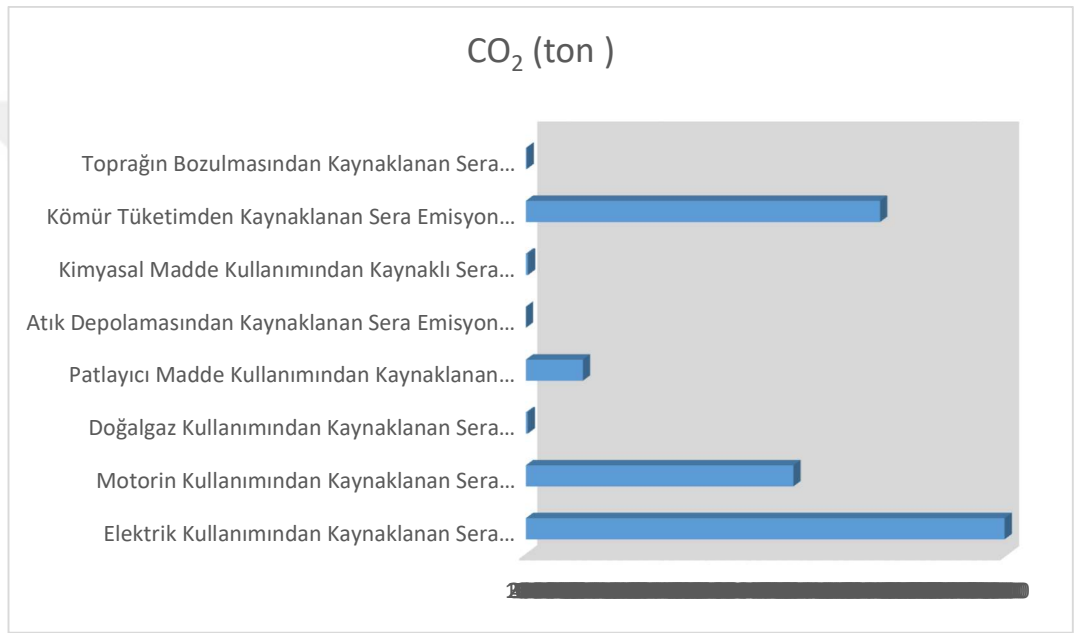


Şekil 5.1. 2023 yılı Lapseki altın işletmesinde kategori dağılımı.

Toplam Emisyonların %36'sı doğrudan sera gazı emisyonları iken %41'lik kısmı enerji dolaylı sera gazı emisyonu ve %23'ü ise diğer dolaylı sera gazı emisyonları kategorisinde yer almaktadır. Diğer kategoriler ise ihmal edilebilecek yüzdelerde yer almaktadır.

2023 yılında TMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Çanakkale ili, Lapseki ilçesi, Şahinli ve Kocabaşlar köyü mevkiinde gerçekleştiren Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesis’ inde iştetmesi operasyonel faaliyetleri sonucu oluştan sera gazı emisyonlarının toplamı 55.771,248 ton CO₂e’dir. Yapılan hesaplamalar TMAD Madencilik faaliyetleri dahilinde alt işveren faaliyetleri de dahil olacak şekilde hesaplanmıştır.

Tesis faaliyetleri kapsamında oluştacak karbondioksitin Tier 1 Yöntemine göre dağılımın gösteren grafik ve şemalar aştğıda Şekil 5.2’de maddeler halinde verilmiştir.



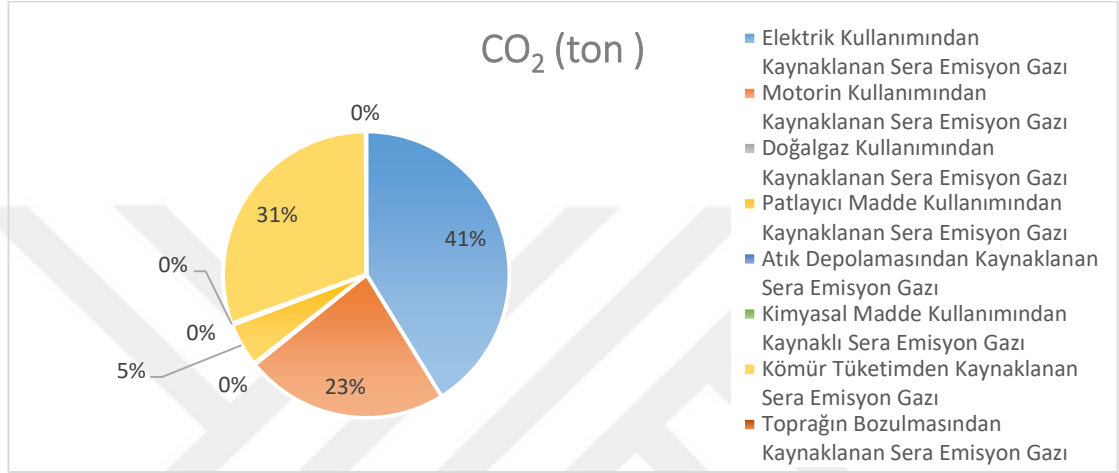
Şekil 5.2. 2023 yılı Lapseki altın iştetmesine ait CO₂ dağılımı.

Tesis faaliyetleri kapsamında yapılan hesaplamalardan ve dağılımlardan görüldüğü üzere Elektrik, Motorin ve Kömür kullanımları yüksek karbon emisyonlarına yol açmaktadır.

Şehir şebekesinden alınan elektriğın karbon ayak izinin yüksek olmasının temel nedenleri enerji kaynakları karışımı, santral verimliliğı ve şebeke karbon yoğunluğ olabilmektedir. Özellikle bölgesel enerji politikaları ve şebeke kaynakları bu konuda belirleyici etkenlerdendir. Daha düştük karbonlu enerji kaynaklarına geçiş, bu etkiyi azaltabilmektedir.

Mazot kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi, yüksek karbon yoğunluğu, düşük yanma verimliliği ve tüketim miktarının fazlalığı nedeniyle yüksek oranda karbondioksit oluşumuna neden olmaktadır.

Kömür kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi, yüksek karbon yoğunluğu, düşük yanma verimliliği ve daha yüksek tüketim miktarları nedeniyle yüksek oranda karbondioksit oluşumuna neden olmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. 2023 yılı Lâpseki altın işletmesine ait, % CO₂ dağılımı

5.1 Yenilenebilir Enerjinin Karbon Ayak İzini Azaltmadaki Rolü

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri haline gelmiştir. Bunun temel nedeni, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hızla artmasıdır. Karbon ayak izi, bir bireyin, işletmenin veya ürünün yaşam döngüsü boyunca ürettiği sera gazlarının toplamını ifade etmektedir. Bu bağlamda, karbon ayak izini azaltmak, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon ayak izini azaltmada kilit bir rol oynar ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtların enerji üretimindeki payını azaltarak karbon ayak izinin düşürülmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Temel faydaları şunlardır:

Fosil Yakıtların Yerini Alır:

- » Fosil yakıtların yanması sırasında büyük miktarda CO₂ salınımı gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu emisyonları önemli ölçüde azaltmaktadır.
- » Yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji üretim süreçlerini daha verimli hale getirir ve enerji kayıplarını minimize etmektedir.

Küresel Emisyon Azaltımı:

- » Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmak için yenilenebilir enerjiye geçiş şarttır. Küresel ısınmayı 1.5°C ile sınırlamak için yenilenebilir enerji yatırımları artırılmalıdır.

Yerel ve Temiz Enerji Üretimi:

- » Yerel enerji üretimi, enerji ithalatını azaltarak ekonomilere katkı sağlar ve çevresel zararları minimize etmektedir.

Altın madenciliği, enerji yoğun süreçleri nedeniyle önemli miktarda sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Bu emisyonlar, fosil yakıtların kullanımıyla artar ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, altın işletmelerinin karbon ayak izini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır.

Tümad Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (TÜMAD) tarafından; 14.08.2015 Tarih ve 3969 Sayılı ÇED Olumlu kararı olan Lapseki Altın ve Gümüş Madeni ve Zenginleştirme Tesisinde kendi iç tüketimine yönelik olarak elektrik enerjisini sağlamak amacıyla “Lisanssız Rüzgar Enerji Santrali ((5,5 MWm/5,5 MWe Kapasiteden 6 adet türbin - Toplam:33 MWm/33 MWe))” projesi gerçekleştirilmeyi planlanmaktadır.

Ülkemizde kişi başı elektrik enerjisi tüketiminin 3.386 kWh olduğu varsayıldığında yılda 137.236.000 kWh elektrik enerjisi üretilecek olan Lisanssız RES proje ile yaklaşık 40.530 kişinin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilecektir. Böylelikle kendi iç tüketimi için kullanılacak elektrik enerjisinin mevcut sistem alınmayacağı anlamına gelmektedir. Bu enerjinin yenilenebilir enerjiden sağlanmasıyla birlikte

61.344 ton CO₂ eşleniği sera gazı salınımı engellenmiş olacaktır. Bu miktarda 9,1 milyon ağacın 1 yıllık CO₂ emilimine denk gelmektedir.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) raporlarına göre, rüzgar enerjisinin her megavat saatlik üretiminde yaklaşık 0,02 ton karbondioksit eşdeğeri emisyon ortaya çıkarken, bu değer kömür için 0,85 ton olarak hesaplanmaktadır. Bu bağlamda, rüzgar enerjisi kullanımının enerji sektöründeki karbon ayak izini sıfırlama potansiyeli oldukça yüksektir. Dolayısıyla söz konusu tesiste oluşması muhtemel 55.771,248 ton CO₂ 'in nötür hale gelmesi sağlanacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yalnızca karbon emisyonlarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürerek firmalara ekonomik avantajlar sağladığını göstermektedir. Firmanın karbon nötrlüğü sağlama süreci, diğer sektörler için bir model teşkil edebilir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjiye geçişin önündeki zorluklar arasında yüksek başlangıç maliyetleri ve izin süreçlerinin uzunluğu gibi faktörler yer almaktadır. Bu tür engellerin aşılması, yenilenebilir enerji kullanımının daha geniş bir ölçeğe yayılmasını neden olabilir.

Altın tesislerinde karbon ayak izini sıfırlamak için rüzgar enerjisi sistemlerinin kurulumu, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir çözüm olmaktadır. Bu yaklaşım:

- « Tesislerin karbon nötr hale gelmesini sağlar.
- « Enerji maliyetlerini azaltır ve uzun vadeli enerji bağımsızlığı sunar.
- « Çevre dostu madencilik uygulamalarını teşvik eder.

Altın madenciliği sektöründe daha fazla yenilenebilir enerji yatırımı yapılması, endüstrinin çevresel etkisini azaltırken, iklim değişikliği ile mücadeleye önemli bir katkı sağlayacaktır. Rüzgar enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarına geçiş, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir.

Rüzgar Enerjisinin Altın İşletmelerine Faydaları:

- « Karbon Emisyonlarının Azaltılması: Rüzgar enerjisi, elektrik üretiminde fosil yakıtların yerini alarak CO₂ emisyonlarını düşürmektedir. Bernstein'ın

araştırmasına göre, rüzgar enerjisi, kömürle çalışan santrallere kıyasla %99 daha az karbon ayak izine sahiptir.

- « Enerji Maliyetlerinin Düşürülmesi: Rüzgar enerjisi, uzun vadede enerji maliyetlerini azaltır ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı işletmeleri korumaktadır.
- « Sürdürülebilir Madencilik Uygulamaları: Yenilenebilir enerji kullanımı, çevre dostu madencilik uygulamalarını destekler ve işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkı sağlamaktadır.
- « Yasal Uyumluluk ve İtibar Artışı: Düşük karbonlu enerji kaynaklarının kullanımı, çevresel düzenlemelere uyumu kolaylaştırır ve işletmelerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine yardımcı olmaktadır.

Altın işletmelerinde rüzgar enerjisi tesislerinin kurulumu, karbon ayak izinin azaltılmasında ve sürdürülebilir madencilik uygulamalarının benimsenmesinde önemli bir adımdır. Bu yaklaşım, hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlayarak işletmelerin uzun vadeli başarısına katkıda bulunur.

5.2 Hava Kalitesi Modelleme Çalışmasının Değerlendirilmesi

Ulusal ve uluslararası mevzuatlar kapsamında oluşan sera gazı emisyonu için hergangi bir sınır değeri olmadığı için modelleme sonucu değerlendirilememiştir.

Sera gazı emisyonları için genellikle doğrudan sınır değerler yerine, toplam emisyon hedefleri ve azaltım stratejileri benimsenmiştir. Bu yaklaşım, ülkelerin kendi koşullarına uygun esnek politikalar geliştirmesine olanak tanımaktadır

KAYNAKLAR

- Airqoon, 2022. Metan ve iklim değışikliği: Türkiye bağlamında bir değeriendirme. URL Adres: <https://airqoon.com/tr/kaynaklar/metan-ve-iklim-degisikligi-turkiye-baglaminda-bir-degerlendirme/>, Erişim tarihi: 26.01.2025.
- Akgün, S., 2006. Sanayileşme sürecinde çevre kalitesinin önemi: Firma yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Aksoy, S. ve Koçak, E., 2024. Estimation of the carbon footprint from road transportation: A case study, International Journal of Global Warming, 33 (3), 250-263.
- Aladağ, İ. ve Yanıktepe, B., 2022. Fotovoltaik bir panelin Matlab@Simulink ile modellenmesi ve dış ortam koşullarındaki davranışının incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37 (2), 471-482.
- Alkan, A., 2018. Hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı kentlere bir örnek: Siirt, Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 7 (2), 641-666.
- Alkaya, B. ve Yıldırım, M. A., 2000. Taşıt kaynaklı kirleticilerin azaltılma yöntemleri, Ekoloji Çevre Dergisi, 9 (34), 15-20.
- Alper, F. Ö. ve Alper, A. E., 2017. Karbondioksit emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ilişkisi: Türkiye için bir ARDL Sınır Testi yaklaşımı, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (16), 59-72.
- Ankara Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi (ANKÜSEM), 2023. Kurumsal karbon ayak izi raporlaması ve karbon yönetimi. URL Adres: https://ankusem.ankara.edu.tr/kurumsal-karbon-ayak-izi-raporlamasi-ve-karbon-yonetimi/?utm_source=chatgpt.com, Erişim tarihi: 26.01.2025.
- Ayan, E., 2008. Türkiye'nin Batı bölgelerinde iklim değışimi ve kömürle çalışan termik santrallerden kaynaklanan CO₂ emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, E., 2012. Maden çıkarma işlemlerinin çevreye etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.
- Balta, T., Rasan, G. ve İlhan, A. İ., 2015. Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Başoğlu, A., 2014. Küresel iklim değışikliğinin ekonomik etkileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7 (14), 123-140.
- Bayraktar, E., 2010. Balıkesir' de partikül madde kirliliğinin kardiyorespiratuar mortalite üzerine etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bekiroğlu, O., 2011. Tarımda karbon ayak izi sürdürülebilir kalkınmanın yeni kuralı: Karbon ayak izi.

- Bıyık, Y. ve Özkale, L., 2017. Demir çelik endüstrisi üretim yöntemleri ile ihracat, katma değer ve karbon emisyon azaltma politikaları arasındaki ilişkisi, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, (ICMEB17 Özel Sayısı), 718-735.
- Böbrek, O., 2019. Madencilik faaliyetlerinin toprak kirliliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi: Orhaneli ve Büyükorhan (Bursa) örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilecik.
- Civelekoğlu, G. ve Bıyık, Y., 2018. Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi, Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi, 2 (2), 157-166.
- Coşkun, A., 2008. Şehir atmosferinde emisyonlardan kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Coşkun, S. ve Doğan, N., 2021. Tekstil endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (3), 29-41.
- Cüre, B., 2022. Kimyasal ve organik gübrelerin çevre üzerine etkisi, Journal of Biosystems Engineering, 3 (2), 98-107.
- Çetin, M. ve Demirci, O. K., 2016. Erzincan'da doğal gazın hava kalitesine etkisi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1), 8-18.
- Çetin, Ş., 2001. İzmit Klinik ve Tehlikeli Atıklar Yakma ve Enerji Üretim Tesisi'nde proses tanıtımı ve halojenlerin prosesteki yeri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çetintaş, H., Bicil, İ. M. ve Türköz, K., 2016. Türkiye'de CO₂ salınımları, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi, Finans Politik & Ekonomik Yorumlar Dergisi, 53 (619), 57-67.
- Çıtak, E. ve Kılınç Pala, P. B., 2016. Yenilenebilir enerjinin enerji güvenliğine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 25, 79-102.
- Çoban, O., 2015. Yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisi: Türkiye örneği, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1 (36), 1-16.
- Dallı, T. ve Kütükçü, E., 2023. Türkiye'de tarım, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, doğrudan yabancı sermaye girişi ve CO₂ emisyon ilişkisi: ARDL analizi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (3), 2154-2170.
- Demirarslan, K. O. ve Kaya, A., 2017. Kömür madenciliğinin yarattığı hava kirliliği: Partikül madde ve metan emisyonları üzerine literatür araştırması, Bilimsel Madencilik Dergisi, 56 (1), 23-31.

- Demirbugan, A., 2014. Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini değerlendirme yöntemleri, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 4 (2), 287-300.
- Demirci, E., 2018. Yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda karbon ayak izinin azaltılmasındaki rolü, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Demirtürk, D., 2021. Sürdürülebilir ulaşımda sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar, Journal of Engineering Sciences and Design, 9 (3), 1080-1092.
- Dodurka, H.T., Özmen, H. F. ve Öz, Ö. Ç., 2023. Hayvansal gıdaların sürdürülebilirliği ve çevreye olan etkisi, İstanbul Rumeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2, 1, 82-94.
- Doğan, S., Doğan, E. ve Tüzer, M., 2022. Fosil yakıt kaynaklı karbondioksit emisyonlarına dayalı k-ortalama kümeleme analizi: G20 örneği, EKOIST Journal of Econometrics and Statistics, 36, 187-203.
- Ecoinvent, URL Adres: <https://ecoinvent.org> , Erişim tarihi: 26.01.2025.
- Elkoca, E., 2003. Hava kirliliği ve bitkiler üzerindeki etkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34 (4), 367-374.
- Erden Özsoy, C., 2015. Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi, Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4 (9), 198-215.
- Fertelli, A., 2020. Sivas ilindeki hava kirliliğine doğalgaz kullanımının etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 2 (2), 18-23.
- Güler, Y., 2018. Sera gazları, iklim değişikliğinde sera gazı emisyonlarının rolü ve azaltım yöntemleri, ISHAD2018 Conference Papers, 105.
- Gürkaynak, M., 2019. Küresel iklim değişikliği ve uluslararası çabalar, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- IEA (International Energy Agency), URL Adres: <https://www.iea.org/>, Erişim tarihi: 07.12.2024.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories- Cilt 5: Atık, Bölüm 3: Katı Atıkların Depolanması.
- IPCC, 2006. Ulusal sera gazı envanterleri için kılavuz, Cilt 2: Enerji.
- IPCC, 2006. Ulusal sera gazı envanterleri için kılavuzlar, Cilt 3: Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı.
- IPCC, 2006. Ulusal sera gazı envanterleri için kılavuzlar, Cilt 4.
- IPCC, 2014. İklim değişikliği 2014: Sentez Raporu, Bölüm 8. ve TÜİK (2022). Türkiye sera gazı emisyon envanteri raporu.

- İklim, B. U. 2024, Metan (CH₄), Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi.
- İlkılıç, C. ve Behçet, R., 2006. Hava yasağının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkisi, Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 5(1), 66-72.
- Kaygusuz, K., 2022. İklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının azaltılmasında biyokütlenin rolü ve çözüm önerileri, Özgür Yayınları.
- Kelen, F., 2014. Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2), 80-87.
- Kılıç, H. N. ve Boğa, M., 2021. Hayvan besleme stratejileri ile metan emisyonunun azaltılması, Türk Tarım Dergisi - Gıda Bilimi ve Teknolojisi, 9 (9), 1700-1713.
- Kılıç, İ. ve Şimşek, E., 2009. Hayvan barınaklarından kaynaklanan gaz emisyonları ve çevresel etkileri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14 (2), 151-157.
- Kılınç, E. C. ve Altıparmak, H., 2020. Çevre vergilerinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi üzerine bir uygulama, ODÜ Sosyal Bilimler Dergisi, 10 (1), 217-227
- Kılınç, E. C., 2023. Yenilenebilir enerji ve fosil yakıt tüketiminin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi: Türkiye örneği, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6 (3), 723-740.
- Kılınç, Z. ve Şanlısoy, S., 2024. Türkiye'nin AB 27 ülkelerine birincil alüminyum ihracatının sektörel karbon emisyonu üzerine etkileri, İzmir İktisat Dergisi, 39 (4), 952-971.
- Kızılkaya, O., Sofuoğlu, E. ve Çoban, O., 2016. Ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevre kirliliği analizi: Türkiye örneği, Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6 (2), 255-272.
- Koçu, N. ve Dereli, M., 2008. Konya'da ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin çözümünde binalarda ısı yalıtımı kullanımının önemi, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu Bildirileri, 611-620.
- Koyuncu, M. ve Akgün, H., 2018. Çiftlik hayvanları ve küresel iklim durumu arasındaki etkileşim, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32, 151-164.
- Köknaroğlu, H. ve Akunal, T., 2010. Küresel ısınmada hayvancılığın payı ve zooteknistlerin rolü, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (1), 67-75.
- Kralova, I. ve Sjöblom, J., Biofuels–renewable energy sources: A review, J. Dispers. Sci. Technol., 31 (3), 409–425.

- Kumaş, K., Akyüz, A., Zaman, M. ve Güngör, A., 2019. Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu örneği, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (1), 108–117.
- Kurdoğlu, O. ve Özalp, M., 2010. Nehir tipi hidroelektrik santral yatırımlarının yasal süreç, çevresel etkiler ve doğa koruma ile ekoturizmin geleceği kapsamında değerlendirilmesi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 2, 688-707.
- Mentese, S. ve Böbrek, O., 2020. Madencilik faaliyetlerinin topraktaki ağır metaller (As, Cd, Co, Fe ve Ni) üzerine etkisi: Orhaneli ve Büyükorhan (Bursa) örneği, Ege Coğrafya Dergisi, 29 (1), 45- 56.
- Nalioğlu, S. C., t.y. İçten yanmalı motorların egzoz emisyonu: Çevresel etkiler ve azaltma teknolojileri, Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu.
- Oral, M., 2020. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve PV uygulamalarının yerel ölçekte değerlendirilmesi: Karabük İli örneği, Uluslararası Coğrafya ve Coğrafya Eğitimi Dergisi (IGGE), 42, 482-503.
- Orhan, G., 2012. Hava kirliliği ve asit yağmurları: uzun menzilli sınırlar ötesi hava kirliliği sözleşmesi ve protokolleri karşısında Türkiye'nin konumu, Marmara Üniversitesi Avrupa Topluluğu Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Dergisi, 19 (1), 25-50.
- Özdemir, B.K. ve Koç, K., 2020. Türkiye'de Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme: Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi'nin Ampirik Analizi. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 11 (1), 66-86.
- Özdemir, E., Aktaş, A., Erhan, K. ve Özdemir, Ş., 2017. Akıllı şebekelerde enerji depolama uygulamalarının sunduğu fırsatlar ve zorluklar, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 32 (2), 499-506
- Özlü, M., 1995. Samsun ve yakın çevresinin coğrafi yönden hava kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Samsun.
- Özsoy, C. E., 2015. Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi, Hak-İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4 (9), 193-210.
- Reyhan, A. S. ve Reyhan, H., 2019. Küresel ısınmanın nedenleri, sonuçları, çözümleri üzerine yeni yaklaşımlar, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12 (1), 45-60.
- Sağlar, E., 2019. Hava yasağının alansal ve zamansal olarak analizi: İzmir ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Sawant, S. ve Babaleshwar, B., 2015. A new method of assessment and equations on carbon footprint, J. Appl. Geology and Geophysics, (3), 52-59.
- Şahin, G. ve Avcıoğlu, A. O., 2016. Tarımsal üretimde sera gazları ve karbon ayak izi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12 (3), 157-162.

- Tören, M. ve Mollahasanoğlu, H., 2022. Elektrikli ve hibrit araçlardaki elektrik motorlarının içten yanmalı motorlarda oluşan CO₂ emisyonunda ortaya çıkacak değişimin tahmin ve verimliliğe etkisi: Türkiye dili, El-Cezeri Bilim ve Mühendislik Dergisi, 9 (3), 1082-1097.
- TSE 14044, 2006. Çevre yönetimi - Yaşam döngüsü değerlendirmesi - Gereklilikler ve kılavuzlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 14064-1, 2006. Sera gazları - Bölüm 1: Kuruluş düzeyinde sera gazı emisyonlarının ve giderimlerinin hesaplanması ve raporlanması için gereklilikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 14064-2, 2006. Sera gazları - Bölüm 2: Proje düzeyinde sera gazı emisyonlarının azaltılması ve giderim artırımı faaliyetlerinin tasarımı, geliştirilmesi ve raporlanması için gereklilikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 14064-3, 2006. Sera gazları - Bölüm 3: Sera gazı beyanlarının doğrulanması ve doğrulama için kılavuz, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 14067, 2018. Sera gazları - Ürün karbon ayak izi - Gereklilikler ve kılavuzlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Tunçez, F. D. ve Soylu, S., 2022. Konya ilinin toplanabilir bitkisel artık ve hayvansal atık kaynaklı metan potansiyeli, Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 11 (2): 112-127, 2
- Turalıoğlu, F. S., 2011. Bitkilere zararlı olan ozon, azot dioksit ve kükürt dioksitin Erzurum atmosferindeki değişimleri, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28 (1), 73-77.
- Turgut, A. ve Budak, T., 2022. Lojistik ve taşımacılığın karbon ayak izi: Sistematik bir literatür incelemesi, Kent Akademisi, 15 (2), 916-930. DOI: 10.35674/kent.1071319
- Türkay, M., 2018. Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun (karbon ayak izinin) hesaplanması: Eskişehir ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Türkiye İhracatçıları Meclisi, 2022. İklim değişikliği ile mücadele sürecinde florlu sera gazlarının kullanımı ve güncel gelişmeler, Türkiye İhracatçıları Meclisi, İstanbul
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), URL Adresi: <https://www.tuik.gov.tr/>, Erişim tarihi: 26.04.2024.
- Türkiye Kimya Sanayicileri Derneği, 2022. Kimyasal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonları raporu.
- Üreden, A., 2008. Sürdürülebilir yaşam için karbon ayak izi: (Çankırı Karatekin Üniversitesi örneği), Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.

Varlı, H., Tuna, M. ve Tombul, M., 2022. Bölgesel güneş enerjisi potansiyeli ve enerji santrali yatırımı değerlemesi: Sincan örneği, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34 (2), 657-666.

Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U. ve Tüfenkçi, Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 103-114.

Yılmaz, C., 2019, Enerji kaynakları, fosil yakıtlar, çevre, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Yılmaz, E., 2017. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında enerji verimliliğinin rolü, Enerji ve Çevre Araştırmaları Dergisi, 3 (2), 89-97.

Yılmaz, F., 2019. Hava kirliliği, bileşenleri ve sağlık, FSM Vakıf Üniversitesi, İstanbul.

Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji değişimi elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4 (2), 33-54.

URL-1 <https://www.reuters.com/business/environment/global-co2-emissions-hit-record-high-2024-report-says-2024-11-13/?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 26.01.2025.

URL-2 <https://www.polenekoloji.org/carbonbrieften-unep-emisyon-acigi-raporu-incelemesi/?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 26.01.2025.

URL-3 <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-4 <https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar/?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-5 <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/turkey-aims-quadruple-wind-solar-energy-capacity-by-2035-2024-10-21/?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-6 <https://www.haberler.com/guncel/kayseri-de-ilk-ruzgar-enerjisi-santrali-projesi-tamamlaniyor-18107636-haberi/?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-7 <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/milli-ruzgar-enerji-sistemleri-gelistirilmesi-projesi-milres?utm_source=chatgpt.com>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-8 <<https://www.netsu.com.tr/ruzgar-enerjisi-c-2174>>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-9 <https://yesilhaber.net/yeo-teknolojiden-11-7-milyon-dolarlik-gunes-enerjisi-anlasmasi/#google_vignette>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-10 <https://www.google.com/search?q=H%C4%B0DROELEKTR%C4%B0K+SANTRAL%C4%B0&sca_esv=7933640830a9b7d9&udm=2&biw=1536&bih=695&sxsrf=ADLYWII0U4MchYJKigYjpp87RUoCl_mBNA%3A1733560576471&ei=AAIUZ7KvHluoxc8Pvr-ZsAY&ved=0ahUKEwiyr-2yoJWKAxULVPEDHb5fBmYQ4dUDCBA&uact=5&oq=H%C4%B0DROELEKTR%C4%B0K+SANTRAL%C4%B0&gs_lp=EgNpbWciGUjEsERST0VMRUtUUsSwSyBTQU5UUkFMxLAYBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAAYgAQyBRAAGIAESPUhUABY9h9wAHgAkAEAmAHuAaABlxqAQYwLjIxLjG4AQPIAQD4AQGYAhagAoIZwgIEECMYJ8ICChAAGIAEGEMYigXCAGsQABiABBixAxiDAcICDhAAGIAEGLEDGIMBGloFwgIIEAAAYgAQYsQPCAg0QABiABBixAxiDGloFmAMAkgcGMC4yMS4xoAe8hAE&sclient=img#vhid=uZfmmiQIZSkfLM&vssid=mosaic>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-11 <<https://enerji.dsi.gov.tr/Duyuru/Detay/927>>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

URL-12 <<https://ourworldindata.org/renewable-energy>>, Erişim tarihi: 07.12.2024.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nesrin ARHAN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü,
2011-2016

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Çınar Mühendislik Müşavirlik A.Ş., Çevre Laboratuvar/Yaz Stajı
2. MGS Proje Müşavirlik Mühendislik Ticaret Ltd. Şti. Çevre Birimi /Yaz Stajı
- 3.Nilsu Çevre Danışmanlık Mühendislik San. Tic. Ltd. Şti., 2016-2022
4. Mitus Proje A.Ş., 2022-Devam Etmekte

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Koçak, E. ve Arhan, N., 2024. Carbon reduction in the renewable energy and mining sector, International Scientific Research and Innovation Congress.