



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİR İŞLETMENİN YILLIK ENERJİ
KAYNAKLARI KULLANIMI SONUCU SERA
GAZİ EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Melek EROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak -2026
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Melek EROĞLU tarafından hazırlanan “**Bir İşletmenin Yıllık Enerji Kaynakları Kullanımı Sonucu Sera Gazı Emisyonunun Belirlenmesi**” adlı tez çalışması 22/01/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

.....

Üye

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

.....

Üye

Doç. Dr. Fatih AYDIN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Melek EROĞLU

Ocak - 2026

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR İŞLETMENİN YILLIK ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI SONUCU SERA GAZI EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Melek EROĞLU

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2026, 61 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Prof. Dr. Murat CİNİVİZ
Doç. Dr. Fatih AYDIN

Değişen ve gelişen dünya düzeninde, kaynakların sınırsızlığına kullanımı kaynaklı çeşitli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunların en başında çevre kirliliği ve iklim değişikliği gelmektedir. Enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanımı, kaynakların tükenmesine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Küresel ısınmada en önemli pay sera gazı etkisidir. Dünyamız, üzerine düşen Güneş ışınlarının yanında, Dünya'dan yansıyan Güneş ışınlarıyla da ısınır. Dünya'dan yansıyan Güneş ışınlarının atmosferde absorbe olma olayına sera etkisi denmektedir. Kyoto Protokolünde, Karbondioksit (CO₂), Metan(CH₄), Nitroz Oksit(N₂O), Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar (PFCs) ve Kükürt Heksaflorür (SF₆) sera gazı olarak adlandırılmıştır. Doğal kaynaklı olduğu gibi sanayileşme kaynaklıda çeşitli tepkimeler sonucunda sera gazları meydana gelmektedir. Çevre bilincinin artması ve gelecek nesiller için yaşanılabilir bir Dünya için sera gazı emisyonlarını azaltmamız gerekmektedir. Gerekli azaltma işlemlerinin başlayabilmesi için sera gazı hesaplaması ve buna yönelik önlemler alınmalıdır. Bu nedenle işletmeler sera gazı emisyon kaynaklarını ve buradan meydana gelen emisyonları hesaplayarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bildirmektedirler. Bu çalışmada Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ'i kılavuz olarak alınarak Bir İşletmenin Yıllık Enerji Kaynakları Kullanımı Sonucu Sera Gazı Emisyonunun Belirlenmiştir. Çalışmada faaliyet verileri, Ulusal Envanter Raporu ve Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ verilerinden yola çıkarak tesisin yıllık tahmini toplam sera gazı emisyonu 1.118.691,00 tCO₂e/yıl belirlenmiştir. Bunun yanı sıra işleme hesaplama temelli yöntem kullanarak sera gazı emisyonu 399.991,05 tCO₂e/yıl hesaplanmıştır. Bu fark, sera gazı emisyon hesaplamalarında emisyon kaynağından alınan verilerin daha spesifik ve daha doğru olmasından kaynaklıdır.

Anahtar Kelimeler: emisyon kaynağı, sera gazı, sera gazı emisyonu, yıllık tahmini sera gazı emisyonu

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINING GREENHOUSE GAS EMISSIONS RESULTING FROM A COMPANY'S ANNUAL ENERGY USAGE

Melek EROĞLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2026, 61 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Assoc. Prof. Dr. Fatih AYDIN

In the changing and developing world order, various environmental problems arise due to the seemingly limitless use of resources. The most prominent of these are environmental pollution and climate change. The unconscious use of energy resources leads to resource depletion and global warming. The most significant contributor to global warming is the greenhouse gas effect. Our planet is heated not only by the sun's rays falling on it, but also by the sun's rays reflected from the Earth. The absorption of reflected sun rays by the atmosphere is called the greenhouse effect. In the Kyoto Protocol, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), and sulfur hexafluoride (SF₆) are named as greenhouse gases. Greenhouse gases are produced as a result of various reactions, both naturally occurring and industrialized. To increase environmental awareness and ensure a livable world for future generations, we need to reduce greenhouse gas emissions. To begin the necessary reduction processes, greenhouse gas calculations and related measures must be taken. Therefore, businesses calculate their greenhouse gas emission sources and the resulting emissions and report them to the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. This study, using the Communiqué on Monitoring and Reporting Greenhouse Gas Emissions as a guide, determined the annual greenhouse gas emissions of a business resulting from the use of energy sources. Based on operational data, the National Inventory Report, and data from the Communiqué on Monitoring and Reporting Greenhouse Gas Emissions, the estimated total annual greenhouse gas emission of the facility was determined to be 1,118,691.00 tCO₂e/year. In addition, using a calculation-based method, the greenhouse gas emission was calculated as 399,991.05 tCO₂e/year. This difference stems from the fact that data obtained from the emission source is more specific and accurate in greenhouse gas emission calculations.

Keywords: emission source, greenhouse gas, greenhouse gas emission, estimated annual greenhouse gas emission

ÖNSÖZ

Eğitimin, hayatın her aşamasında olduğu ve sürekliliğine olan inancımdan dolayı devam ettiğim eğitim serüveninde hayatım boyunca beni destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim sürecim boyunca ve bu çalışmamın her aşamasında yardımlarını, değerli görüşlerini benden esirgemeyen ve cesaretlendiren Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Melek EROĞLU
KONYA-2026



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi	18
3.1.1. Faaliyetlerin tanımı.....	18
3.1.2. Emisyon kaynağı	18
3.1.3. Emisyon noktası	19
3.1.4. Tesisin yıllık tahmini toplam emisyonlarının belirlenmesi	20
3.1.5. Tesis kategorisinin belirlenmesi	20
3.2. Hesaplama Temelli Yöntem İçin Parametreler	21
3.2.1. Sera gazı kaynak akışı	21
3.2.2. Kademelerin belirlenmesi.....	22
3.2.3. Faaliyet verisinin belirlenmesi	23
3.2.4. Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi.....	23
3.2.5. Biyokütle kaynak akışları	25
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Örnek Tesisin Yıllık Tahmini Toplam Emisyonlarının Belirlenmesi.....	26
4.1.1. Doğalgaz kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi	28
4.1.2. Kömür kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi	29
4.1.3. LPG kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi	31
4.1.4. Motorin kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi.....	32
4.1.5. Arıtma çamuru gazı (Biyogaz) kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi	34
4.1.6. Kalsit kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi	35
4.2. Örnek Tesisin Kategorisinin Belirlenmesi	37
4.3. Örnek Tesisin Hesaplama Temelli Yöntem ile Emisyon Kaynaklarının Oluşturduğu Emisyon Verileri	38
4.3.1. Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi.....	38
4.3.2. Kömür kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi.....	40
4.3.3. LPG kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	41
4.3.4. Motorin kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi.....	42

4.3.5. Arıtma çamuru gazı (Biyogaz) kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi .	43
4.3.6. Kalsit kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
5.1. Sonuçlar.....	45
5.2. Öneriler	46
6. KAYNAKLAR	48



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sera gazı emisyonu izleme yöntemleri.....	9
--	---



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Küresel ısınma potansiyelleri	7
Çizelge 3.1. İşletmenin yakıtların yanması kaynaklı toplam faaliyet kapasitesi.....	18
Çizelge 3.2. İşletmenin emisyon kaynakları.....	19
Çizelge 3.3. İşletmenin emisyon noktaları	19
Çizelge 3.4. Hesaplama faktörlerinin belirlenmesinde gerekli olan kademelerin İ ve R Tebliğinde tanımlanan bölümleri.....	24
Çizelge 4.1. İzleme planı ve emisyon raporlarında ulusal envanteri kullanacaklar için NKD ve EF tablosu.....	27
Çizelge 4.2. Doğalgaz için kaynak akışının belirlenmesi.....	28
Çizelge 4.3. Doğalgaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi	28
Çizelge 4.4. Doğalgaz için tahmini emisyonun hesaplanması	29
Çizelge 4.5. Kömür için kaynak akışının belirlenmesi.....	29
Çizelge 4.6. Kömür için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi	30
Çizelge 4.7. Kömür için tahmini emisyonun hesaplanması	31
Çizelge 4.8. LPG için kaynak akışının belirlenmesi	31
Çizelge 4.9. LPG için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi.....	31
Çizelge 4.10. LPG için tahmini emisyonun hesaplanması	32
Çizelge 4.11. Motorin için kaynak akışının belirlenmesi	32
Çizelge 4.12. Motorin için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi	33
Çizelge 4.13. Motorin için tahmini emisyonun hesaplanması.....	33
Çizelge 4.14. Biyogaz için kaynak akışının belirlenmesi.....	34
Çizelge 4.15. Biyogaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi	34
Çizelge 4.16. Biyogaz için tahmini emisyonun hesaplanması	35
Çizelge 4.17. Kalsit için kaynak akışının belirlenmesi	36
Çizelge 4.18. Kalsit için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi.....	36
Çizelge 4.19. Kalsit için tahmini emisyonun hesaplanması	36
Çizelge 4.20. Toplam tahmini sera gazı emisyon hesaplanması	37
Çizelge 4.21. Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	38
Çizelge 4.22. Kömür kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	40
Çizelge 4.23. LPG kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	41
Çizelge 4.24. Motorin kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi.....	42
Çizelge 4.25. Biyogaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	43
Çizelge 4.26. Kalsit kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi	44
Çizelge 4.27. Sera gazı emisyonun belirlenmesi	44
Çizelge 5.1. 2024 yılı tahmini ve hesaplanan toplam sera gazı emisyonun karşılaştırması	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

SİMGELER

°C	Santigrat Derece
m²	Metrekare
m³	Metreküp
Nm³	Normal Metreküp
Sm³	15°C’de ve 1,01325 bar mutlak basınçta, 1 metreküplük bir hacim dolduran ve Üst Isıl Değeri 9155 kcal olan Doğal Gaz miktarını ifade eder. 1 Sm ³ 10,64 kWh ’tır.
STD m³	15°C’de ve 1,01325 bar mutlak basınçta, 1 metreküplük bir hacim dolduran gaz miktarıdır. Isıl değer sınırlaması olmaksızın birim hacmi ifade eder.
t	Ton
Gg	Giga gram
TJ	Terajul
CO₂e	Karbondiyoksit Eşdeğeri
tCO₂e	Ton Karbondiyoksit Eşdeğeri
CO₂	Karbondiyoksit
CH₄	Metan
N₂O	Nitröz Oksit
HFCs	Hidrofluorokarbonlar
PFCs	Perfluorokarbonlar
SF₆	Kükürt Heksaflorür

KISALTMALAR

Bakanlık	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BM	Birleşmiş Milletler
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
İ ve R	Tebliği Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ
Yönetmelik	Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik
SEÖS	Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri
FV	Faaliyet Verisi
EF	Emisyon Faktörü
NKD	Net Kalorifik Değer
YF	Yükseltgenme Faktörü
DF	Dönüşüm Faktörü
LPG	Liquid Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)

1. GİRİŞ

Sanayileşme ile günümüzde fosil yakıtlara talep gün geçtikçe artmaktadır. Enerji üretimi süreçlerinde faydalanılan temel yakıtlar arasında biyokütle (odun), petrol, kömür ve doğal gaz yer almaktadır. Söz konusu yakıtların yanması sonucunda atmosfere salınan karbondioksit, metan ve nitröz oksitler sera gazı olarak tanımlanmakta ve yeryüzünün ısınmasında rol almaktadırlar (Savaş, 2021). İnsan etkinlikleri sonucunda, iklim değişikliği sorunu ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bunların başında sera gazları hızla artış göstermiştir. Hava sıcaklığı küresel olarak 20 y.y. da 0,4 °C ile 0,8 °C arasında artmıştır. Bu çalışmada bir işletmenin yıllık enerji kaynakları kullanımı sonucu sera gazı emisyonunun belirlenmesi için çeşitli yöntemler incelenmiştir. Bu işletme için en doğru yöntemin hesaplama temelli yöntem olduğuna karar verilmiştir.

Örnek işletmenin yıllık sera gazı emisyonunun belirlenmesinde, hesaplama temelli yöntem izlenmiştir. Sera gazı emisyonunun belirlenmesi için gerekli olan emisyon verileri toplanmıştır ve yıllık tahmini emisyon belirlenmiştir. Ardından işletmenin emisyon verilerini hesaplama temelli yöntem ile gerçek sera gazı emisyonu belirlenmiştir. Tahmin ve gerçek sera gazı emisyonu sonuçlarını karşılaştırılmıştır.

İşletmenin yıllık tahmin ve gerçek sera gazı emisyonu sonuçlarını karşılaştırılmıştır. Bu fark hesaplamalar ile emisyon kaynağından alınan verilerin daha spesifik ve daha doğru olmasından kaynaklıdır. İşletmeler emisyon kaynaklarının kontrollerini yapmayarak yerel veya ulusal verileri kullanması sonucunda emisyon verilerinin doğruluktan uzak kalma ihtimalinin yüksek olduğu görülmüştür.

Çevre kirliliği ve iklim değişikliği

İnsan doğal dengenin bir parçasıdır. Doğa ile uyum içindedir ve doğanın ona sunduğu kaynakları kullanır. Ama insanların istekleri ve tüketiciliği giderek artmaktadır. İnsan davranışlarındaki değişimler, daha konforlu ve rahat yaşam beklentisi, hızlı yaşam stilleri gibi olgular tüketimi artırmış, bu durum doğal kaynakların fütursuzca kullanımına kapı aralamıştır (Birpınar, 2023). Bunun sonucunda yaşadığımız çevrede kirlenmeler olmaktadır.

Nüfus artışı giderek hızlanmaktadır. Artan sanayileşme, kentleşme, bilinçsiz tarım ve kimyasal kullanım artmıştır. Sonuç olarak büyük oranda kirlenen hava, su ve toprak, canlılar için zararlı olabilecek boyutlara ulaşmıştır (Korkmaz, 2007).

(Pekin, 2006) çalışmasında “iklim ve hava durumunun farkından, iklim, uzun bir zaman periyodu içinde her gün gerçekleşen hava olaylarının toplamını ve ortalamasını temsil eder. Hava durumu kısa bir zaman periyodundaki atmosfer koşullarıdır şeklinde bahsetmiştir. İklim değişikliğinin en belirgin olayları sıcaklık, rüzgâr, yağmur ve kar yağışının değişimleridir.

İklimler; her zaman ya küresel ısınmada ya da küresel ısınma sürecinde olurlar. Sıcaklıkların sabit olması söz konusu değildir ve değişimleri de oldukça düzenlidir. Sıcaklıklar sabitlenirse yaşamın sonu gelmiş demektir (Aksay vd., 2005). İklim ortalama bir sıcaklık değeridir ve bu denge ile ekosistem çeşitlilik kazanmaktadır (Savaş, 2021).

Doğal afetler yaralanmalara ve altyapı hasarlarına yol açarken, hava kirliliği ve küresel ısınma da cerrahi hastalıkları artırabilir ve daha kötü sonuçlara zemin hazırlayabilir (Martins vd., 2023).

1970’ten sonra yenilenebilir enerji popülerlik kazanmış ve bu yönde dönüşüm başlamıştır. Bu dönüşümde petrol krizleri etkilidir. Kalkınma kavramı, bu döneme kadar ekonomik büyüme demekken bu dönemden sonra olarak değişiklik göstermektedir (Ayhan, 2010).

Dünyanın enerji dengesinin değişmesi ile küresel ısınma meydana gelir. Doğal etmenlerden çok insan faaliyetleri sonucu atmosferdeki miktarları hızla artan sera gazları, günümüzde küresel ısınma ve buna bağlı olarak da küresel iklim değişikliği problemini çevre sorunları arasında üst sıralara taşımıştır (Güler, 2018).

Uluslararası organizasyonlar, kurumlar, birlikler ve sivil toplum kuruluşları çevre bilinci için ortak hareket ederler. Çevre ve iklim değişikliği konusunda en aktif görev Birleşmiş Milletlerdir (Ayhan, 2010).

İklim değişikliği ile uluslararası mücadeleler devam etmektedir. Örnek olarak 1992 yılında imzaya açılan ve 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve 1997 tarihli Kyoto Protokolü ve 2015 yılında Paris’te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansında kabul edilen Paris Anlaşmasıdır (Yenice, 2020).

İklim değişikliği ile ilgili protokoller

Kyoto Protokolü, 1997 senesinde kabul edilip 2005 senesinde yürürlüğe girmiştir. 2008 ile 2012 seneleri arası I. Taahhüt Dönemi, 2013 ile 2020 seneleri arasındaki döneme II. Taahhüt Dönemi olarak adlandırılmıştır.

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanunu 5 Şubat 2009 tarihinde TBMM tarafından 5836 sayılı kanun ile onaylanmış ve 17 Şubat 2009 tarih ve 27144 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Kyoto Protokol’ünün yükümlülüklerini 2008 ve 2012 yılları arasındaki süreçten Türkiye muafı ve 2012 yılı sonrasında uygulamakla sorumludur. Protokol yükümlülükleri yerine getirirken, küresel iklim değişikliğinin yarattığı sorunlara ülke geneli ve dünya çapında olumlu katkıda bulunmaya başlamıştır.

Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris’te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı’nda kabul edilmiştir. Türkiye, Paris Anlaşması’nı, 22 Nisan 2016 da imzalanmıştır ve 7 Ekim 2021 de Cumhurbaşkanı Kararı ile onaylanmıştır.

Ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasına ilişkin Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi 1985 yılında kabul edilmiştir. Türkiye Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü’ne 1991 yılında taraf olmuştur. 28. Taraflar Toplantısı’nda Üzerinde Mutabakata Varılan Montreal Protokolü’ne Yönelik Değişikliğin (Kigali Değişikliği-2016) Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun 11 Mart 2021 tarihli ve 31420 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Anonim 1, 2023).

Sera gazları ve çevreye etkisi

Dünyamız, üzerine düşen Güneş ışınlarının yanında, Dünya’dan yansıyan Güneş ışınlarıyla da ısınır. Dünya’dan yansıyan Güneş ışınlarının atmosferde absorbe olma olayına sera etkisi denmektedir.

Dünya’dan yayılan uzun dalga radyasyonlar belirli gazlar tarafından depolanarak sera etkisini oluşturur. Bu sayede ortalama küresel sıcaklık -18 °C’ den 15 °C çıkmaktadır ve Dünya yaşanabilir sıcaklığa oluşmuş olur. Sera gazları Güneş’ten gelen ışınları hem absorbe eden hem de yayan, atmosferin doğal ve antropojenik bileşenlerindendir.

Sanayi devriminden sonra sera gazlarındaki artış Dünya’yı gerektiğinden fazla ısıtmasına neden olmuştur. Bir sera gazının sera etkisine yaptığı katkı, ne kadar ısıyı soğurduğuna, ne kadarını yeniden yaydığına ve atmosferde ne kadar bulunduğuna bağlıdır (Büyükcem ve Bedük, 2023).

Sera gazların artmasıyla doğal olarak sera etkisinin miktarı artmaktadır. İnsan kaynaklı sera gazlarının takip edilmesi ve kullanım miktarlarının azaltılması veya tekrar tekrar kullanılması sağlanmalıdır. Fosil yakıtları ilk sırayı almaktadır. Birçok ülkede elektrik üretimi hala fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu nedenle, insanlar elektrik tüketimlerine dikkat etmedikçe, doğaya karbondioksit salınımına katkıda bulunmaktadırlar (Ertuğrul, 2023).

Sera gazlarının atmosferdeki miktarına sera gazı emisyonu denir. Sanayi devrimiyle birlikte artan insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki sera gazı miktarı artmaktadır. Sera gazları ile dünyamız ısınmakta ve bu da iklim değişikliğine sebebiyet vermektedir.

Atmosferin troposfer tabakasının sera gazları kaynaklı ortalama sıcaklığının üzerine çıkması sonucu küresel ısınma meydana gelmektedir. CO₂, diğer sera gazlarına göre atmosferde ısı tutma kapasitesi düşük ancak emisyon hacmi büyük olduğundan küresel ısınmanın ana nedenidir (Dinar, 2023).

Sera gazı emisyonu, insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki sera gazı yoğunluğunda meydana gelen artışı ifade eder. Emisyonlar genellikle uluslararası standartlar doğrultusunda karbondioksit eşdeğeri (tCO₂e) birimiyle hesaplanır. Bu hesaplama, farklı gazların iklim üzerindeki etkilerini büyük bir ölçüte dönüştürerek kurumların, şehirlerin ve ülkelerin karbon ayak izlerini karşılaştırılabilir hale getirir.

2006 IPCC Kılavuzlarında Enerji, endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı, tarım, arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılık ve atık sektörleri tanımlanmıştır (Anonim 2, 2023).

(Soni vd., 2023) alışmasında “COVID-19 pandemi sürecinde, toplu karantinaların olduğu dönemde sera gazı salınımının azaldığını” gözlemlemiştir.

Atmosferde sera gazları aracılığıyla ısının tutulması olayı dünyamızın sıcaklığını koruduğundan tarımsal faaliyetlerdeki gibi sera etkisi gündeme gelmektedir (Uğur, 2021).

(Seyedabadi vd., 2023) çalışmasında “sera gazı emisyonlarının kaynakları üzerine bugüne kadar çok sayıda çalışmaların olduğunu” belirtmiştir.

Kyoto Protokolünde, Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Nitröz Oksit(N₂O), Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar (PFCs) ve Kükürt Heksaflorür (SF₆) sera gazı olarak adlandırılmıştır.

Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit, bir karbon ve iki oksijen atomundan oluşan kovalent bağlı ve normal koşullarda gaz halinde bulunan bileşiktir. Molekül ağırlığı 44,009 g/mol' dür. Havadan ağır, kokusuz, renksiz, toksik olmayan ve kolayca sıvılaştırılabilen bir gazdır.

Antropojenik sera etkisinin yaklaşık %40-60' ının CO₂ den kaynaklandığını kabul edilir (Aksay vd., 2005).

CO₂, atmosferde doğal olarak bulunan fakat insan faaliyetleri sonucu konsantrasyonu hızla artan temel sera gazlarından biridir. Atmosferdeki CO₂ oranı coğrafi konum ve çevresel etmenlere bağlı olarak daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bunların yanı sıra çevre bilincine sahip insanların önlemleri ile farklı konumlarda bu konsantrasyonun daha az olduğu bölgelerde vardır. Atmosferdeki CO₂ miktarının fazla olduğu alanlarda sıcaklık diğer alanlara göre daha fazla olmaktadır bunun sonucunda iklim değişikliği yaşanmaktadır. Buna bağlı bölgesel kuraklık, sel baskınları gibi doğal afetler yaşanmaktadır.

Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarındaki değişiklikler, uzun ve kısa vadeli faktörden etkilenir. Örnek olarak nüfus, teknoloji değişikliği ve mevsim değişikliğidir.

Karbon ayak izi oluşturan gazların başında CO₂ gelmektedir. Bu nedenle diğer gazların karbondioksit eşdeğeri olarak veya birim başına düşen karbondioksit eşdeğeri olarak alınıp, karbon ayak izi hesaplanmaktadır.

Metan (CH₄)

Metan, bir karbon ve 4 hidrojen atomunun birleşmesi ile olan bileşiktir. Kokusuzdur ve normal koşullarda gaz formundadır. Atmosferde bulunan metanın üçte ikisi insan faaliyetleri ile organik atık parçalanmasından dolayı oluşmaktadır. Üçte biri doğal yollarla bataklıklar tarafından oluşur.

Küresel ısınmaya neden olan gazların ikinci sırasında metan gazı vardır ve bu diğer gazların yaklaşık beşte birini oluşturur. Organik maddelerin oksijensiz ortamda (anaerobik koşullarda) ayrışması sonucunda metan gazı oluşur. Karbondioksite göre 28 kat daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır.

Doğal süreçlerin haricinde pirinç tarımı, arıtım tesisleri ve çöp toplama alanları ve doğal olarak bataklık ve hayvanların üretmiş olduğu gübreler sonucunda yüksek miktarda oluşur. Dünya çapındaki ısınma anaerobik çürümeyi de hızlandırmış ve CO₂ kadar, metan gazı üretimini de artırmıştır.

CH₄'ün antropojenik kaynakları arasında doğal gaz ve petrol sistemleri, tarımsal faaliyetler, çöp sahaları, kömür madenciliği, atık su arıtımı, sabit ve mobil yanma ve bazı endüstriyel prosesler yer almaktadır.

Anaerobik sindirimden elde edilen metan, alternatif yakıtların yerini alarak enerji üretimi için yakıt olarak kullanılabilir (Anonim 3, 2025).

Nitröz oksit (N₂O)

Yaygın adı nitröz oksit olan kimyasalın, kimyasal olarak diazot monoksittir. Doğada gaz halinde bulunmaktadır. NO bileşiğinin kimyasal nitelikteki etkinliği çok yüksektir. Bu nedenle havada bulunan ozon ile tepkimeye girerek N₂O bileşiğini oluşturmaktadır. Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

N₂O emisyonlarının başlıca kaynağı, Tarımsal toprak yönetimi ve mobil yakıt yakmadır. Diazotmonoksit (N₂O), toprak ve suda meydana gelen biyolojik süreçler ve tarımsal, enerjiyle ilgili, endüstriyel ve atık yönetimi alanlarındaki çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu üretilir.

Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar (PFCs) ve Kükürt Heksaflorür (SF₆)

SF₆, HCs, PFCs ve CFCs yüksek ısınma potansiyeline sahip sera gazlarıdır. Atmosferde bulunan ısıyı yüksek yakalama kapasitelerine sahiptir. Ve atmosferde çok uzun süre kalabilirler. Alüminyum üretiminde, magnezyum üretiminde, buzdolabı üretiminde ve spreylere kullanımı mevcuttur. Kloroflorokarbonlar ise spreylere, soğutucular ve yalıtım malzemeleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Diğer gazlara göre daha sınırlı alanlardan meydana gelir. Çoğunlukla modern dünyanın getirdiği sanayi dalları nedeniyle salınır.

Sera gazı hesaplama yöntemleri ve izleme yöntemlerinin seçimi

Atmosfere salınan toplam sera gazı miktarını hesaplamak için bütün gazları temsilen tüm gazların salınımlarını karbondioksite dönüştürülür. Bu birime eşdeğer karbondioksit (CO₂e) denir. Karbondioksit eşdeğeri (CO₂e), her bir gazın iklim değişikliği üzerindeki etkisine göre farklı yoğunluktaki sera gazı miktarlarının bir araya getirilmesine olanak sağlayan standart birimdir (Anonim 4, 2009).

Çeşitli gazların eşdeğer CO₂ olarak hesaplanabilmesinde kullanılan ve her gaz için farklı olan faktöre gazın Küresel Isınma Potansiyeli denir. Çizelge 1.1'de küresel ısınma potansiyelleri görülmektedir.

Çizelge 1.1. Küresel ısınma potansiyelleri (Anonim 5, 2023)

Yalnızca Kyoto Ürünlerini İçeren Emisyonlar			
Aktivite	Emisyon	Birim	kg CO ₂ e
Kyoto Protokolü Ürünleri	Karbondiyoksit	kg	1
	Metan	kg	28
	Nitröz Oksit	kg	265
	HFC-23	kg	12400
	HFC-32	kg	677
	HFC-41	kg	116
	HFC-125	kg	3170
	HFC-134	kg	1120
	HFC-134a	kg	1300
	HFC-143	kg	328
	HFC-143a	kg	4800
	HFC-152a	kg	138
	HFC-227ea	kg	3350
	HFC-236fa	kg	8060
	HFC-245fa	kg	858
	HFC-43-10mee	kg	1650
	Perfluoromethane (PFC-14)	kg	6630
	Perfluoroethane (PFC-116)	kg	11100
	Perfluoropropane (PFC-218)	kg	8900
	Perfluorocyclobutane (PFC-318)	kg	9540
	Perfluorobutane (PFC-3-1-10)	kg	9200
	Perfluoropentane (PFC-4-1-12)	kg	8550
	Perfluorohexane (PFC-5-1-14)	kg	7910
	PFC-9-1-18	kg	7190
	Perfluorocyclopropane	kg	9200
	Kükürt Heksaflorür (SF ₆)	kg	23500
	HFC-152	kg	16
	HFC-161	kg	4
	HFC-236cb	kg	1210
	HFC-236ea	kg	1330
	HFC-245ca	kg	716
	HFC-365mfc	kg	804
	Nitrojen Triflorür	kg	16100

Eşitlik (1.1) 'de görüldüğü üzere karbondiyoksit eşdeğeri (CO₂e), sera gazının kütesinin, küresel ısınma potansiyeli (GWP) ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$CO_2e = K\ddot{u}tle \times K\ddot{u}resel\ Is\ddot{u}nma\ Katsayısı \quad (1.1)$$

Sera gazı emisyonları, faaliyet verilerinin (FV) (Yakıt Tüketimi, Elektrik Tüketimi, Tarım Alanları İçin Kullanılan Gübre Miktarları vb.) ile Emisyon Faktörleri (kilogram CO₂e/aktivite) çarpılmasıyla hesaplanır (Savaş, 2021).

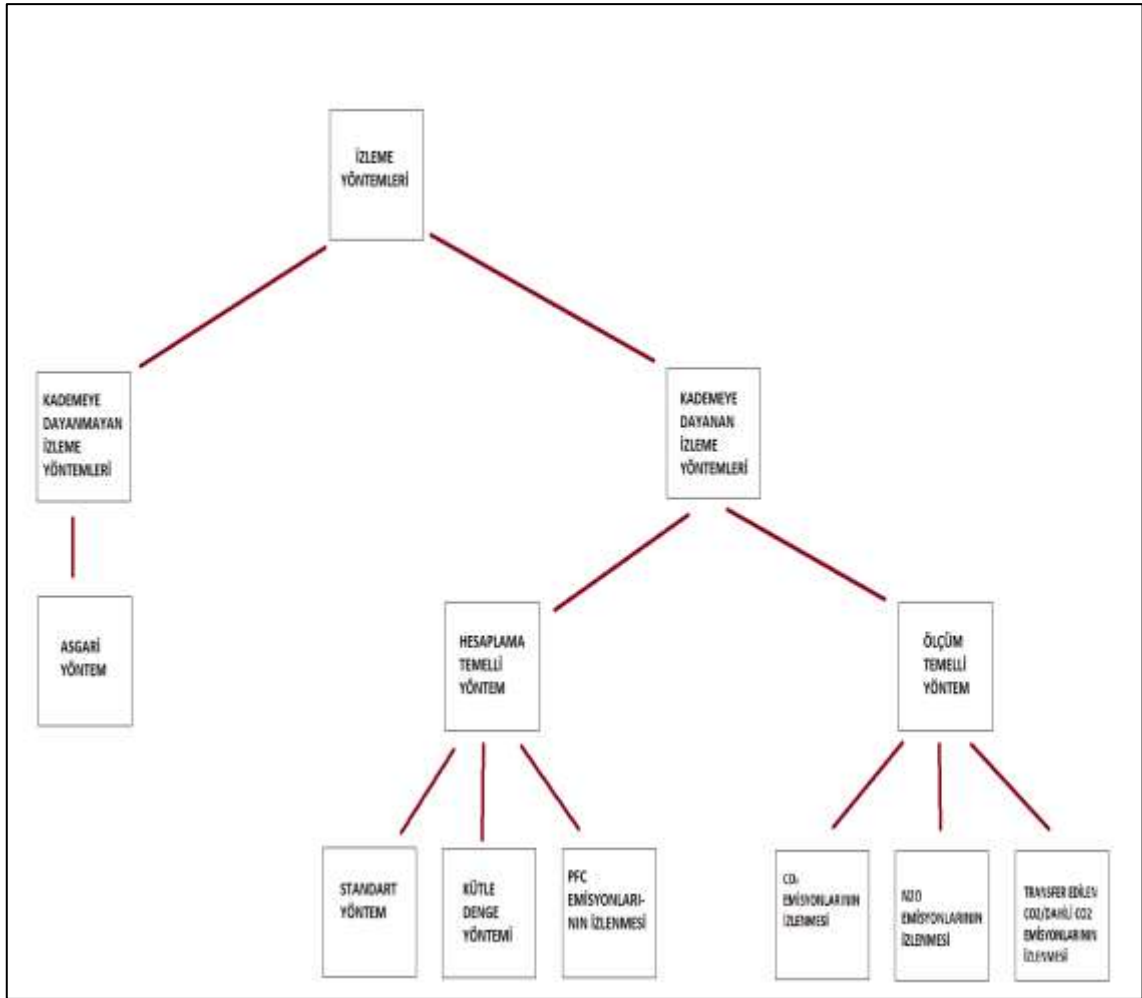
Sera gazı hesaplamalarında kişi, kurum ve kuruluşların tüketim miktar bilgileri baz alınarak hesaplama yapılmaktadır. (Yasar ve Yalçın, 2023) çalışmasında da dediği gibi “gönül beyanlar ampirik hesaplamalarda büyük ölçüde belirsizliğe neden olduğunu” belirtir.

İklim değişikliğinin önüne geçmek için alınacak en önemli önlemlerden biri sera gazı hesaplamadır. Bu işlem, sera gazı emisyonlarının kaynaklarını ve miktarlarını belirlemenize yardımcı olur. Hesaplama sonucunda emisyonların izlenmesi ve azaltılması caydırıcı rol oynar.

Sera gazı emisyonlarını hesaplamak işletmelerin sürdürülebilirlik hedefleri olan; kaynak kullanımı, atık yönetimi, yenilenebilir enerji kaynakları ve sera gazı salınımının azaltılmasına teşvik eder. Bu sayede çevre korunmuş ve iklim değişikliğine karşı harekete geçilmiş olur.

İzleme yöntemleri; ikiye ayrılır. Bunlar kademeye dayanan ve kademeye dayanmayan yöntemdir. Kademe; faaliyet verilerinin, hesaplama faktörlerinin, yıllık emisyonların ve yıllık ortalama saatlik emisyonların belirlenmesine ilişkin koşulları ifade etmektedir (Anonim 6, 2014).

Kademeye dayanmayan yöntem, asgarî yöntemdir. Kademeye dayanan izleme yöntem, hesaplama ve ölçüm temelli yöntemdir. Bu yöntemler arası seçim tesis tarafından belirlenir. Şekil 1.1. de sera gazı emisyonu izleme yöntemleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Sera gazı emisyonu izleme yöntemleri

Asgarî yöntem

Kademeye dayanmayan tek yöntem, asgarî yöntemdir. Bu yöntemin belirlenmesi için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır.

- Hesaplama emelli yöntem kapsamında, bir veya birden fazla ana kaynak akışı veya küçük kaynak akışı için en az kademe 1 kriterlerinin uygulanmasının ve aynı kaynak akışları ile ilişkili olan en az bir emisyon kaynağı için ölçüm temelli yöntemin teknik olarak uygulanmadığı,
- İşletmenin, ulusal veya uluslararası düzeyde tanınan eşdeğer standartlara riayet ederek, yıllık emisyon hesaplamalarında kullanılan tüm parametrelerin belirsizliklerini yıllık periyotlarla analiz edip karakterize etmesi ve elde edilen sonuçları yıllık emisyon raporuna dahil ettiği,
- İşletmenin, uygulanan asgari metodoloji vasıtasıyla, tesis genelindeki yıllık sera gazı emisyon miktarına dair hesaplanan toplam belirsizlik limitinin; A

kategorisindeki tesisler için belirlenen %7,5, B kategorisindeki tesisler için belirlenen %5,0 ve C kategorisindeki tesisler için belirlenen %2,5 oranlarını geçmediğini gösterdiği (Anonim 6, 2014).

Hesaplama temelli yöntem

İşletme, hesaplama temelli yöntemi, CO₂ emisyonlarını sürekli ölçüm temelli sistemlerini kullanarak bildiremediği durumlarda kullanır. Ayrıca faaliyet verisi üzerinden sera gazı emisyonlarının hesaplanması yaklaşımına denir. PFC emisyonları için hesaplama temelli, N₂O emisyonları için ölçüm temelli yöntemle belirler.

Hesaplama temelli yöntem seçildikten sonra CO₂ emisyonlarının hangi yöntemle izleneceği belirlenir. Kademeler, faaliyet verilerinin ve hesaplama faktörlerinin tespit edilmesinde gerekli olan koşulları belirler (Anonim 7, 2021).

Standart yöntem

Standart yöntem yaklaşımı; faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının faaliyet verilerinin bir hesaplama faktörü ve diğer faktörler ile çarpılarak hesaplanmasıdır (Anonim 7, 2021).

CO₂ emisyonları kaynaklarına göre; yakıtların yanması dolaylı olanlar “Yanma Emisyonları”; prosesten dolaylı olanlar “Proses Emisyonları” başlıklarında detaylandırılmıştır.

Yanma emisyonları

Yakıtların yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları standart yöntemde; Eşitlik (1.2)’de gösterildiği üzere kaynak akışı başına NKD’nin terajul (TJ) olarak ifade edildiği yanan yakıt miktarı ile ilgili faaliyet verisi NKD kullanımı ile tutarlı olan ve terajul başına ton CO₂ (tCO₂/TJ) olarak ifade edilen ilgili emisyon faktörü ve ilgili yükseltgenme faktörü ile çarpılarak hesaplanır (Anonim 6, 2014).

$$\text{Emisyon} = \text{FV} \times \text{NKD} \times \text{EF} \times \text{YF} \quad (1.2)$$

$$\text{Emisyon} = [\text{tCO}_2]$$

$$\text{FV} = \text{Faaliyet Verisi} [\text{TJ, t ya da Nm}^3]$$

$$\text{NKD} = \text{Net Kalorifik Değer} [\text{TJ/Gg}]$$

$$\text{EF} = \text{Emisyon Faktörü} [\text{tCO}_2/\text{TJ, tCO}_2/\text{t ya da tCO}_2/\text{Nm}^3]$$

$$\text{YF} = \text{Yükseltgenme Faktörü} [-]$$

Proses emisyonları

Proses emisyonlarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını standart yöntemde, Eşitlik (1.3)'de gösterildiği üzere kaynak akışı başına, malzeme tüketimi, hammadde miktarı veya üretim çıktısı ile ilgili emisyon faktörü ve dönüşüm faktörü ile çarparak belirlenir (Anonim 6, 2014).

$$\text{Emisyon} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{DF} \quad (1.3)$$

FV = Faaliyet Verisi [TJ, t ya da Nm³]

EF = Emisyon Faktörü [tCO₂/TJ, tCO₂/t ya da tCO₂/Nm³]

DF = Dönüşüm Faktörü [-]

Kütle denge yöntemi

Tesislerde genellikle kullanılan yakıt ya da malzeme direkt olarak emisyonla bağlantılıdır. Ancak, bazı tesislerde (örneğin; entegre demir-çelik tesisleri) girdi malzemeleriyle emisyonları ilişkilendirmek zor olabilmektedir. Bu durumlarda kütle denge yöntemi kullanılmaktadır. Kütle denge yöntemi kullanılırken kütle dengesi tarafından kapsanan tüm kaynak akışları göz önünde bulundurulmalıdır.

Tesis sınırlarına giren ve sınırlarından çıkan karbon miktarı temel alınarak Eşitlik (1.4)'deki gibi kütle denge yöntemiyle hesaplanır.

$$\text{Emisyon} = (\text{Toplam Giren Karbon Miktarı} - \text{Toplam Çıkan Karbon Miktarı}) \times f \quad (1.4)$$

$$f = 3,664 \text{ tCO}_2/\text{tC}$$

Eşitlik (1.5) 'de olduğu gibi her kaynak akışı için emisyon miktarı hesaplanır. Kütle Denge Yöntemi kullanıldığı durumlarda tesiste CO akışı varsa, CO₂ molar eşdeğer miktarı olarak kütle dengesinde hesaplanır (Anonim 6, 2014).

$$\text{Emisyon} = \Sigma(f \times \text{FVi} \times \text{Ci}) \quad (1.5)$$

tCO₂/TJ olarak ifade edilen emisyon faktörleri için: $C = (\text{EF} \times \text{NKD}) / f$

tCO₂/Nm³ veya tCO₂/t olarak ifade edilen emisyon faktörleri için: $C = \text{EF} / f$

$f = 3,664 \text{ tCO}_2/\text{tC}$ (İ ve R Tebliği Madde 23 (1))

EF = Emisyon Faktörü [tCO₂/TJ, tCO₂/t ya da tCO₂/Nm³]

NKD = Net Kalorifik Değer [TJ/t veya TJ/Nm³]

FV = Faaliyet Verisi [t]

C = Karbon içeriği [-]

Eşitlik (1.5)'de kullanılan faaliyet verisi (FV) birimi ton olarak kullanılmaktadır. Gaz halindeki kaynak akışı için hacim verisi kütleyle çevirmek için yoğunlukla çarpılır. Karbon içeriği (C), ton kaynak akışı için ton karbon miktarını belirler.

PFC emisyonlarının izlenmesi

Birincil alüminyum üretimi faaliyetinden ortaya çıkan CF_4 ve C_2F_6 gazlarını hesaplama temelli yöntem ile PFC (perflorokarbon) emisyonları olarak izlenir.

PFC emisyonları, kanalın toplama verimliliğini kullanarak kaçak emisyonlardan hesaplanmasının yanı sıra, kanaldaki veya bacadaki (noktasal kaynaklı emisyonlar) ölçülebilen emisyonlardan da hesaplanır (Anonim 6, 2014).

Ölçüm temelli yöntem

Ölçüm temelli yöntem; CO_2 konsantrasyonunun ve transfer edilen gazların akışının ölçüldüğü ve tesisler arasında CO_2 transferinin izlendiği durumlar da dahil olmak üzere, baca gazında ve baca gazı akışında ilgili sera gazı konsantrasyonunun sürekli ölçülmesi ile emisyon kaynaklarından emisyonların belirlenmesi olarak tanımlanır (Anonim 6, 2014).

Sürekli emisyon ölçüm sistemlerine (SEÖS) dayalı yöntem, ölçüm temelli yöntemdir. Sürekli ölçüm cihazlarını ve onlardan gelen verilerin kontrolü sağlanmak koşulu ile emisyon noktalarından sera gazına ait ölçümlerin yapılması ile işletme ölçüm temelli yöntemde izlenebilir.

CO_2 emisyonlarının izlenmesi

Ölçüm temelli yöntemde tesis, SEÖS'ü kullanarak sera gazı emisyonlarını izler. CO_2 emisyonlarının belirlenebilmesi için CO_2 emisyonlarının gerçekleştiği ünitelerde ölçüm noktalarının ve ölçüm cihazlarının bulunması gerekmektedir. Tesiste SEÖS'ün olmadığı noktalarda hesaplama temelli yöntem de kullanılabilir.

N_2O emisyonlarının izlenmesi

Nitrik asit, adipik asit, gliksal ve gliksilik asit üretiminden kaynaklanan N_2O (diazot oksit) emisyonları ölçüm temelli yöntemle izlenir.

İşletme, N₂O emisyonlarına neden olan her faaliyet için, N₂O emisyonuna neden olan bütün kaynakları değerlendirir (Anonim 6, 2014).

Yakıtların yakılması faaliyetlerinden kaynaklanan N₂O emisyonları kapsama girmemektedir.

İzleme yöntemlerinin birleştirilmesi

Sera gazı emisyonları üç temel yöntem (hesaplama temelli yöntem, ölçüm temelli yöntem ve asgarî yöntemdir) ile izlenmektedir.

Hesaplama ve ölçüm temelli yöntemin seçimi, işletmeye bırakılmıştır. Asgarî yöntemin kullanılması ise belirli şartlara bağlıdır. Sera gazı emisyonu hesaplanmasında veri tekrarı ve/veya veri kaybı oluşmadan izleme yöntemlerini birleştirerek kullanabilir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atabey (2013) çalışmasında “Diyarbakır ilini çalışma aralığı olarak belirleyerek, 1998-2013 yılları arasında çevre kirliliği trendini incelemiştir. Bu kirliliği ısınma, endüstriyel faaliyetler ve trafik kaynaklı emisyonlar olduğundan bahsetmektedir. Çalışmasında 2011-2013 yılları arasında Diyarbakır iline kayıtlı araç verilerini kullanmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında; Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yöntemlerinin nasıl uygulanacağını” anlatmıştır. Fakat Tier 3 yöntemi daha bilgiye ihtiyaç duyması ve istenilen dokümanların ulaşılamamasından dolayı bu çalışma da sadece Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımı kullanılmıştır. Ulaşım sektörlerinin emisyonları Tier 2 yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Endüstriyel kuruluşlar için birkaç örnek vererek emisyon hesaplamaları için Tier 2 yaklaşımı kullanılmıştır.

Aşır (2024) çalışmasında “emisyon kaynaklarını belirledikten sonra Hesaplamalarını iki aşamalı olarak gerçekleştirmiştir. İlk aşamada faaliyet verisi ile emisyon faktörünü çarparak sera gazı emisyonu verilerini bulmuştur. İkinci aşama olarak IPCC 6 belirtilmiş olan küresel ısınma değerlerini referans alarak tCO₂e olarak sera gazı emisyon hesaplamıştır.” Toplam sera gazı emisyonu hesaplamasını yaparken kategori 1: doğrudan sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve kategori 2: enerji dolaylı sera gazı emisyonlarının hesaplanması 2 başlık altında” toplamıştır. Tesisin kategori 1 ve kategori 2 doğrultusunda 2021 yılında sera gazı emisyonu 38.243,5 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Toplam emisyonların %62,77’si doğrudan sera gazı emisyonlarından, %37,23’lük kısmı ise enerji dolaylı sera gazı emisyonlarından oluşmaktadır.

Orhan (2018) çalışmasında “bir çimento fabrikasını pilot tesis seçmiştir. Bu tesiste ilk olarak 2015, 2016 ve 2017 yılları için IPCC kılavuzunda yer alan Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yöntemleriyle yakıt ve proses emisyonları için sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Yakıt emisyonları için belirsizlik Tier 1 ve Tier 2’ de % 20-24 arasında değişiklik gösterirken, Tier 3’ de % 7,3’ dir. Proses emisyonlarında ise, Tier 1 ve Tier 2’ de % 8 civarında iken, Tier 3 için % 3 civarında olduğu” bulunmuştur. Belirsizlikler değerlendirildiğinde Tier 3’ ün en güvenilir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Cement Sustainability Initiative (Çimento Sürdürülebilirlik Girişimi); 100’den fazla ülkede faaliyet gösteren 24 büyük çimento üreticisi tarafından oluşturulmuş küresel bir çalışmadır. Çimento üreticilerine CO₂ emisyonlarının hesaplanması bir Excel dosyası iletilir ve firmalar gerekli verileri işlerler. Bunun sonucunda otomatik olarak CO₂ hesabı yapmaktadır. CSI hesaplama aracı ile yapılan emisyon sonuçları ile Tier 3’ ün benzerlik

göstermesi de yine Tier 3 metodunun güvenilirliğini doğrulamaktadır. CSI için sürekli veri takibi yapılmalıdır.

Ekinci (2022) çalışmasında “Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerinin kullanılması ile sera gazı emisyonu hesaplanması hakkında bilgi verilmesinin yanı sıra CCALC2 hesaplama yöntemi, NGA Hesaplama yöntemi ve GPS-X hesaplama yöntemi hakkında bilgi paylaşmış olsa da hesaplamalarını yine de Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerinin kullanarak” yapmıştır. Bursa iline ait 2020 yılı karayolları nedenli CO₂ emisyon değerleri Tier 1 yöntemiyle hesaplandığında 3.233 GgCO₂ iken, Tier 2 yöntemiyle hesaplandığında 17.585 GgCO₂ bulunmuştur. Hesaplama farkının nedeni hesaplamalardaki formülasyon detayları olduğu tahmin edilmektedir. Çünkü Tier 2 yönteminde Tier 1’den farklı olarak araç sayıları, yakıt türleri ve tüketim miktarları daha önemlidir. Tier 1 genel, Tier 2 detaylı bir hesaplama yöntemidir. Tier 2 de kullanılan veriler daha detaylı ve gerçekçi değerlerdir.

Savaş (2021) çalışmasında, “çalışma alanı olarak belirlediği ilçenin belediyesinden almış olduğu veriler doğrultusunda 2018, 2019 ve 2020 yılı için hesaplamalarını kapsam 1, kapsam 2 ve kapsam 3 başlıkları ile yapmıştır. Sera gazı emisyonuna en fazla etken sırası ile ulaşım sektörü emisyon, endüstriyel emisyon, konutlarda kullanılan elektrik ve yakıt kaynaklı emisyon ayrıca ticari, resmi elektrik ve yakıt kullanımına bağlı oluşan emisyonu” olduğunu belirtmiştir. IPCC Tier 1 yöntemine göre toplam karbon ayak izi 137.404,94 kg CO₂, DEFRA yöntemine göre ise 104.826,96 kg CO₂ olarak belirlenmiştir. Analiz kapsamında, doğalgazdan kaynaklı emisyonların en yüksek değere sahip olduğu; bunu sırasıyla elektrik tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonların takip ettiği görülmüştür. Karbon ayak izi hesaplamalarının daha doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi amacıyla Monte Carlo Simülasyonu (10.000 iterasyon) uygulanmış; simülasyon sonucunda IPCC yöntemi için ortalama emisyon değeri 131.895,5 kg CO₂, standart sapma 3.685,7 kg CO₂, minimum değer 124.555 kg CO₂ ve maksimum değer 139.163 kg CO₂ olarak elde edilmiştir

Söyler (2025). Monte Carlo Simülasyonu ve buna benzer programlar Tier metotları ile karşılaştırılarak doğruluğa yakınlığının tespit edilmesi sonucunda sera gazı emisyon hesaplamalarında kullanılabilirler.

Yavuz vd. (2023) bu çalışmada “çalışma alanı olarak Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Karacaoğlan yerleşkesinin seçilerek 2019, 2020 ve 2021 karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 14064-1 standardı ve Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Ulusal Sera Gazı Envanteri Yönergelerinden elde edilen

emisy on faktörleri kabul alınmıştır. 2019, 2020 ve 2021 yılı hesaplamalarında tüketim verileri kullanılmıştır. 2019 yılında kapsam-1 ve kapsam-2 emisyonları toplamı 2955.30 tCO₂e, 2020 yılında 1913.96 tCO₂e ve 2021 yılında ise 2659.14 tCO₂e olarak” hesaplanmıştır. COVID-19 pandemisi ile uzaktan eğitime geçilmiştir. Bu nedenle 2019 ve 2021 yılı tCO₂e verilerine karşın 2020 tCO₂e daha düşük hesaplanmıştır. Bu arada ısınmak için kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonun azalmasından kaynaklıdır. Yenilenebilir ısınma kaynakları ya da ısıyı koruma yöntemleri ile fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonun azaltılmasına devam edilebilir.

Büyükcam ve Bedük (2023) çalışmasında “Konya Gençlik Merkezi’nin 2022 yılı için toplam sera gazı ve karbon ayak izinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sera gazı emisyon kaynakları elektrik, doğalgaz, ulaşım kaynaklı yakıt (LPG, mazot, benzin) ve su tüketimidir. Emisyon hesaplamalarda kapsam 1 ve kapsam 2 olarak Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji” kullanmıştır. Çalışmada doğalgaz tüketiminden kaynaklı 45,63 tCO₂e, elektrik tüketiminden kaynaklı 22,5 tCO₂e ve araç kullanımından kaynaklı 13,43 tCO₂e tespit edilmiştir. Toplamda 2022 yılı için 82,46 tCO₂e/yıl olarak bulunmuştur (Büyükcam ve Bedük, 2023). Yapılan hesaplamalardan sonra Enerji verimliliği ve tasarrufu hakkında alınması gereken önlemler hakkında bilgi verilmiştir.

Üreden (2019) çalışma alanı için, IPCC (2006) kılavuzlarında belirtilen Kapsam 1, 2 ve 3 gruplarına giren ve ulaşılabilen bütün veriler toplanmaya çalışılmıştır. Elde edilen ham veriler hesaplama yapılabilecek şekilde düzenlenerek hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada; elektrik tüketimi, fosil yakıt tüketimi, personel seyahatleri, yangın tüplerinin yıllık kaçak miktarlarından oluşan salımlar, soğutucu ve iklimlendirme cihazlarından kaynaklı salımlar, özel ve toplu taşıma kaynaklı salımlar, kâğıt atıklardan kaynaklı salımlar olarak toplanan veriler hesaplamalara dâhil edilmiştir. Bunun yanı sıra geri dönüşümü sağlanan kâğıtlar salımdan düşülmüştür. Bunlardan hariç ağaçlandırmalar neticesinde oluşan ağaçlık alanlardan ölçümler yapılmış, ağaçların yıllık karbon tutma miktarları belirlenerek oluşan toplam salımdan düşülmüştür. Çalışmasının sonucunda hesaplamalar sonucunda sera gazı emisyonu 5.650,06 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Ağaçlandırma sonucundaki emisyon yutağı 16,93 ton CO₂ dur. Bu sayede gazı emisyonu 5.633,13 tCO₂e/yıl düşmüştür. Ağaçlandırmanın arttırılmasının önemi vurgulanmıştır.

Kabacıoğlu (2012) çalışmasında “sera gazı emisyon hesaplamalarının yapılacağı sanayi kuruluşunda IPCC hesaplama yöntemleri kullanarak emisyon hesaplamaları

sonucunda kaçak emisyon olarak tabir edilen prosese özgü emisyonların, yakma ya da araç kaynaklı doğrudan emisyonlardan daha yüksek miktarda olabileceği” belirtilmiştir.

Kaçmaz (2025) çalışmasında, “enerji türleri için sürdürülebilir enerji politikaları oluşturulması için somut öneriler sunmaktadır. Kömür ve petrol gibi yüksek karbon salımlı enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması ve ekonomik büyümenin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu şekilde yönlendirilmesi hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bulgular, politika yapıcılar ve araştırmacılar için iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir referans noktası” sunmaktadır.

Sancaklı (2024) çalışmasında “Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) Başkanlığı Tez Merkezi veri tabanında yer alan lisansüstü tezler “karbon ayak izi” kelimesi için araştırma yapmıştır. Karbon ayak izi konusunda 2008-2024 yılları arasında 104 tez üretildiğini; bu tezlerden 100 adedinin yüksek lisans tezi olduğunu; tezlerden 51’inin Çevre Mühendisliği Bölümlerinde yapıldığını göstermiştir. Çalışmalarda yerleşim, sanayi, ulaşım, kampüs alanı ve atıkların karbon ayak izi hesaplamalarına odaklanılmıştır. Türkiye’de karbon ayak izi konulu lisansüstü tezler, az sayıda bölümde, belirli konular temelinde ve özellikle karbon ayak izi hesaplamalarına odaklı olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle farklı bölümlerde, farklı konularda, daha çok sayıda yüksek lisans ve doktora tezine gereksinim bulunmakta olduğunu” belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

Konya ilinde bulunan 2.309.000 m² yüzölçümlü alan üzerinde, 157.000 m² yüzölçümlü kapalı alanda yer alan entegre tesisin 2024 yılı verileri kullanılmıştır.

3.1.1. Faaliyetlerin tanımı

Faaliyet, sera gazı emisyonlarına neden olan eylemlerdir. Bu tesiste fosil yakıtların yanması kaynaklı olarak sera gazı emisyonları oluşmaktadır.

- Doğalgaz kaynak akışı, doğalgaz kazanında yakıt olarak kullanılmaktadır. Doğalgaz ayrıca yemekhane de yakıt olarak kullanılmaktadır.
- Linyit kömürü kaynak akışı, kömürlü küspe kurutma tesisi ve 3 adet kömür kazanında yakılmaktadır.
- Motorin kaynak akışı, sabit ve seyyar jeneratörde, dizel yangın pompasında kullanılmaktadır.
- Biyogaz kaynak akışı, arıtma tesisinde anaerobic arıtım sonucunda oluşan biyogaz (arıtma çamuru gazı), buhar kazanı ve kömürlü küspe kurutma ünitesinde yakılarak enerjiye çevrilmekte ve fazla miktarı arıtma tesisi flare ünitelerinde yakılmaktadır.
- LPG kaynak akışı, boruhane atölyesinde kaynak işlerinde ve duruma göre yemekhane ve çay ocaklarında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1 de örnek işletmenin yakıtların yanması kaynaklı toplam faaliyet kapasitesi görülmektedir.

Çizelge 3.1. İşletmenin yakıtların yanması kaynaklı toplam faaliyet kapasitesi

Faaliyet Adı	Toplam Faaliyet Kapasitesi	Kapasite Birimi	Sera Gazları
Yakıtların yanması	310,127	MW(th)	CO ₂

3.1.2. Emisyon kaynağı

Tesiste emisyonlara sebep olan ünitelere veya proseslere, emisyon kaynağı denir. Çizelge 3.2 de işletmenin emisyon kaynakları verilmiştir.

Çizelge 3.2. İşletmenin emisyon kaynakları

Kaynak	İlişkili Faaliyetler
3 Adet Kömür Kazanı	Yakıtların yanması
3 Adet Buhar Kazanı	Yakıtların yanması
4 adet Jeneratör	Yakıtların yanması
2 adet Dizel Yangın Pompası	Yakıtların yanması
4 adet Ocak	Yakıtların yanması
2 adet Arıtma Flare	Yakıtların yanması
Kömürlü Küspe Kurutma Tesis	Yakıtların yanması
Misafirhane	Yakıtların yanması
Çiftçi yemekhanesi	Yakıtların yanması
İdari bina çay ocağı	Yakıtların yanması
Boruhane	Yakıtların yanması

3.1.3. Emisyon noktası

Emisyon kaynağının oluşturduğu sera gazı emisyonlarının, atmosfere salındığı noktaya emisyon noktası denilir. Emisyon kaynağının tespit edilmesinin devamında bu kaynakların emisyon noktaları belirlenir. Çizelge 3.3 de işletmenin emisyon noktaları görülmektedir.

Çizelge 3.3. İşletmenin emisyon noktaları

Emisyon Noktası	İlişkili Faaliyetler	İlişkili Emisyon Kaynakları	Sera Gazları
3 Adet Kömür Kazanı Bacası	Yakıtların yanması	3 Adet Kömür Kazanı	CO ₂
3 Adet Buhar Kazanı Bacası	Yakıtların yanması	3 Adet Buhar Kazanı	CO ₂
4 adet Jeneratör Egzozu	Yakıtların yanması	4 adet Jeneratör	CO ₂
2 adet Dizel Yangın Pompası Egzozu	Yakıtların yanması	2 adet Dizel Yangın Pompası	CO ₂
4 adet Ocak Havalandırma Bacası	Yakıtların yanması	4 adet Ocak	CO ₂
2 adet Arıtma Flare Bacası	Yakıtların yanması	2 adet Arıtma Flare	CO ₂
Kömürlü Küspe Kurutma Tesis Bacası	Yakıtların yanması	Kömürlü Küspe Kurutma Tesis	CO ₂
Misafirhane bacası	Yakıtların yanması	Misafirhane	CO ₂
Çiftçi yemekhane bacası	Yakıtların yanması	Çiftçi yemekhanesi	CO ₂
İdari bina çay ocağı	Yakıtların yanması	İdari bina çay ocağı	CO ₂
Boruhane Havalandırma Bacası	Yakıtların yanması	Boruhane	CO ₂

3.1.4. Tesisin yıllık tahmini toplam emisyonlarının belirlenmesi

Tesisin belirlenen takvim yılı boyunca faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının toplamına” tesisin yıllık toplam emisyonu” denir.

Tesisin kategorisinin belirlenmesi için, yıllık tahmini emisyonunun hesaplanmasına ihtiyaç duyulur. Tesisin yıllık tahmini emisyonlarını hesaplamak, faaliyetlerin verileri ve faktörlerini (Net kalorifik değeri, emisyon faktörünü, yükseltgenme faktörünü, dönüşüm faktörünü, karbon içeriğini veya biyokütle oranını) kullanır. Yakıtların yanmasından kaynaklanan yıllık tahmini emisyonların hesaplanması için kullanılan formül aşağıdadır. Yükseltgenme faktörü yıllık tahmini emisyonların hesaplanması “1” alınmalıdır. Gaz yakılması durumunda gazın hacim verisini kütleye çevirmek için yoğunluk ile çarpılır. Yıllık tahmini emisyon miktarı hesaplaması Eşitlik (3.1) ‘de verilmiştir.

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times NKD \times YF \quad (3.1)$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = [tCO_2]$$

$$FV = \text{Faaliyet Verisi [TJ, t ya da Nm}^3]$$

$$NKD = \text{Net Kalorifik Değer [TJ/Gg]}$$

$$EF = \text{Emisyon Faktörü [tCO}_2\text{/TJ, tCO}_2\text{/t ya da tCO}_2\text{/Nm}^3]$$

$$YF = \text{Yükseltgenme Faktörü [-]}$$

3.1.5. Tesis kategorisinin belirlenmesi

Tesisler yıllık olarak emisyon miktarına göre aşağıdaki kategorilere göre sınıflandırılır.

- Kategori A: Biyokütleden kaynaklanan CO₂ hariç, transfer edilen CO₂ dâhil, raporlama dönemindeki doğrulanmış yıllık emisyonu 50.000 ton CO₂(eşd)’ye eşit veya daha az olan,

- Kategori B: Biyokütleden kaynaklanan CO₂ hariç, transfer edilen CO₂ dâhil, raporlama dönemindeki doğrulanmış yıllık emisyonu 50.000 ton CO₂(eşd)’den fazla ve 500.000 ton CO₂(eşd)’ye eşit veya daha az olan,

- Kategori C: Biyokütleden kaynaklanan CO₂ hariç, transfer edilen CO₂ dâhil, raporlama dönemindeki doğrulanmış yıllık emisyonu 500.000 ton CO₂(eşd)’den fazla olan tesistir (Anonim 6, 2014).

3.2. Hesaplama Temelli Yöntem İçin Parametreler

3.2.1. Sera gazı kaynak akışı

Sera gazı emisyonunun izlemesinde hesaplama temelli yöntem kullanılacağında verilerin girdi ve çıktılarını ifade edilmesine “kaynak akışı” denir.

İşletmede yakıtların yanması kaynaklı sera gazı emisyonu mevcut ise tüketilen yakıt miktarını ile hesaplama temelli yöntem kullanılarak hesaplama yapılır. Emisyonlar üzerine doğrudan etkiye sahip tüketimler doğrudan, tesisin kaynak akışıdır.

Kaynak akışları üçe ayrılmaktadır. Bunlar büyük kaynak akışları, küçük kaynak akışları ve önemsiz kaynak akışlarıdır. Kaynak akışlarının sınıflandırılabilmesi için tahmini sera gazı emisyonu hesaplanmalıdır. Belirlenen kaynak akışına ait kademe, faaliyet verileri ve hesaplama faktörleri belirlenir.

Kaynak akışlarının sınıflandırılması şu şekilde yapılır;

- Önemsiz kaynak akışı: Mutlak değer olarak hangisi daha yüksekse; Emisyona tesir eden belirli bir yakıt ya da malzeme akışı yıllık 1.000 tCO₂'den küçük veya yılda 20.000 tCO₂'yi aşmamak kaydıyla toplam emisyonların %2'sinden daha düşük ise önemsiz kaynak akışı olarak sınıflandırılır. Birden fazla önemsiz kaynak akışı olması durumunda bu akışların toplamı yılda 20.000 tCO₂'yi aşıyorsa ilgili önemsiz kaynak akışları, küçük kaynak akışı olarak sınıflandırılır. Çok sayıda ikincil (önemsiz) kaynak akışının bir arada bulunması halinde, bu akışların kümülatif emisyon miktarının yıllık 20.000 tCO₂ limitini aşması durumunda, söz konusu ikincil akışlar 'küçük kaynak akışı' kategorisine dâhil edilerek sınıflandırılır.

- Küçük kaynak akışı sınıflandırması, aşağıda belirtilen iki kriterden hangisinin mutlak değer olarak daha yüksek olduğu dikkate alınarak yapılır:

Emisyona etki eden spesifik bir yakıt veya materyal akışına ait yıllık emisyonun 5.000 tCO₂ altında olması (emisyon eşiği), veya

İlgili kaynak akışının emisyonlara olan katkısının toplam emisyonların %10'undan düşük olması koşuluyla, yıllık emisyonun tCO₂ geçmemesi.

Ek olarak, birden fazla küçük kaynak akışının kümülatif toplamının yıllık 100.000 tCO₂ aşması durumunda, bu akışlar büyük kaynak akışı olarak kategorize edilmek durumundadır.

•Büyük kaynak akışı: Önemli veya küçük kaynak akışı olarak sınıflandırmayan kaynak akışları, büyük kaynak akışı olarak sınıflandırılır (Anonim 6, 2014).

Hesaplama temelli yöntemde kaynak akışı toplam emisyonla göre pay edilerek büyük, küçük ve önemli kaynak akışları olarak sınıflandırılır. Ölçüm temelli yöntemde kaynak akışı kategorisi yılda 5.000 tCO₂'yi aşp aşmaması durumunda küçük kaynak akışı, yılda 5.000 tCO₂'yi aşp aşmaması durumunda büyük kaynak akışı olarak sınıflandırılır.

3.2.2. Kademelerin belirlenmesi

Sera gazı emisyonuna kaynak olan her parametre farklı doğruluk ve güvenilirlik seviyesinde belirlenir. Bu verilerin sınıflandırma düzeyine “kademe” denir.

Hesaplama temelli yöntem ve ölçüm temelli yöntemde izleme kademe sistemi kullanılır. Kaynak akışının sınıflandırılmasının ardından, kademe seçilir. Belirlenen kademeye göre hesaplama faktörleri ve faaliyet verileri düzenlenir.

Yıllık tahmini emisyonların hesaplanmasında, kademeye dayanmayan hesaplama yapılır. Fakat yıllık emisyon raporunda kademeye göre hesaplamalar yapılır. Verilerin doğruluğu için kademenin takip edilmesi gerekmektedir.

Kademe en düşükten en yükseğe: 1, 2a-2b, 3 ve 4 şeklinde sıralanır. Unutulmamalıdır ki her zaman en düşük kademe 1'dir (Anonim 7, 2021).

Kademe belirlenmesinde en genel yaklaşım uygulamada farklı bir şart yoksa en yüksek kademeyi uygulanır. İstisnai durumlar aşağıdaki yollar izlenir.

Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ (İ ve R Tebliği) hükümleri uyarınca, Kategori A tesislerinde yer alan her bir kaynak akışı için, ve bu akışların ticari standart yakıt olması durumunda, İ ve R Tebliği Ek-4'te belirtilen en düşük kademenin (minimum tier) uygulanması gerekmektedir (Anonim 6, 2014). Bununla birlikte, işletmelerin önemli kaynak akışlarına ilişkin faaliyet verisi ve ilgili hesaplama faktörleri için ilave bir çaba gerekmeksizin herhangi bir kademeye ulaşamaması durumunda, kademe kullanımı yerine ihtiyatlı tahminler aracılığıyla faaliyet verisi ve hesaplama faktörlerinin belirlenmesi öngörülmektedir (Anonim 6, 2014).

• İ ve R Tebliği Madde 24 (5)'te tanımlanan, proses girdisi olarak kullanılan veya kütle dengesinde kullanılan yakıtlar için, Bakanlığın tCO₂/t veya tCO₂/Nm³ olarak

ifade edilen emisyon faktörlerinin kullanılmasına izin verdiği yakıtlar için NKD, İ ve R Tebliği EK-2’de tanımlanan en yüksek kademeler yerine daha düşük kademeler kullanılarak izlenir (Anonim 7, 2021).

Yükseltgenme ve Dönüşüm Faktörleri için:

• İşletme tercih ettiği durumlarda, yükseltgenme faktörü ve dönüşüm faktörü için kademe 1 uygulanır ve faktörler 1 olarak alınır.

3.2.3. Faaliyet verisinin belirlenmesi

Faaliyet Verisi, emisyon hesaplanmasında emisyon faktörü ile çarpılan ve işletmenin kullanım verisinin emisyon faktörü ile çarpılması ile elde edilen temel veridir. Faaliyet verisi, hesaplama temelli yöntemlerde iki temel başlığa ayrılır.

- **Proses kaynaklı emisyonlarda faaliyet verisi**

Proses Kaynaklı Emisyonlar, yakıt yanması dışındaki kimyasal veya fiziksel süreçlerden kaynaklanır. Faaliyet verisi bu emisyon kaynaklarında üretilen ya da tüketilen malzeme miktarı (kütle, hacim veya mol cinsinden) kullanılır.

- **Yanma emisyonlarında faaliyet verisi**

Yanma Emisyonlarında, enerji üretimi veya ısıtma amacıyla yakıtların yanması kaynaklıdır. Faaliyet verisi bu emisyon kaynaklarında;

- Enerji için terajul (TJ),
- Kütle için ton (t)
- Gazlar için normal metre küp (Nm³) şeklinde ifade edilir.

Faaliyet verisinde emisyonu neden olan kaynakların, sürekli ölçümü veya stok değişimi takip edilerek hesaplanır. Bu karar işletmeye aittir.

3.2.4. Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Sera gazı emisyonları hesaplamasında, hesaplama faktörleri kullanılır. Emisyon faktörü, net kalorifik değer, yükseltgenme faktörü, dönüştürme faktörü, karbon içeriği ve biyokütle oranı hesaplama faktörleridir.

Kaynak akışı sınıfı ve kademeye bağlı olarak hesaplama faktörleri değişkenlik göstermektedir. Aşağıdaki tabloda İ ve R Tebliği'ne göre hesaplama faktörleri için gerekli bölümlerini özetlemiştir. Çizelge 3.4 de hesaplama faktörlerinin belirlenmesinde gerekli olan kademelerin İ ve R Tebliğinde tanımlanan bölümleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Hesaplama faktörlerinin belirlenmesinde gerekli olan kademelerin İ ve R Tebliğinde tanımlanan bölümleri

Yanma Emisyonlarının Hesaplama Faktörleri İçin Kademeler	Kütle Dengesi Yönteminde Hesaplama Faktörleri İçin Kademeler	Karbonat Dekompozisyonundan Kaynaklanan Proses Emisyonları İçin Hesaplama Faktörlerine Ait Kademeler	Faaliyete Özgü İzleme Yöntemlerinde Hesaplama Faktörlerine Ait Kademeler
Emisyon Faktörleri -> İ ve R Tebliği EK-3 -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.2.1 NKD -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.2.2 Yükseltgenme Faktörleri -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.2.3 Biyokütle Oranı -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.2.4	Karbon İçeriği -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.3.1 NKD -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.3.2	Emisyon Faktörleri (Yöntem A) -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.4.1 Dönüşüm Faktörleri (Yöntem A) -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.4.2 Emisyon Faktörleri (Yöntem B) -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.4.3 Dönüşüm Faktörleri (Yöntem A) -> İ ve R Tebliği EK-2 Bl.4.4	-> İ ve R Tebliği EK-3

3.2.4.1. Hesaplama faktörlerinde varsayılan değerlerin kullanılması

Hesaplama faktörlerinin varsayılan değerlerinin seçimi için çeşitli referanslar kullanılmaktadır. Uygulanacak kademeye göre uygun olanlar değerlendirilmelidir.

Bunlar;

- İ ve R Tebliği EK-5'te listelenen standart faktörler ve sitokiyometrik değerler,
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında hazırlanan ulusal sera gazı envanteri için kullanılan standart faktörler,
- %95'lik güven aralığı ile karbon içeriğinin %1'den daha fazla olmaması sağlandığında, malzeme tedarikçisi tarafından belirtilen ve garanti edilen değerler,
- Bir malzemenin gelecekte kullanılacak lotları için temsil niteliği taşıdığına dair bilgi ve belgelerin Bakanlığa sunulması durumunda, geçmiş analizlere dayanan değerler (Anonim 7, 2021).

Varsayılan değerler genellikle düşük kademelerde, analize dayanan değerler yüksek kademelerde kullanımı doğru olmaktadır.

3.2.4.2. Analize dayanan hesaplama faktörleri

Standartlara bağlı olarak örnekleme, uygulanan analizler, kalibrasyon ve doğrulamalar yapılmaktadır. Analize dayanan hesaplamalarda, analizlerinin doğru olması verilerin güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir.

a) Laboratuvarların kullanımı

Bu hüküm, emisyon izleme ve raporlama sistematığı içerisinde kritik bir aşama olan hesaplama faktörlerinin belirlenmesi sürecinde uygulanan analizlerin güvenilirliği ve kalite güvencesini teminat altına almaktadır. İlgili düzenleyici bakanlık, bu analizleri gerçekleştirecek laboratuvarlar için çift kademeli bir yetkinlik kriteri tanımlamıştır. Buna göre, analitik yöntemleri uygulayan laboratuvarların, ya belirlenen ulusal veya uluslararası standartlara uygun olarak bakanlıkça resmen yeterlilik belgesi (akreditasyon) almış olması ya da doğrudan kamusal denetim ve yetki altında faaliyet gösteren bakanlık laboratuvarları olması zorunluluğu getirilmiştir. Bu yaklaşım, raporlanan emisyon verilerinin bilimsel geçerliliğini, izlenebilirliğini ve hukuki savunulabilirliğini maksimize etmeyi amaçlayan merkezi bir kalite kontrol mekanizması olarak değerlendirilmektedir.

Fakat işletme bu koşulları sağlayamadığında analizlerin yapıldığı laboratuvarlar da TS EN 17025 standardına eşdeğer koşulların sağlayabildiğini T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın belirlemesi koşuluyla kullanabilmektedir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yılda en az bir kez karşılaştırma ile belgelendirir.

b) Örnekleme planı ve analiz sıklığı

Analiz yapmak amacı ile her bir yakıt veya malzeme için yazılı bir prosedür halinde bir örnekleme planı hazırlanması gerekmektedir (Anonim 6, 2014).

Örnekleme planında; analiz yöntemleri, kurum ve kişi sorumlulukları, lokasyonlar, analiz periyodları, analiz miktarları ve örneklerin depolanmasına ait bilgileri bulunmaktadır.

3.2.5. Biyokütle kaynak akışları

Biyokütle, tarımsal atıklar ve ürünler, orman ve odun atıkları, hayvansal atıklar ve organik atıkların biyolojik olarak ayrışılabilen kısımlarıdır. Kaynak akışında biyokütlenin bulunup bulunmadığını ve oranını analizler ile belirlenir.

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Örnek Tesisin Yıllık Tahmini Toplam Emisyonlarının Belirlenmesi

Tesiste kaynak akışı olarak doğalgaz, linyit kömürü, kalsit, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazları ve arıtma çamuru gazı bulunmaktadır. Doğalgaz ve linyit kömürü tesisteki yakma sistemlerinde, motorin ise dizel jeneratör ve yangın pompası sistemlerinde kullanılmaktadır.

Doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ayrıca yemekhanelerde de kullanılmaktadır. Kalsit tesisin yakma sistemlerinde kullanılmaktadır. Sıvılaştırılmış petrol gazı ayrıca boruhanede kaynak işlerinde kullanılmaktadır. Arıtma çamuru gazı biyogaz olarak kullanılmaktadır ve kullanılamayan kısım flare de yakılmaktadır.

Yıllık tahmini emisyonun hesaplamasında her kaynak akışı için hesaplamalar Eşitlik (4.1) uygulanarak hesaplanır.

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times NKD \times YF \quad (4.1)$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = [tCO_2]$$

$$FV = \text{Faaliyet Verisi} [TJ, t \text{ ya da } Nm^3]$$

$$NKD = \text{Net Kalorifik Değer} [TJ/Gg]$$

$$EF = \text{Emisyon Faktörü} [tCO_2/TJ, tCO_2/t \text{ ya da } tCO_2/Nm^3]$$

$$YF = \text{Yükseltgenme Faktörü} [-]$$

Sera gazı emisyon hesaplamalarında, ulusal envanteri raporu verilerinin kullanacağı aşamalar için 2024 yılına ait NKD ve EF verileri aşağıda verilmiştir. Buradaki veriler TÜİK Türkiye Sera Gazı Envanterindeki değerler ile hazırlanmış olup; envanter yenilendiğinde güncel değerler kullanılacaktır (Anonim, 2024) .

Çizelge 4.1’de izleme planı ve emisyon raporlarında ulusal envanteri kullanacaklar için NKD ve EF tablosu görülmektedir.

Çizelge 4.1. İzleme planı ve emisyon raporlarında ulusal envanteri kullanacaklar için NKD ve EF tablosu

İzleme Planı Ve Emisyon Raporlarında Ulusal Envanteri Kullanacaklar İçin Net Kalorifik Değer (NKD) Ve Emisyon Faktörleri (EF) Tablosu*							
Kaynak Akışı		Net Kalorifik Değer (NKD)			Elektrik Veya Isınma Amaçlı Emisyon Faktörü Verisi (EF)		
		Değer	Birim	Ulusal Envanter Kaynak Tablo Numarası	Değer	Birim	Ulusal Envanter Kaynak Tablo Numarası
1	Doğal Gaz	48,75	TJ/kt - TJ/Gg	Table 3.17	55,97	t/TJ	Table 3.18
2	Motorin	43,33		Annex-4 NCV of Fuels	72,78		
3	Fuel Oil	39,39			76,97		
4	Benzin	44,80			69,30	Annex-4 Default CO ₂ Emission Factors	
5	Antrasit	25,40			91,71	Annex-4 Country Specific CO ₂ Emission Factor	
6	Kok Kömürü	30,77			112,90		
7	Düşük Bitümlü Kömür	13,38		Table 3.17	91,71	Table 3.18	
8	Diğer Bitümlü Kömür	23,93		Table 3.17	94,98		
9	Yerli Linyit	8,24		Annex-4 NCV of Fuels	104,79		
10	LPG	47,31			63,10		
11	Biyoyakıtlar	36,05			100,10	Annex-4 Default CO ₂ Emission Factors	
12	Odun (Yakıt)	12,04			111,83	Table 3.18	
13	Asfaltit	17,40			96,10	Table 3.7	
14	Kömür Katranı	37,25			80,67	Table 3.18	
15	Rafineri Gazı	48,15			57,57	Annex-4 Default CO ₂ Emission Factors	
16	Havacılık Yakıtı / Jet Gazyağı	44,59			71,50		
17	Gazyağı	43,75			71,90		
18	Nafta	45,01			72,70		
19	Beyaz İspirto	43,50			73,30		
20	Diğer Petrol Ürünleri	40,19			73,30	Table 3.18	
21	Petrokok	32,24			97,53		
22	BFG Yüksek Fırın Gazı	731	259,60				
23	COG Kok Fırın Gazı	3.850	Kcal/kg	42,76	Table 3.18		
24	Bazik Oksijen Fırın Gazı	1.547		181,87			
25	Ham Petrol	43,96	TJ/kt - TJ/Gg	73,30	Annex-4 Default CO ₂ Emission Factors		
26	Gres Yağı	42,00		73,30			
27	Bitumen (Asfalt)	40,19		80,70			

4.1.1. Doğalgaz kaynaklı tahmini sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Doğalgaz fosil yakıtlardandır. Havadan hafiftir, yanıcı özelliğe sahip olup kokusuz ve renksizdir. İçeriğinde yoğun olarak metan, bütan ve propan bulunmaktadır. İşletmede doğalgaz, idari işler kısmında; yemekhane, çay ocağı ve misafirhane bölümünde ısınma için kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra işletmede buhar kazanlarında yakılarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. İşletme doğalgazı, doğalgaz dağıtım şirketinden tesis içerisinde bulunan borulama sistemden direk almaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.2’de doğalgaz için kaynak akışının belirlenmesi verilmiştir.

Çizelge 4.2. Doğalgaz için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	Doğalgaz
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Diğer Gaz ve Sıvı Yakıtlar
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Yakıt
Parametreler	Yakıt miktarı [t] or [Nm ³]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Küçük
Emisyon Kaynakları	4 Adet Ocak, Misafirhane, Çiftçi Yemekhanesi, İdari Bina Çay Ocağı, 3 Adet Buhar Kazanı
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Sürekli Ölçüm
Kullanılan Ölçüm Cihazları	2 adet Türbin tipi sayaç, 2 adet Elektronik Hacim Dönüştürme Cihazı
Gereken Kademe Seviyesi	4
Uygulanan Kademe Seviyesi	4
Belirsizlik	% 0,915426

b) Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.3’de doğalgaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Doğalgaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	53,52 TJ/Gg
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	55,4 tCO ₂ /TJ
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ’deki Açıklaması	Standart değer YF=1
	Varsayılan Değer	1
	Bilgi Kaynağı	İ ve R

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.4’de doğalgaz için tahmini emisyonun hesaplanması verilmiştir.

Çizelge 4.4. Doğalgaz için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Küçük
Faaliyet Verisi	10.108 ton
Emisyon Faktörü	55,4 tCO ₂ / TJ
Net Kalorifik Değer	53,52 TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü / Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	-
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Doğalgaz})} = 10.108 \text{ ton} \times 55,4 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 53,52 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Doğalgaz})} = 29.970,17 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.1.2. Kömür kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi

Kömürün yakılarak enerji üretimi en yaygın enerji üretimlerindendir. Türkiye’de çeşitli özelliklerde kömür madenleri bulunmaktadır. İşletmeler genel olarak kendine yakın maden özelliklerinde dizaynı yapılan yakma tesisleri inşa etmektedirler. Kömürün ulaşılabilir olmasının yanı sıra yüksek karbon içeriği nedeniyle yüksek sera gazı emisyonuna yol açmaktadırlar. İşletmede kömür, yakılarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. İşletme kömürü, anlaşmalı olarak kömür dağıtım şirketlerinden tesis içerisine teslim ile almaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.5’de kömür için kaynak akışının belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.5. Kömür için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	Kömür - Diğer Bitümlü
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Katı Yakıtlar
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Yakıt, Madde 22(1)
Parametreler	Yakıt miktarı [t]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Büyük
Emisyon Kaynakları	3 Adet Kömür Kazanı, Kömürlü Küspe Kurutma Tesisi
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Stok değişimi
Kullanılan Ölçüm Cihazları	3 adet kantar, karbon analiz cihazı (laboratuvar)
Gereken Kademe Seviyesi	4
Uygulanan Kademe Seviyesi	4
Belirsizlik	% 1,41

b) Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.6’de kömür için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.6. Kömür için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	3
	Tebliğ’deki Açıklaması	Laboratuvar Analizleri
	Varsayılan Değer	
	Bilgi Kaynağı	
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	3
	Tebliğ’deki Açıklaması	Laboratuvar Analizleri - Kademe 2b Korelasyon sonuçları
	Varsayılan Değer	
	Bilgi Kaynağı	
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ’deki Açıklaması	Standart değer YF=1
	Varsayılan Değer	1
	Bilgi Kaynağı	İ ve R

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.7’de kömür için tahmini emisyonun hesaplanması görülmektedir.

Çizelge 4.7. Kömür için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Büyük
Faaliyet Verisi	499.890 ton
Emisyon Faktörü	93,04 tCO ₂ /TJ
Net Kalorifik değer	23,39 TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü/ Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	-
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Kömür})} = 499.890 \text{ ton} \times 93,04 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 23,39 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Kömür})} = 1.087.863,42 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.3. LPG kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi

LPG, petrol üretim aşamasındaki parçalanma ve damıtma esnasında oluşup sonrasında basınç ile sıvılaştırma ile elde edilen içeriğinde başlıca propan ve bütan bulunduran karışımdır. İşletmede LPG, idari işler kısmında; yemekhane, çay ocağı ve misafirhane bölümünde ısınma için kullanılmaktadır. Ayrıca işletmede kaynak ve borulama işlemlerinden sorumlu olan boruhane tesisinde ilgili işlemlerde kullanılmaktadır. İşletme LPG, hazır olarak direk almaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.8’de LPG için kaynak akışının belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.8. LPG için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	LPG
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Standart Yakıtlar
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Yakıt, Madde 22(1)
Parametreler	Yakıt miktarı [t] or [Nm ³]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Önemsiz
Emisyon Kaynakları	4 Adet Ocak, Misafirhane, Çiftçi Yemekhanesi, İdari Bina Çay Ocağı, Boruhane
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Stok değişimi
Kullanılan Ölçüm Cihazları	-
Gereken Kademe Seviyesi	4
Uygulanan Kademe Seviyesi	-
Belirsizlik	-

b) Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.9’de LPG için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.9. LPG için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	2a/2b
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	-
	Varsayılan Değer	47,31 TJ/Gg
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	2a/2b
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	63,1 tCO ₂ /TJ
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ’deki Açıklaması	Standart değer YF=1
	Varsayılan Değer	1
	Bilgi Kaynağı	İ ve R

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.10'da LPG için tahmini emisyonun hesaplanması görülmektedir.

Çizelge 4.10. LPG için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Önemsiz
Faaliyet Verisi	0,735 ton
Emisyon Faktörü	63,07 tCO ₂ /TJ
Net Kalorifik Değer	47,31 TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü/ Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	-
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{LPG})} = 0,735 \text{ ton} \times 63,07 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 47,31 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{LPG})} = 2,19 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.1.4. Motorin kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi

Motorin, ham petrol rafinasyonu sırasında oluşan yakıt türüdür. İçten yanmalı dizel motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır.

İşletmede motorin, dizel jeneratör ve yangın pompası sistemlerinde kullanılmaktadır. İşletme motorin, direk almaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.11'de motorin için kaynak akışının belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.11. Motorin için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	Motorin
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Ticari Standart Yakıtlar
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Yakıt, Madde 22(1)
Parametreler	Yakıt miktarı [t] or [Nm ³]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Önemsiz
Emisyon Kaynakları	4 adet Jeneratör, 2 adet Yangın Pompası
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Stok değişimi
Kullanılan Ölçüm Cihazları	-
Gereken Kademe Seviyesi	4
Uygulanan Kademe Seviyesi	-
Belirsizlik	-

b) Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.12’de motorin için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.12. Motorin için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	2a/2b
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	43,33 TJ/Gg
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	2a/2b
	Uygulanacak olan Kademe	2a
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	72,3 tCO ₂ /TJ
	Bilgi Kaynağı	Ulusal Envanter Raporu
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ’deki Açıklaması	Standart değer YF=1
	Varsayılan Değer	1
	Bilgi Kaynağı	İ ve R

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.13’de motorin için tahmini emisyonun hesaplanması görülmektedir.

Çizelge 4.13. Motorin için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Önemsiz
Faaliyet Verisi	0,6574 ton
Emisyon Faktörü	72,3 tCO ₂ /TJ
Net Kalorifik Değer	43,33 TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü/ Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	-
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times NKD \times YF$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Motorin})} = 0,6574 \text{ ton} \times 72,3 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 43,33 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Motorin})} = 2,06 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.1.5. Arıtma çamuru gazı (Biyogaz) kaynaklı tahmini sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Biyogaz başta hayvan gübreleri ve bitki artıkları olmak üzere, her türlü organik materyalin havasız koşullarda fermentasyonu sonucu elde edilen, bileşiminde metan ve karbondioksit olan bir gaz karışımıdır. Isıl değeri yüksek bir enerji kaynağıdır. Biyogaz teknolojisi organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir (Gülen, 2012).

İşletmenin faaliyetleri sonucunda organik atıklar bulunmaktadır. Bu nedenle arıtma tesisinde bu atıklar işleme tabi tutulmaktadır. Bunun sonucunda arıtma çamuru gazından biyogaz elde edilmektedir. Bu biyogaz yakılarak enerji elde edilmektedir. Enerji elde edilemeyecek nitelikteki biyogazlar flare ile yakılmaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.14’de biyogaz için kaynak akışının belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.14. Biyogaz için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	Arıtma Çamuru Gazı (Biyogaz)
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Diğer Gaz ve Sıvı Yakıtlar
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Yakıt, Madde 22(1)
Parametreler	Yakıt miktarı [t] or [Nm ³]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Önemsiz
Emisyon Kaynakları	1 adet Buhar Kazanı, 2 adet Arıtma Flare, Kömürlü Küspe Kurutma Tesis
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Sürekli Ölçüm
Kullanılan Ölçüm Cihazları	Ultrasonik ölçer
Gereken Kademe Seviyesi	4
Uygulanan Kademe Seviyesi	4
Belirsizlik	% 0,2

b) Hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Çizelge 4.15’de biyogaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi görülmektedir.

Çizelge 4.15. Biyogaz için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ'deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	50,04 TJ/Gg
	Bilgi Kaynağı	İ ve R
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	3
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ'deki Açıklaması	Tip II varsayılan değerler
	Varsayılan Değer	0 tCO ₂ /TJ
	Bilgi Kaynağı	İ ve R
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ'deki Açıklaması	Standart değer YF=1
	Varsayılan Değer	1
	Bilgi Kaynağı	İ ve R

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.16'da biyogaz için tahmini emisyonun hesaplanması görülmektedir.

Çizelge 4.16. Biyogaz için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Önemsiz
Faaliyet Verisi	2.071,88448 ton
Emisyon Faktörü	0 tCO ₂ /TJ
Net Kalorifik Değer	50,04 TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü/ Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	100
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times NKD \times YF$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Biyogaz})} = 2.071,88448 \text{ ton} \times 0 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 50,04 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Biyogaz})} = 0 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.1.6. Kalsit kaynaklı tahmini sera gazı emisyonun belirlenmesi

Kalsit inorganik minerali, % 90 CaCO₃ içeren kalkerden oluşur. İşletmede kalsit tesisin yakma sistemlerinde kullanılmaktadır.

a) Kaynak akışının belirlenmesi

Çizelge 4.17'de kalsit için kaynak akışının belirlenmesi görülmüştür.

Çizelge 4.17. Kalsit için kaynak akışının belirlenmesi

Kaynak Akışının Adı	Kalsit
Kaynak Akışının Türü	Yanma: Temizleme (Desülfürizasyon): Yöntem A
Uygulanabilir Yöntem	Standart Yöntem: Proses, Madde 22(2)
Parametreler	Tüketilen karbonat miktarı [t]
Faaliyetler	Yakıtların yanması
Seçilen Kategori	Önemsiz
Emisyon Kaynakları	3 Adet Kömür Kazanı
Faaliyet Verisi Belirleme Yöntemi	Sürekli Ölçüm
Kullanılan Ölçüm Cihazları	Kantar
Gereken Kademe Seviyesi	1
Uygulanan Kademe Seviyesi	1
Belirsizlik	%5

b) Hesaplama Faktörlerinin Belirlenmesi

Çizelge 4.18’de kalsit için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi görülmüştür.

Çizelge 4.18. Kalsit için hesaplama faktörlerinin belirlenmesi

Net Kalorifik Değer (NKD) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	-
	Uygulanacak olan Kademe	-
	Tebliğ’deki Açıklaması	-
	Varsayılan Değer	-
	Bilgi Kaynağı	-
Emisyon Faktörü (EF) Bilgileri	Gerekli olan Kademe	1
	Uygulanacak olan Kademe	1
	Tebliğ’deki Açıklaması	Tip 1 varsayılan değer ve sanayideki en iyi uygulama
	Varsayılan Değer	0,44 tCO ₂ /TJ
	Bilgi Kaynağı	İ ve R
Yükseltgenme Faktörü Bilgileri	Gerekli olan Kademe	-
	Uygulanacak olan Kademe	-
	Tebliğ’deki Açıklaması	-
	Varsayılan Değer	-
	Bilgi Kaynağı	-

c) Tahmini emisyonun hesaplanması

Çizelge 4.19’da kalsit için tahmini emisyonun hesaplanması görülmüştür.

Çizelge 4.19. Kalsit için tahmini emisyonun hesaplanması

Olası Kategori	Önemsiz
Faaliyet Verisi	1.939 ton
Emisyon Faktörü	0,44 tCO ₂ /TJ
Net Kalorifik Değer	- TJ/Gg
Yükseltgenme Faktörü/ Dönüşüm Faktörü	1
Biyokütle Oranı	-
Karbon İçeriği	-

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times YF$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Kalsit})} = 1.939 \text{ ton} \times 0,44 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 1$$

$$\text{Yıllık Tahmini Emisyon Miktarı}_{(\text{Kalsit})} = 853,16 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.2. Örnek Tesisin Kategorisinin Belirlenmesi

İşletme için kaynak akışı olarak belirlenmiş tüm sera gazı emisyonuna neden olan parametreler tahmini olarak tek tek yıllık emisyonları hesaplanmıştır. Bunların hepsinin toplanması ile toplam yıllık tahmini emisyon hesaplanmıştır. Tesisler yıllık olarak emisyon miktarı **1.118.691,00 tCO₂e/yıl** bulunmuştur. Çizelge 4.20’de toplam tahmini sera gazı emisyon hesaplanması verilmiştir.

Çizelge 4.20. Toplam tahmini sera gazı emisyon hesaplanması

Kaynak Akış Adı	Kaynak Akış Türü	Olası Kategori	Seçilen Kategori	Tahmini Emisyon (tCO ₂ e/yıl)
Doğalgaz	Yanma: Diğer Gaz ve Sıvı Yakıtlar	Küçük	Küçük	29.970,17
Kömür - Diğer Bitümlü	Yanma: Katı Yakıtlar	Büyük	Büyük	1.087.863,42
LPG	Yanma: Ticari Standart Yakıtlar	Önemsiz	Önemsiz	2,19
Motorin	Yanma: Ticari Standart Yakıtlar	Önemsiz	Önemsiz	2,06
Aritma Çamuru Gazı (Biyogaz)	Yanma: Diğer Gaz ve Sıvı Yakıtlar	Önemsiz	Önemsiz	0
Kalsit	Yanma: Temizleme (Desülfürizasyon): Yöntem A	Önemsiz	Önemsiz	853,16
Yıllık Toplam Tahmini Emisyon				1.118.691,00

Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ’ine Göre kategori C olarak belirlenmiştir.

4.3. Örnek Tesisin Hesaplama Temelli Yöntem ile Emisyon Kaynaklarının Oluşturduğu Emisyon Verileri

4.3.1. Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi

Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyon miktarının hesaplanması için öncelikle doğalgaz faaliyet verisi hesaplanır. Tüketilen doğalgaz hacmi ve doğalgaz tedarikçisinden elde edilen yoğunluk faktörü kullanılarak faaliyet verisi elde edilir (Aşır, 2024).

Doğalgaz için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.2)'de, NKD hesaplaması Eşitlik (4.3)'de, emisyon faktörü hesaplaması Eşitlik (4.4)'de verilmiştir.

Faaliyet verisi için;

$$\text{Faaliyet verisi(kg)} = \text{Tüketilen STDm}^3 \text{ doğalgaz} \times \text{Yoğunluk(kg/Sm}^3\text{)} \quad (4.2)$$

NKD için;

$$NKD \left(\frac{TJ}{Gg} \right) = \frac{\text{alt ısı} \left(\frac{kcal}{Sm^3} \right)}{\text{doğalgaz yoğunluk(kg/Sm}^3\text{)}} \times 4186,8 \left(\frac{J}{kcal} \right) \times \frac{1TJ}{10^{12}} \times \frac{10^6 kg}{1 Gg} \quad (4.3)$$

Emisyon Faktörü için;

$$EF \left(\frac{tCO_2}{TJ} \right) = \frac{f \times \frac{\text{doğalgaz C içeriği kg}}{\text{doğalgaz kg}} \times \frac{1tC}{1000 kg C}}{\frac{\text{alt ısı (kcal/Sm}^3\text{)}}{\text{doğalgaz yoğunluk(kg/Sm}^3\text{)}} \times 4186,8 \left(\frac{J}{kcal} \right) \times \frac{1TJ}{10^{12} J}} \quad (4.4)$$

$$f = 3,664 \text{ tCO}_2/\text{tC} \text{ (İ ve R Tebliği Madde 23 (1))}$$

Çizelge 4.21'de doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.21. Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024			
Emisyon Kaynak Türü	Doğalgaz			
Faaliyet Verileri	Aylar	Faaliyet Verisi	Dönüşüm	
		Birim (STD m ³)	Yoğunluk (kg/Sm ³)	Faaliyet Verileri (kg)
	Ocak	14.053,15	0,732045161	10287,53706
	Şubat	22.958,66	0,737827586	16939,53027
	Mart	14.012,84	0,743922581	10424,46906
	Nisan	64.109,27	0,744216667	47711,18886
	Mayıs	28.336,12	0,751587097	21297,06011
	Haziran	22.259,05	0,745166667	16586,69975
	Temmuz	18.465,81	0,73053871	13489,99214
	Ağustos	338.021,15	0,741725806	250719,0103

Çizelge 4.21.(devam) Doğalgaz kaynaklı sera gazı emisyonun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024			
Emisyon Kaynak Türü	Doğalgaz			
Faaliyet Verileri	Aylar	Faaliyet Verisi	Dönüşüm	
		Birim (STD m³)	Yoğunluk (kg/Sm³)	Faaliyet Verileri (kg)
	Eylül	129.805,92	0,745246667	96737,43282
	Ekim	5.322,30	0,732483871	3898,500753
	Kasım	41.607,93	0,719099667	29920,2451
	Aralık	396.964,67	0,735080645	291801,0468
Toplam Faaliyet Verisi ton	809812,713 kg =809,91 ton			
EF tCO₂/TJ	Ocak			55,300981
	Şubat			56,875037
	Mart			56,543523
	Nisan			56,478100
	Mayıs			57,972268
	Haziran			57,236594
	Temmuz			55,259494
	Ağustos			58,126832
	Eylül			57,491092
	Ekim			55,424308
	Kasım			54,866769
	Aralık			57,047785
NKD TJ/Gg	Ocak			47,885033
	Şubat			47,681046
	Mart			47,156934
	Nisan			46,825266
	Mayıs			45,878017
	Haziran			45,991141
	Temmuz			47,717275
	Ağustos			45,926650
	Eylül			46,057225
	Ekim			47,229148
	Kasım			48,097376
	Aralık			47,684554
Toplam Emisyon	2.171,44 ton CO₂			

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı} = FV \times EF \times NKD \times YF$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı(Doğalgaz)} = \sum FV_{aylık} \times \sum EF_{aylık} \times \sum NKD_{aylık} \times 1$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı(Doğalgaz)} = 2.171,44 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.2. Kömür kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Kömür için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.5)'de, NKD hesaplaması Eşitlik (4.6)'da, emisyon faktörü hesaplaması Eşitlik (4.7)'de verilmiştir.

Faaliyet Verisi için;

$$\text{Faaliyet verisi(ton)}_{\text{kuru bazda}} = \text{Faaliyet verisi(ton)}_{\text{yaş bazda}} \times \frac{100 - \% \text{nem}}{100} \quad (4.5)$$

NKD için;

$$NKD \left(\frac{TJ}{Gg} \right) = \text{alt ısı} \left(\frac{kcal}{kg} \right) \times 4186,8 \left(\frac{J}{kcal} \right) \times \frac{1TJ}{10^{12}} \times \frac{1kg}{10^6Gg} \quad (4.6)$$

Emisyon Faktörü için;

$$EF \left(\frac{tCO_2}{TJ} \right) = \frac{\frac{\text{kuru bazda FV ton}}{\% \text{kuru karbon}} \times f}{\text{kuru bazda FV ton} \times NKD \times \frac{1Gg}{10^3 \text{ton}}} \quad (4.7)$$

$f = 3,664 \text{ tCO}_2/\text{tC}$ (İ ve R Tebliği Madde 23 (1))

Çizelge 4.22'de kömür kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.22. Kömür kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024				
Emisyon Kaynak Türü	Kömür				
Faaliyet Verileri	Stok durumu	Yaş Bazda Faaliyet Verisi (Ton)	Dönüşüm		
			% Nem	Kuru Bazda Faaliyet Verisi (Ton)	
	Yıl başı stok	213955,5996	20,14069527	170863,4543	
	Yıl içi satın alınan	301551,81	22,58934036	233433,2453	
	Yıl sonu stok	103214,02	22,58934036	79898,65372	
	2024 yılı kullanım	412293,3896	21,74259204	324398,0458	
Toplam Faaliyet Verisi	324398,0458 ton				
EF (tonCO ₂ /TJ)	Stok durumu	ton CO ₂	%kuru karbon	Kuru bazda FV (ton)	EF (ton CO ₂ /TJ)
	Yıl başı stok	257237,3633	41,08936242	170863,4543	134,0296664
	Yıl içi satın alınan	250715,7336	29,31321248	233433,2453	107,4360431
	Yıl sonu stok	85814,03887	29,31321248	79898,65372	107,4360431
	2024 yılı kullanım	397808,2343	33,46879482	324398,0458	117,638338

Çizelge 4.22.(devam) Kömür kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

NKD (TJ/Gg)	Stok durumu	Alt ısı (kcal/kg)	NKD (TJ/Gg)
	Yıl başı stok	2683,523836	11,23269407
	Yıl içi satın alınan	2388,308382	9,996981225
	Yıl sonu stok	2388,308382	9,996981225
	2024 yılı kullanım	2490,394711	10,42429418
Toplam Emisyon	397.808,23 ton CO₂		

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Kömür})} = 324398,0458 \text{ ton} \times 117,638338 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 10,42429418 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Kömür})} = 397.808,23 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.3. LPG kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

LPG için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.8)'de verilmiştir. NKD ve emisyon faktörü verileri ulusal envanter raporundan alınmıştır.

Faaliyet Verisi için;

$$\text{Faaliyet verisi (kg)} = \text{Toplam tüketim (kg)} \quad (4.8)$$

NKD için; Ulusal Envanter Raporu

Emisyon Faktörü için; Ulusal Envanter Raporu

Çizelge 4.23'de LPG kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.23. LPG kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024		
Emisyon Kaynak Türü	LPG		
Faaliyet Verileri	Emisyon Kaynakları	Faaliyet Verisi (kg)	Dönüşüm (kg)
	Boruhane	450 kg	450 kg
	Çiftçi Dinlenme Yemekhanesi	90 kg	90 kg
Toplam Faaliyet Verisi	540 kg = 0,54 ton		
EF	63,07		
NKD	47,31		
Toplam Emisyon	1,611274518 ton CO₂		

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{LPG})} = 0,54 \text{ ton} \times 63,07 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 47,31 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{LPG})} = 1,611274518 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.4. Motorin kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Motorin için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.9)'de verilmiştir. NKD ve emisyon faktörü verileri ulusal envanter raporundan alınmıştır.

Faaliyet Verisi için;

$$\text{Faaliyet verisi}(kg) = \text{Toplam tüketim (kg)} \quad (4.9)$$

NKD için; Ulusal Envanter Raporu

Emisyon Faktörü için; Ulusal Envanter Raporu

Çizelge 4.24'de motorin kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.24. Motorin kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024		
Emisyon Kaynak Türü	Motorin		
Faaliyet Verileri	Emisyon Kaynakları	Faaliyet Verisi (litre)	Dönüşüm
			1 litre motorin= 0,845 kg motorin
	Yangın Pompası	650 litre(stok kontrolü)	549,25 kg
	Jeneratör	3060 litre(çalışma saati ile hesaplama)	2585,7 kg
	Seyyar Jeneratör	0 litre (teslim tutanağı verisi)	0 kg
Toplam Faaliyet Verisi	3096,925 kg= 3,096925 ton		
EF	72,78		
NKD	43,33		
Toplam Emisyon	9,766330751 ton CO₂		

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Motorin})} = 3,096925 \text{ ton} \times 72,28 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 43,33 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Motorin})} = 9,766330751 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.5. Arıtma çamuru gazı (Biyogaz) kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Biyogaz için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.10)'da verilmiştir. NKD ve emisyon faktörü verileri ulusal envanter raporundan alınmıştır.

Faaliyet verisi için;

$$\text{Faaliyet verisi(ton)} = \text{Biyogaz Faaliyet Verisi m}^3 \times \text{yoğunluk biyogaz} \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) \quad (4.10)$$

NKD için; Ulusal Envanter Raporu

Emisyon Faktörü için; Ulusal Envanter Raporu

Çizelge 4.25'de biyogaz kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.25. Biyogaz kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024			
Emisyon Kaynak Türü	Biyogaz			
Emisyon Kaynakları	-			
Faaliyet Verileri	Emisyon Kaynakları	Biyogaz Faaliyet Verisi (m³)	Dönüşüm	
		m³	Biyogaz Yoğunluk (ton/m³)	1 m³ = 1000 ton
	Arıtma Çamuru Gazı	2700299,00	0,86	2322,257 ton
Toplam Faaliyet Verisi	2322,257 ton			
EF	0			
NKD	36,05			
Toplam Emisyon	0 ton CO₂			

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{YF}$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Biyogaz})} = 2322,257 \text{ ton} \times 0 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 36,05 \text{ TJ/Gg} \times 1$$

$$\text{Yıllık Emisyon Miktarı}_{(\text{Biyogaz})} = 0 \text{ tCO}_2\text{e/yıl}$$

4.3.6. Kalsit kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Kalsit için faaliyet verisinin hesaplanması Eşitlik (4.11)'de verilmiştir. NKD ve emisyon faktörü verileri ulusal envanter raporundan alınmıştır.

Faaliyet Verisi için;

$$Faaliyet\ verisi(ton) = Toplam\ tüketim\ (ton) \quad (4.11)$$

NKD için; Ulusal Envanter Raporu

Emisyon Faktörü için; Ulusal Envanter Raporu

Çizelge 4.26 da kalsit kaynaklı sera gazı emisyonları verilmiştir.

Çizelge 4.26. Kalsit kaynaklı sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Veri Aralığı	01.01.2024-31.12.2024		
Emisyon Kaynak Türü	Kalsit		
Faaliyet Verileri	Emisyon Kaynakları	Faaliyet Verisi (ton)	Dönüşüm
	Dönem Başı Stok	872,616 ton	872,616 ton
	Yıl İçi Satın Alınan	6.155,30 ton	6.155,30 ton
	Dönem Sonu Stok	7.027,92 ton	7.027,92 ton
Toplam Faaliyet Verisi	0 ton		
EF	0		
NKD	-		
Toplam Emisyon	0 ton CO₂		

$$Yıllık\ Emisyon\ Miktarı = FV \times EF \times NKD \times YF$$

$$Yıllık\ Emisyon\ Miktarı_{(Kalsit)} = 0\ ton \times 0\ tCO_2/TJ \times -\ TJ/Gg \times 1$$

$$Yıllık\ Emisyon\ Miktarı_{(Kalsit)} = 0\ tCO_2e/yıl$$

4.4. Hesaplamanın Yapılması

Farklı enerji kaynakları kullanımı sonucunda, hesaplama temelli yöntem ile yıllık toplam sera gazı emisyonları ve toplam sera gazı emisyonu Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Sera gazı emisyonunun belirlenmesi

Kaynak Akışı	Faaliyet Verisi (ton)	NKD	EF	YF/DF	Toplam Sera Gazı Emisyon (ton CO₂)
Doğalgaz	809,81	46,82238	57,26768	1	2.171,44
Diğer Bitümlü Kömür	324.399,5334	10,42429	117,6383	1	397.808,23
LPG	540	47,31	63,07	1	1,61
Motorin	3096,925	43,33	72,78	1	9,766330751
Aritma Çamuru Gazı	2322,25714	36,05	0	-	0
Kalsit	0,00	0	0,44	1	0
					399.991,05 tCO₂e/yıl

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

İşletmede, kaynak akışı olarak doğalgaz, linyit kömürü, kalsit, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazları ve arıtma çamuru gazı(biyogaz) bulunmaktadır.

Kömür kaynak akışının türü “katı yakıtlar” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “büyük” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 1.087.863,42 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz kaynak akışının türü “diğer gaz ve sıvı yakıtlar” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “küçük” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 29.970,17 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

LPG kaynak akışının türü “ticari standart yakıtlar” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “önemsiz” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 2,19 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Motorin kaynak akışının türü “ticari standart yakıtlar” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “önemsiz” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 2,06 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Arıtma çamuru gazı (biyogaz) kaynak akışının türü “diğer gaz ve sıvı yakıtlar” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “önemsiz” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 0 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Kalsit kaynak akışının türü “temizleme (desülfürizasyon): yöntem A” olarak belirlenmiştir. Kategori seçiminde “önemsiz” olarak sınıflandırılmıştır. Tahmini emisyon 853,16 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Bunların hepsinin toplanması ile toplam yıllık tahmini emisyon hesaplanmıştır. Tesisler yıllık olarak emisyon miktarı **1.118.691,00** tCO₂e/yıl bulunmuştur.

Tesisin Hesaplama Temelli Yöntem ile sera Emisyonu hesaplaması yapıldığında;

Kömür kaynağının, hesaplanmış emisyonu 397.808,23 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz kaynağının, hesaplanmış emisyonu 2.171,44 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

LPG kaynağının, hesaplanmış emisyonu 1,61 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

- Motorin kaynağının, hesaplanmış emisyonu 9,766330751 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.
- Arıtma çamuru gazı (biyogaz) kaynağının, hesaplanmış emisyonu 0 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.
- Kalsit kaynağının, hesaplanmış emisyonu 0 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yıllık toplam sera gazı emisyonu **399.991,05 tCO₂e/yıl** olarak hesaplanmıştır. Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ'ine Göre kategori C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 de 2024 yılı tahmini ve hesaplanan toplam sera gazı emisyonun karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. 2024 yılı tahmini ve hesaplanan toplam sera gazı emisyonun karşılaştırması

Kaynak Akışı	Tahmini Toplam Sera Gazı Emisyonu (tCO ₂ e/yıl)	Hesaplanan Toplam Sera Gazı Emisyonu (tCO ₂ e/yıl)
Doğalgaz	29.970,17	2.171,44
Diğer Bitümlü Kömür	1.087.863,42	397.808,23
LPG	2,19	1,61
Motorin	2,06	9,766330751
Arıtma Çamuru Gazı	0	0
Kalsit	853,16	0
Toplam	1.118.691,00	399.991,05

Bu çalışmada faaliyet verileri, Ulusal Envanter Raporu ve Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ verilerinden yola çıkarak tesisin yıllık tahmini toplam sera gazı emisyonu 1.118.691,00 tCO₂e/yıl belirlenmiştir. Bunun yanı sıra işleme hesaplama temelli yöntem kullanarak sera gazı emisyonu 399.991,05 tCO₂e/yıl hesaplanmıştır. Bu fark, sera gazı emisyon hesaplamalarında emisyon kaynağından alınan verilerin daha spesifik ve daha doğru olmasından kaynaklıdır.

5.2. Öneriler

İşletmede sera gazı emisyonun en büyük kaynağı kömürün yanması kaynaklıdır. Kullanım miktarının yüksek olması nedeniyle, büyük kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. Kömür kaynaklı sera gazı emisyonunun nedeni işletme elektrik enerjisinin ihtiyacının büyük kısmını, kömürün yakılması karşılamaktadır. İşletme her

gün gelişerek büyümesine devam etmektedir. Bu nedenle işletmenin elektrik ihtiyacının her geçen gün daha da artmaktadır. Aynı zamanda işletme kömürün yanması ile buhar elde etmektedir. Bu buhar işletmedeki belirli proseslerde kullanılmaktadır. Bu sebeplerle kömürün yanması kaynaklı emisyonlar devam edecektir. Fakat elektrik enerjisi için yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Buhar kullanılan proseslerin gözden geçirilerek, buhar kullanımları optimize edilmelidir. Alınacak olan bu önlemler ile sera gazı emisyonunda azaltıma gidilmiş olur.

İşletmede sera gazı emisyonunda ikinci önemli kaynak doğalgaz tüketimidir. Fakat kullanım miktarının düşük olması nedeniyle, küçük kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. Doğalgaz işletmede buhar kazanları ile elektrik enerjisi üretiminde ve yemekhanelerde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Yemekhaneler için tasarruflu ocaklar tercih edilmelidir ve bilinçli şekilde kullanılmalıdır. Bu önlemler ile sera gazı emisyonunda azaltıma gidilmiş olur.

Motorin tüketimi, işletmede sera gazı emisyonunun sebeplerindendir. Kullanım miktarının düşük olması nedeniyle, önemsiz kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. Motorin işletmede dizel jeneratör ve yangın pompalarında kullanılmaktadır. Sera gazı emisyonunda azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklı jeneratör kullanımına geçilebilir.

LPG tüketimi, işletmede sera gazı emisyonunun sebeplerindendir. Kullanım miktarının düşük olması nedeniyle, önemsiz kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. Yemekhaneler için tasarruflu ocaklar tercih edilmelidir ve bilinçli şekilde kullanılmalıdır. Bu önlemler ile sera gazı emisyonunda azaltıma gidilmiş olur.

Aritma çamuru gazı(biyogaz) tüketimi, işletmede sera gazı emisyonunun sebeplerindendir. Kullanım miktarının düşük olması nedeniyle, önemsiz kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. Aritma çamuru gazı biyogaz olarak kullanılmaktadır ve kullanılamayan kısım flare de yakılmaktadır.

Kalsit tüketimi, işletmede sera gazı emisyonunun sebeplerindendir. Kullanım miktarının düşük olması nedeniyle, önemsiz kaynak akışı olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı tahmini ve hesaplanan toplam sera gazı emisyonu arasındaki farklılıklardan biri de 2024 yılında proseslerde kalsit kullanılmamış olmasıdır. Kalsit tesisin yakma sistemlerinde kullanılmaktadır. Proseslerin kalsit kullanımını ortadan kaldıracak şekilde revize edilmesi durumunda sera gazı emisyonunda azaltıma gidilmiş olur.

6. KAYNAKLAR

- Aksay, C. S., Ketenoğlu O., ve Kurt, L. (2005). Küresel ısınma ve iklim değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-41.
- Anonim 1. (2023). *Türkiye'nin tarafı olduğu bazı çok taraflı çevre anlaşmalarına ilişkin bilgiler* [Resmi İnternet Sitesi]. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://ab.csb.gov.tr/anlasmalar-i-98915>
- Anonim 2. (2023). *Turkish greenhouse gas inventory 1990-2021*. Türkiye İstatistik Kurumu. https://biruni.tuik.gov.tr/yayin/views/visitorPages/yayinGoruntuleme.zul?yayin_no=611
- Anonim 3. (2025). *Europe's environment and climate: Knowledge for resilience, prosperity and sustainability*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/main-report>
- Anonim 4. (2009). *International local government GHG emissions analysis protocol*. https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2016/03/IEAP_October2010_Color.pdf
- Anonim 5. (2023). *UK government GHG conversion factors for company reporting*. Department for Environment Food and Rural Affairs.
- Anonim 6. (2014). *Sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması hakkında tebliğ*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/07/20140722-5.htm>
- Anonim 7. (2021). *İzleme ve raporlama tebliği izleme planı kılavuzu*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/izleme-planı--8230-61-20220921093558.pdf>
- Aşır, B. (2024). *Karbon ayak izinin hesaplanması: Alüminyum firması örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Atabey, T. (2013). *Karbon ayak izinin hesaplanması: Diyarbakır örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayhan, D. (2010). *Enerji, çevre ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında küresel iklim değişikliği sorunsalı ve Kyoto protokolü: Türkiye analizi* [Doktora Tezi]. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Birpınar, M. E. (2023). Net sıfır yolunda döngüsellığe geçiş. *IPA Yeşil Gündem*, 2, 56-62.
- Büyükcım, M. Z. ve Bedük, F. (2023). Konya gençlik merkezi karbon ayak izi. *Nigde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1101-1108. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1243783>

- Dinar, H. H. A. (2023). Global actions on climate change: The health system focus – A Systematic Review. *Saudi Journal of Health Systems Research*, 3(1-4), 1-9. <https://doi.org/10.1159/000528427>
- Ekinci, F. (2022). *Bursa ili karayolundan kaynaklanan karbon ayak izi miktarının belirlenmesi ve alınabilecek önlemlerin ortaya konulması* [Yüksek Lisans Tezi], Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertuğrul, S. (2023). *Sera gazı emisyonu hesaplamalarında yapay zeka uygulamaları*. [Yüksek Lisans Tezi], Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Gülen, J. ve Çeşmeli, Ç. (2012). Biyogaz hakkında genel bilgi ve yan ürünlerinin kullanım alanları. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5 (1), 65-84.
- Güler, Y. (2018). Sera gazları, iklim değişikliğinde sera gazı emisyonlarının rolü ve emisyon ticareti. *2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, Sakarya University Culture and Congress Center, Sakarya - Turkey 04-06 May 2018*, 517-527.
- Kabacıoğlu, N. (2012). *Sanayi kuruluşlarında sera gazı salınımları ve sera gazı hesaplama yöntemleri*. [Yüksek Lisans Tezi], Kocaeli Üniversitesi.
- Kaçmaz, E. (2025). *Seçilmiş gelişmiş ülkelerde ekonomik büyüme ile sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği ilişkisinin analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Korkmaz, K. (2007). Küresel ısınma ve tarımsal uygulamalara etkisi. *Alatarım*, 6(2), 43-49.
- Martins, R.S., Poulakidis, K., Razi, S. S., Latif, M. J., Tafuri, K., ve Bhora, F. Y. (2023). From emissions to incisions and beyond: The repercussions of climate change on surgical disease in low- and-middle-income countries. *BMC Surgery*, 23(1), 348, s12893-023-02260-02268. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02260-8>
- Orhan, A. E. (2018). *Çimento üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pekin, M. A. (2006). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sancaklı, E. (2024). Türkiye’de karbon ayak izi konulu lisansüstü tezlerinin incelenmesi. *Peyzaj*, 6(1), 50-60. <https://doi.org/10.53784/peyzaj.1502539>
- Savaş, D. Ö. (2021). *Bursa inegöl ilçesi sera gazı envanterinin çıkarılması ve iklim değişikliği eylem planı kapsamında sera gazı azaltım planı* [Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://www.proquest.com/docview/2652595663/abstract/1B0EA5ECBCE4457DPQ/1>

- Seyedabadi, M. R., Karrabi, M., ve Moghaddam, A. M. (2023). The potential of CO2 emission reduction via replacing cement with recyclable wastes in the construction industry sector: The perspective of Iran's international commitments. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 23(4), 467-483. <https://doi.org/10.1007/s10784-023-09620-y>
- Soni, A. R., Amrit, K., ve Shinde, A. M. (2023). COVID-19 and transportation of India: Influence on infection risk and greenhouse gas emissions. *Environment, Development and Sustainability*, 25(8), 7377-7392. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02311-9>
- Söyler, H. (2025). Gerze Meslek Yüksekokulu'nun karbon ayak izi hesaplaması, Monte Carlo analizi ve sürdürülebilirlik stratejileri. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 10(4), 328-337. <https://doi.org/10.35229/jaes.1630670>
- Uğur, O. (2021). *Nevşehir ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üreden, A. (2019). *Sürdürülebilir yaşam için karbon ayak izi (Çankırı Karatekin Üniversitesi örneği)* [Yüksek Lisans Tezi], Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yasar, A., ve Yalçın, N. (2023). Voluntary disclosure of scope 3 greenhouse gas emissions and earnings management: Evidence from UK companies. *Cogent Business and Management*, 10(3), 1-18. <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2275849>
- Yavuz, A. B., Kara, O., ve Yanıktepe, B. (2023). Karbon ayak izi tespiti: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1523-1530. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1327500>
- Yenice, Z. F. (2020). Şehir sera gazı emisyon envanteri hesaplama: Karşılaştırılabilir veri sağlama ve iklim eylem planları için ilk adım. Yenice, Z. F., Ünal, B., Yamaç, G., Derman Sıddıqui, S., Hayrulloğlu G., Yalçiner Ercoşkun, Ö. (Ed.). *Enerji kent planlaması* (s. 7). İKSAD publishing house.