

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNİN
SERA GAZI EMİSYONLARI AÇISINDAN
KARŞILAŞTIRILMASI

Çağla AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA

Temmuz, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL KATI ATIK BERTARAF TESİSLERİNİN SERA
GAZI EMİSYONLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

Çağla AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sadullah Levent KUZU, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Kentsel Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Sera Gazı Emisyonları Açısından Karşılaştırılması” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Çağla AYDIN

İmza



Aileme

ve

Ailem kadar yakın tüm sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, yüksek lisans sürecimin her aşamasında yanımda olan ve bana rehberlik eden danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA'ya,

İSTAÇ AŞ de birlikte çalıştığım, bana her zaman destek olan yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma,

Tez çalışmam boyunca bilgi, beceri ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan arkadaşlarıma,

Son olarak benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tüm kararlarımda arkamda duran sevgili aileme ve tüm sevdiklerime

Sonsuz teşekkür ederim.

Çağla AYDIN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	9
2 SERA GAZI EMSYONLARI VE ATIK BERTARAFI	10
2.1 Atık Yönetimi ve Sera Gazı Emisyonları	10
2.1.1 İklim Değişikliği ve Sera Gazı Emisyonları	10
2.1.2 Atık Yönetim Stratejileri	12
2.2 Atık Bertarafı ve Atıktan Enerji Üretim Teknolojileri.....	14
2.2.1. Katı Atık Yakma Tesisleri	14
2.2.2 Düzenli Depolama ve Enerji Üretim Tesisleri	16
2.2.3. Biyogaz Tesisleri	18
2.3 Emisyon Azaltım Mekanizmaları	20
2.3.1 Karbon Ticareti	20
2.3.2 Karbon Kredisi	22
3 MATERYAL VE METOT	30
3.1 İstanbul Katı Atık Bertaraf Tesisleri.....	30
3.1.1 Kemerburgaz Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisleri	30
3.1.2 Silivri-Seymen Düzenli Depolama Sahası ve Depo Gazından Enerji Üretim Tesisleri	31
3.1.3 Kemerburgaz Biyometanizasyon Tesisleri	31
3.2 Sera Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi	32
3.2.1 IPCC Metodolojisi	32
3.2.2 Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması	34
3.2.3 Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Emisyonları	35

3.2.4 Düzenli Depolama ve Depo Gazından Enerji Üretim Emisyonları	36
3.2.5 Biyometanizasyon Tesisi Emisyonları	38
3.3 Karbon Kredi Hesaplaması	39
3.3.1 Başlıca Parametreler	39
3.3.2 Hesaplama Formülleri.....	40
3.3.3 Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi.....	41
3.3.4 Seymen Depo Gazından Enerji Üretim Tesisi	42
3.3.5 Biyometanizasyon Tesisi	42
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1 Tesis Emisyonları Karşılaştırması	43
4.2 Karbon Kredileri Karşılaştırması	48
5 SONUÇ	54
KAYNAKÇA	58
A IPCC KÜRESEL ISINMA POTANSİYELLERİ	65
B IPCC EMİSYON FAKTÖRLERİ	66
C GS7529 HESAPLAMA DOKÜMANLARI	67
D GS7738 HESAPLAMA DOKÜMANLARI	74
E GS7528 HESAPLAMA DOKÜMANLARI	79
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	89

SİMGE LİSTESİ

CO ₂	Karbondioksit
CO ₂ e	Karbondioksit eşdeğeri
CH ₄	Metan
N ₂ O	Nitröz oksit



KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
BM	Birleşmiş Milletler
BSE	Başlangıç Senaryosu Emisyonları
EF	Emisyon Faktörü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi
EÜKEA	Elektrik Üretiminden Kaynaklanan Emisyon Azaltımı
GS	Gold Standart
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSTAÇ	İSTAÇ İstanbul Çevre Yönetim San. ve Tic. A.Ş.
KE	Kaçak Emisyonlar
LFG	Depo Gazından Enerji Üretimi
MKEA	Metan Kaynaklı Emisyon Azaltımı
NEA	Net Emisyon Azaltımı
NKD	Net Kalorifik Değer
PDD	Proje Tasarım Dokümanı
PSE	Proje Senaryosu Emisyonları
SKA	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAEP	Ulusal Atık Eylem Planı
WWF	Dünyayı Koruma Vakfı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Sera etkisi	1
Şekil 1.2 Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu	2
Şekil 1.3 Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları dağılımı	4
Şekil 1.4 İstanbul atık karakterizasyonu	6
Şekil 1.5 Küresel sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı	8
Şekil 2.1 Atık yönetimi hiyerarşisi	12
Şekil 2.2 Türkiye atık dağılımı	13
Şekil 2.3 Yakma tesisi akış şeması	15
Şekil 2.4 Kentsel katı atık yakma tesisi üniteleri.....	15
Şekil 2.5 Katı atık düzenli depolama sahası görünümü	17
Şekil 2.6 Depo gazından enerji üretim tesisi şeması	17
Şekil 2.7 Biyometanizasyon tesisi şeması	18
Şekil 2.8 Çeşitli biyokütle kaynaklarından biyoenerji üretimi	19
Şekil 2.9 Anaerobik çürüme ile atıktan enerji geri kazanım mekanizması	19
Şekil 2.10 Emisyon ticaret sistemi olan ülkeler.....	21
Şekil 2.11 Emisyon ticaret sistemi işleyişi	21
Şekil 2.12 ETS emisyon ağırlıklı karbon fiyatı	22
Şekil 2.13 Karbon denkleştirme mekanizması	23
Şekil 2.14 Gönüllü karbon piyasası sertifikasyon kuruluşları	24
Şekil 2.15 Karbon kredi mekanizması	25
Şekil 2.16 Gold Standart listeleme döngüsü	26
Şekil 2.17 Gold Standart validasyon döngüsü	26
Şekil 2.18 Gold Standart verifikasyon döngüsü	27
Şekil 2.19 Gold Standart revalidasyon döngüsü	28
Şekil 2.20 Gold Standart geçiş döngüsü	28
Şekil 2.21 Gold Standart tasarım değişikliği döngüsü.....	29
Şekil 2.22 Gold Standart yıllık rapor döngüsü	29
Şekil 3.1 Kemerburgaz atık yakma ve enerji üretim tesisi	30
Şekil 3.2 Seymen düzenli depolama ve enerji üretim tesisi	31
Şekil 3.3 Kemerburgaz biyometanizasyon tesisi	32
Şekil 4.1 Tesis sera gazı emisyon değerleri karşılaştırması.....	45
Şekil 4.2 Karbon kredisi satış fiyatları ve ülke % dağılımı	52

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Sektörlere göre sera gazı emisyonları	3
Tablo 3.1 Atık yakma tesisi emisyon faktörleri	36
Tablo 3.2 Depo gazı emisyon faktörleri.....	37
Tablo 3.3 Atık miktarları.....	378
Tablo 3.4 Metan oluşumu.....	38
Tablo 3.5 Biyogaz emisyon faktörleri	39
Tablo 4.1 Tesis atık ve enerji miktarları	49
Tablo 4.2 GS7529 projesi karbon kredi hesabı	49
Tablo 4.3 GS7738 projesi karbon kredi hesabı	50
Tablo 4.4 GS7528 projesi karbon kredi hesabı	50
Tablo 4.5 Tesis karbon kredi karşılaştırması.....	51
Tablo 4.6 Birim atık bazında tesis karşılaştırması	51
Tablo 4.7 Karbon kredi getirileri.....	52

Kentsel Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Sera Gazı Emisyonları Açısından Karşılaştırılması

Çağla AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ebru KOCA AKKAYA

Dünyada hızla artan nüfus, kentleşme ve yaşam standartlarındaki iyileşme, her yıl daha fazla atık üretilmesine neden olmaktadır. Küresel sera gazı emisyonlarının %3,2'si, Türkiye'deki emisyonların ise %3'ü atıklardan kaynaklanmaktadır. Atıkların oluşturduğu sera gazı emisyonlarının azaltılması için şehrin coğrafi yapısına, özgünlüklerine ve atık yapısına uygun doğru ve sürdürülebilir teknoloji seçimi oldukça önemlidir.

Atık oluşumunu önleme, azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve bertaraf aşamalarını içeren atık yönetim hiyerarşisi, uygun teknoloji seçimi açıdan önemli bir çerçeve sağlamaktadır. Atık yakma tesisleri, enerji geri kazanımını sağlayarak atık hacmini azaltırken, biyometanizasyon tesisi kaynağında atık ayrıştırmaya dayanan ve organik atıkları biyogaza dönüştürerek enerji üretimi sağlayan tesislerdir. Düzenli depolama sahaları ise nihai bertaraf ile bu hiyerarşinin en alt basamağında yer almaktadır.

Biyokütlenin yanması veya biyolojik olarak ayrışması ile oluşan CO₂ emisyonlarını kapsayan biyojenik kaynaklı emisyonların, toplam emisyonun %56'sını oluşturduğu düzenli depolama tesislerinde emisyon azaltımı, oluşan depo gazının

gaz motorlarında yakılarak elde edilmesiyle sağlanmaktadır. Alt yapı eksikliği, yasal düzenlemelerin ve denetimlerin yetersizliği ve ekonomik zorluklar gibi pek çok nedenden dolayı atıkların kaynağında ayrıştırılmasının yetersiz olması sonucu, kentsel katı atık içeriğinin yaklaşık olarak yarısı organik maddelerden oluşmaktadır. Bu durum, metan gazı oluşumunun da artmasına neden olmaktadır. Geniş arazilere ihtiyaç duyulan düzenli depolama tesislerinde atık taşıma esnasında oluşan emisyonlar da önemli bir dezavantajdır.

Atık yakma tesislerinde toplam emisyonun %57'sini biyogenik emisyonlar %43'ünü ise biyogenik olmayanlar emisyonlar oluşturmaktadır. Bu tesislerde düzenli depolama sahalarına kıyasla aynı miktarda atıktan 7-8 kat daha fazla enerji üretebilmektedirler. Atık yakma tesisleri, fosil yakıtlardan elde edilen enerjiye bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarının azaltımına katkıda bulunmaktadır. Ancak, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri ile tehlikeli uçucu kül ve hava kirleticilerini yönetme zorlukları göz önünde bulundurulmalıdır.

Biyometanizasyon tesisleri, kaynağında ayrıştırılmış organik atıkların işlenmesiyle diğer tesislere kıyasla en düşük sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Bu tesislerde oluşan toplam emisyonun neredeyse tamamı biyogenik kaynaklıdır. Ancak İstanbul'da kaynağında ayrıştırılmış organik atık oranının düşük olması, biyometanizasyon tesislerinin etkin kullanımını sınırlandırmaktadır.

İstanbul'da kentsel katı atık bertaraf teknolojilerinin sera gazı emisyonlarına etkilerini değerlendiren bu çalışmada, üç farklı atık bertaraf metodu; düzenli depolama, atık yakma ve biyometanizasyon teknolojileri ele alınmıştır. IPCC metodolojisine göre her üç teknolojiye de 1.000.000 ton atık bertaraf edildiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre düzenli depolama tesislerinde yıllık toplam 1.037.939,71 ton CO₂e, atık yakma tesisinde 1.064.254,93 ton CO₂e ve biyometanizasyon tesisinde 801.582,91 ton CO₂e sera gazı emisyonu oluştuğu görülmektedir.

Bu çalışmanın, katı atık bertaraf teknolojilerinin sera gazı emisyonları bakımından karşılaştırılması sayesinde atık kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda geliştirilen stratejilere kaynak teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzenli depolama, atık yakma, biyometanizasyon, sera gazı emisyonları, sürdürülebilir atık yönetimi.



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Comparison of Urban Solid Waste Disposal Facilities in Terms of Greenhouse Gas Emissions

Çağla AYDIN

Department of Environmental Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç.Dr. Ebru KOCA AKKAYA

The rapidly increasing population, urbanization, and improving living standards worldwide lead to the generation of more waste each year. This increasing amount of waste accounts for 3.2% of global greenhouse gas emissions and 3% of emissions in Turkey. Selecting appropriate and sustainable technologies tailored to the city's geographical structure, specific characteristics, and waste composition is crucial for reducing greenhouse gas emissions caused by waste. The waste management hierarchy, which includes waste prevention, reduction, reuse, recycling, and disposal stages, provides a significant framework for selecting suitable technologies. Waste incineration plants reduce waste volume through energy recovery, while biometanization plants convert organic waste into biogas for energy production based on waste separation at the source. Landfills, on the other hand, represent the lowest tier of this hierarchy, involving final disposal.

Emission reduction in landfill facilities where biogenic emissions, which include CO₂ emissions generated by the combustion or biodegradation of biomass, constitute 56% of total emissions, is achieved by combusting the landfill gas in gas engines. Due to inadequate separation of waste at its source resulting from various factors such as infrastructure deficiencies, differing levels of awareness, insufficient legal regulations and inspections, and economic challenges, approximately half of

urban solid waste content consists of organic materials. This situation contributes to an increase in methane gas formation. Additionally, emissions during waste transport in sanitary landfill facilities requiring extensive land area are also a significant disadvantage.

In waste incineration plants, 57% of total emissions are biogenic emissions and 43% are non-biogenic emissions. These facilities can produce 7-8 times more energy from the same amount of waste compared to landfill sites. Waste incineration plants contribute to the reduction of global greenhouse gas emissions by reducing dependence on energy from fossil fuels. However, high initial investment and operating costs and difficulties in managing hazardous fly ash and air pollutants should be taken into account.

Biomethanization plants cause the lowest GHG emissions compared to other plants by processing source-separated organic waste. Almost all of the total emissions from these plants are biogenic. However, the low rate of source-separated organic waste in Istanbul limits the effective use of biomethanization plants.

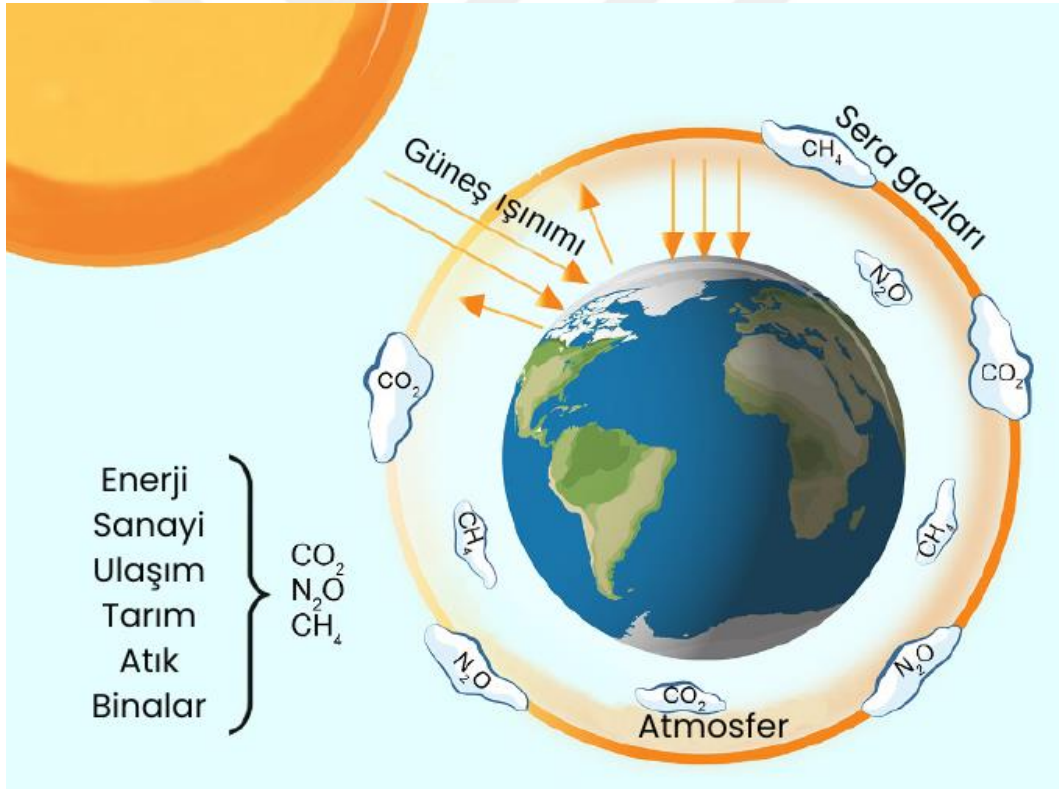
In this study evaluating the effects of municipal solid waste disposal technologies on greenhouse gas emissions in Istanbul, three different waste disposal methods; landfill, waste incineration and biomethanisation technologies were considered. According to IPCC methodology, calculations were made assuming that 1.000.000 tonnes of waste was disposed in all three technologies. According to the results obtained, it is seen that a total of 1.037.939,71 tonnes CO₂e, 1.064.254,93 tonnes CO₂e and 801.582,91 tonnes CO₂e greenhouse gas emissions occur in landfill, waste incineration and biomethanisation facilities, respectively.

The aim of this study is to compare solid waste disposal technologies in terms of greenhouse gas emissions and to serve as a source for the strategies developed to reduce greenhouse gas emissions from waste.

Keywords: Landfill, waste incineration, biomethanation, greenhouse gas emissions, sustainable waste management.

1.1 Literatür Araştırması

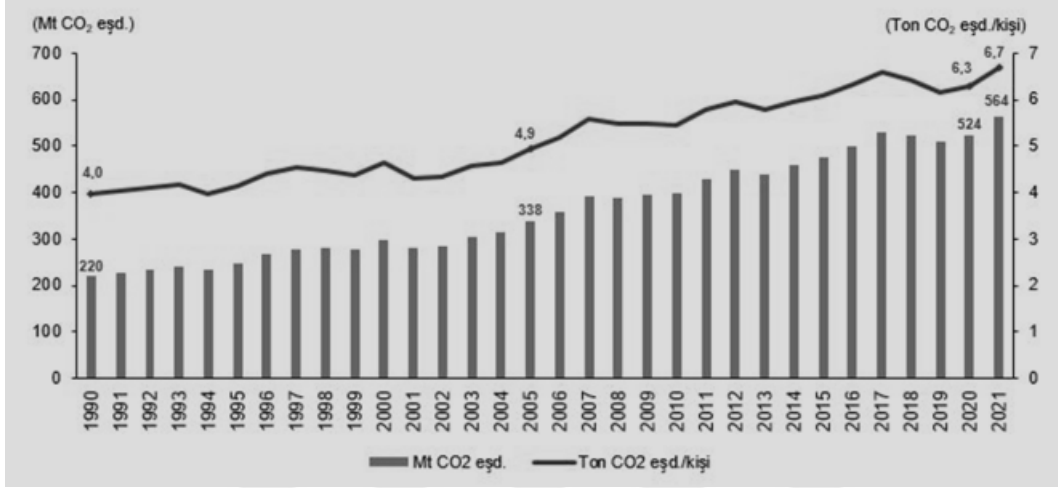
İklim değişikliği, günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu küresel sorunun temel kaynağı insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının artmasıdır. Karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), nitroz oksit (N_2O) gibi sera gazları, atmosferde birikerek sera etkisi yapar. Bu da yer kürenin ısınmasına ve iklim dengesinin bozulmasına yol açmaktadır [1] (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Sera etkisi [2]

Sera gazı emisyonlarının artışı, enerji, ulaşım ve endüstrinin gelişmesiyle birlikte artmaktadır. Küresel iklim değişikliği ile mücadelede ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında, sera gazı emisyonlarının azaltılması en önemli unsurlardan biridir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de sera gazı azaltımı için

belirlenen stratejiler çerçevesinde pek çok adım atılmaktadır. Türkiye'deki sera gazı emisyon artışının tarihsel gelişimi Şekil 1.2'de gösterilmiştir. 1990 yılında 228 ton CO₂e olan sera gazı emisyonu 2021 yılında 572 ton CO₂e, 2022 yılında 558,3 ton CO₂e değerine ulaşmıştır. Türkiye'nin toplam emisyonunda 1990 yılından 2022 yılına kadar %144,9'luk bir artış olmasına karşın 2021-2022 yılları arasında %2,4'lük bir azalma olmuştur.



Şekil 1.2 Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu [3]

Sera gazı emisyonlarının temel kaynakları arasında yer alan enerji üretimi, sanayi faaliyetleri, tarım ve ulaşım gibi sektörlerin yanı sıra; katı atıkların yönetimi de emisyon kaynağı olarak önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'de emisyon oluşumuna neden olan sektörler ve emisyon dağılımı Tablo 1.1'de gösterilmiştir. Atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyonu miktarları 1990-2022 yılları arasında %57,7 artmıştır. Diğer üç sektör 2021-2022 yılları arasında sera gazı oluşumunda azalış gösterirken, atık sektörü %5,5 artış göstermiştir. 2021 yılında 84,15 milyonluk nüfusta kişi başı 1,13 kg atık üretilirken; 2022 yılında 84,98 milyonluk nüfus için kişi başı 1,03 kg atık üretilmiştir [4], [5]. Bu veriler ulusal ve küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltımı stratejilerinde atık emisyonlarının azaltılmasının önemini ortaya koymaktadır.

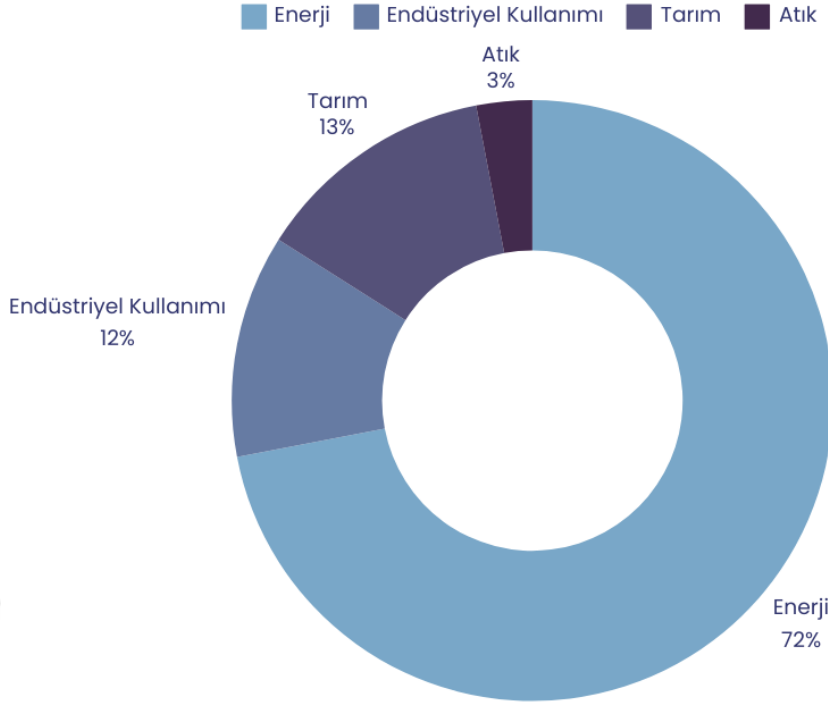
Kişi başı üretilen atık miktarındaki düşüğe rağmen sera gazı emisyonlarının artış göstermesi pek çok parametreye bağlı olabilir. Bu durum atık yönetim süreçlerindeki yetersizlikler, atık kompozisyonundaki değişiklikler ve bertaraf yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi, bertaraf tesislerinin yönetimindeki eksikliklerden de kaynaklanabilmektedir. Bu durum, atık kaynaklı

emisyonların azaltılmasında yalnız atık miktarının azaltılması değil, oluşan atıkların doğru yönetilmesinin de oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1.1 Sektörlere göre sera gazı emisyonları [3]

YIL	Enerji	Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı	Tarım	Atık	Toplam Emisyon
1990	143,1	22,7	51,8	10,3	228,0
1995	170,0	25,4	49,0	12,1	256,5
2000	219,8	26,1	46,0	14,5	306,4
2005	247,7	34,0	46,3	16,9	344,8
2010	290,9	48,6	47,7	18,1	405,3
2015	344,0	59,2	59,2	17,7	480,1
2020	369,5	67,2	76,4	17,0	530,2
2021	406,5	74,7	75,4	15,4	572,0
2022	400,6	69,9	71,5	16,3	558,3
1990 – 2022 değişim (%)	179,8	208,1	37,9	57,7	144,9
2021 – 2022 değişim (%)	-1,4	-6,4	-5,1	5,5	-2,4

Özellikle büyük şehirlerde, artan nüfus ve ekonomik faaliyetler, katı atık miktarını sürekli olarak arttırdığından bu atıkların yönetimi, sera gazı emisyonlarının azaltılması stratejilerinin oluşturulmasında kritik bir role sahiptir. Türkiye’de 2022 yılında oluşan 558,3 milyon ton CO₂e’in sektörlere göre % dağılımı Şekil 1.3’te gösterilmiştir. Buna göre Türkiye’de, enerji sektörünün toplam emisyonların %72’sini oluşturarak en çok sera gazı emisyonu salımına neden olan sektör olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3 Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları dağılımı [3]

İstanbul’da günlük ortalama 20 bin ton atık üretilmektedir ve 2023 yılında yaklaşık 7 milyon ton kentsel katı atık bertaraf edilmiştir [6]. Katı atıklar, uygun şekilde yönetilmediğinde önemli miktarda sera gazı salımına neden olmaktadır. Bu nedenle, katı atıkların kaynağında ayrıştırılması ve bertaraf edilme yöntemleri, sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Gelişmiş ülkelerde atıkların, atık yönetim hiyerarşisine uygun olarak yönetildiği ve atık yönetim stratejilerinin atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri dönüşüm ve atıktan kompost üretimi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise genellikle vahşi depolama ve düzenli depolama daha yaygın olan uygulamalardır. Bunun en temel nedenleri; uygulama kolaylığı ve maliyetlerin düşüklüğü olarak görülmektedir [7].

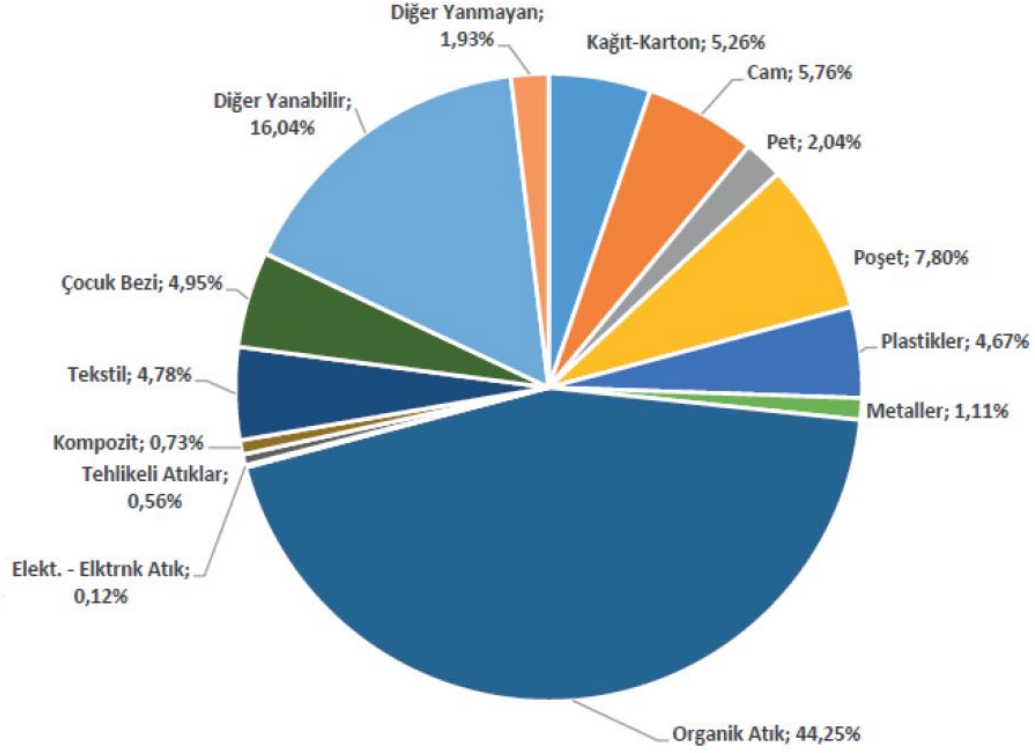
Atık bertaraf proseslerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını incerken değerlendirilmesi gereken en önemli konulardan biri düzenli depolama kaynaklı emisyonlardır. En yüksek emisyonların, vahşi depolama ile bertaraf edilen atıklarda oluşan metandan kaynaklandığı belirtilmektedir. Bu noktada düzenli depolama yöntemine geçilmesine ek olarak, metan yakalama oranlarının artırılarak yakılmasıyla birlikte, emisyonların azalacağı ön görülmektedir. Sera gazı emisyon azaltımı için en yüksek fayda geri dönüşüm yoluyla elde edilmektedir [8].

Büyük şehirlerde katı atık bertaraf teknolojilerinin emisyon karşılaştırmasında çeşitli senaryolar çalışılmaktadır. Bu noktada atık içeriğine uygun proses seçimi en önemli faktörlerden biridir. Buna göre depolama sahalarında depolanan katı atıkların biyolojik olarak tam ayrışmaması ve yakma tesislerindeki katı atıkların büyük bir kısmının oksidasyona uğraması nedeniyle yakma tesis emisyonları daha yüksek hesaplanmaktadır. Yine biyometanizasyon ve kompost tesislerinde yüksek oranda son ürüne dönüşme sayesinde sera gazı salımının diğer proseslere göre daha düşük olduğu görülmektedir [9].

En temel bertaraf yöntemlerinden olan düzenli depolama, kompostlaştırma ve biyometanizasyon tesislerinin sera gazı emisyonları nüfus ve atık projeksiyonları ile birlikte karşılaştırıldığında, depolama sahalarında oluşan sera gazı emisyonlarının yıllara sari azalmasına karşın, her durumda diğer iki prostesten çok daha yüksek emisyon olduğu görülmekte ve bu nedenle atık kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması için biyometanizasyon ve kompostlaştırma proseslerinin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [10].

Nüfus artışıyla birlikte üretilen atık miktarı ve enerji talebi, atıktan enerji üretim teknolojilerinin sürdürülebilir bir yaklaşımla hem atıkların bertaraf edilmesine hem de enerji ihtiyacının karşılanmasına katkı sağladığı görülmektedir. Bu bakımdan termal bertaraf teknolojileri, düzenli depolamaya göre çok daha büyük avantajlar sağlamaktadırlar [11].

Katı atık bertaraf teknolojisi seçiminde, sera gazı azaltımı dışında, şehrin fiziksel koşulları ve atık bileşenleri de kritik öneme sahiptir. İstanbul ili için atık karakterizasyonu Şekil 1.4'de gösterilmektedir.



Şekil 1.4 İstanbul atık karakterizasyonu [12]

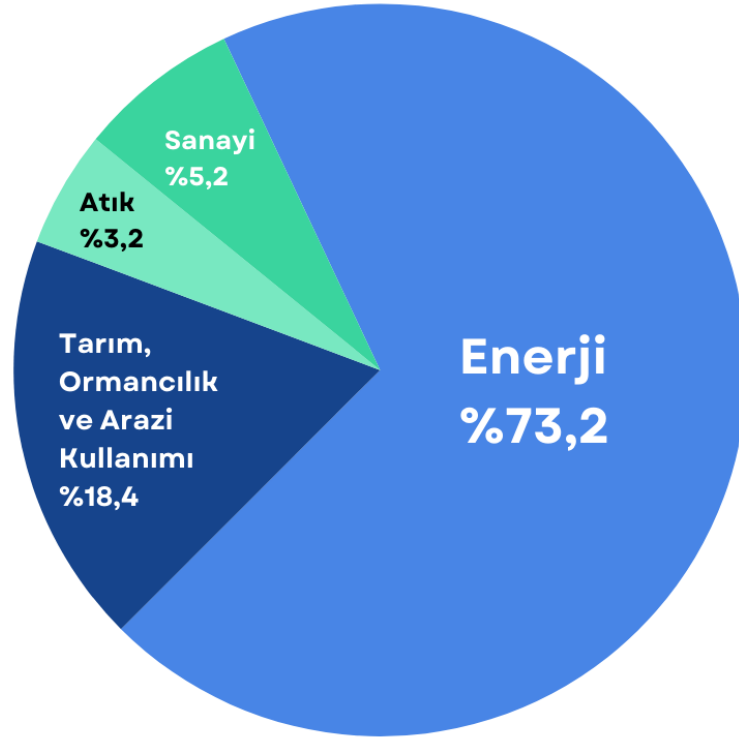
Buna göre kentsel katı atıklarının yaklaşık %52'sinin organik atık olduğu görülmektedir. Biyometanizasyon prosesi, sera gazı emisyonları bakımından daha tercih edilir olsalar da kaynağında ayrıştırılmış organik atık miktarının az olması ve bu atıkların bu prosenin işletildiği tesislere ulaşmasının zorluğu nedeniyle işletme sorunları bulunmaktadır [10].

Atık miktarı ve bertaraf yöntemine ek olarak atık bileşenlerinin de sera gazı emisyonuna doğrudan etki ettiği görülmektedir. Şangay'da atık kaynaklı sera gazı emisyonlarının değerlendirildiği bir çalışmada, plastik fraksiyonundaki %1'lik artışın yaklaşık 12,1 kg CO₂e sera gazı emisyonuna denk geldiği ortaya konmuştur [13]. Kaynakta ayrıştırmanın artmasıyla özellikle karışık belediye atıkları içerisinde bulunan plastiklerin ayrıştırılarak geri kazanılmasının sera gazı emisyonlarının azaltılmasına olumlu etki sağladığı görülmektedir. Kaynağında ayrıştırmanın esas olduğu geri dönüşüm ve biyometanizasyon proseslerinde, yakma ve depolama proseslerine göre çok daha az sera gazı emisyon salımı gerçekleşmektedir [14]. Kaynağında ayrıştırma, mevcut tesislerin emisyonlarını azaltma ve daha az emisyon salımı yapan proseslerin tercih edilmesi bakımından atık bertarafı kaynaklı sera gazı azaltımı için en önemli faktördür.

Tüm dünyada atık bertarafı temel olarak iki teknoloji üzerinden şekillenmektedir. Bu teknolojiler, katı atık yakma ve düzenli depolama tesisleridir. Yakma ve düzenli depolama sahalarında üç farklı senaryo olarak; düzenli depolama, yanmayan atıkların ayrı toplanması ve toplanmadığı durumlarda yakılması senaryoları ile yapılan çalışmalarda yanmayan atıkların ayrı toplanarak depolandığı ve kalan atıkların yakmaya gönderildiği senaryonun en düşük emisyonu sahip olduğu belirlenmiştir. Yanmayan atıkların ayrıştırılmadığı senaryoda ise yakma ve düzenli depolama emisyonlarının çok yakın olduğu görülmüştür [15].

Küresel ölçekte en yüksek emisyon kaynağı, enerji kaynaklı emisyonlardır. Atıkların bertarafı teknolojileri enerji üretimi bazında değerlendirildiğinde, düzenli depolama sahalarında bertaraf edilen atıklardan enerji üretiminin yapıldığı ve yapılmadığı seçenekleri için emisyon değerlerinin oldukça farklılaştığı görülmüştür. Pekin ve Tahran emisyonlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, depolama sahasından enerji üretim senaryosunun, sadece depolama senaryosuna göre %72 sera gazı emisyon azaltımı sağladığı görülmüştür [16].

İklim değişikliği ile mücadelede katı atıkların rolünü değerlendirirken, atık kaynaklı oluşan emisyonlara ek olarak yenilenebilir enerji üretiminin fosil yakıt kaynaklarına olan ihtiyacı azaltması göz ardı edilmemelidir. Toplam sera gazı emisyonlarının; dünyada %73,2, Türkiye’de ise %72’sini enerji kaynaklı sera gazı emisyonları oluşturmaktadır. Küresel sera gazlarının dağılımı Şekil 1.5’te gösterilmektedir. Bu bakımdan bütüncül bir emisyon azaltımı değerlendirmesinde katı atıkların yakılması yoluyla enerji üretiminin diğer yöntemlere göre daha fazla sera gazı salımına karşın, yüksek miktarda enerji üretmesi sayesinde fosil yakıt kullanımının azaltılmasına önemli katkı sağladığı görülmektedir [17].



Şekil 1.5 Küresel sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı [18]

Finansal analiz, bir prosesin seçiminde dikkat edilecek parametrelerin başında gelmektedir. Tesisin çevresel etkileri kadar finansal sürdürülebilirliğinin sağlanması önem taşımaktadır. Atıktan enerji üretim tesislerine, yenilenebilir enerji kaynağı olması nedeniyle enerji üretim teşviklerinin yanı sıra, tesis bazlı verilen karbon azaltım kredileri sayesinde projeler finansal olarak desteklenmektedir. Bu finansal katkı tesislerin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve çevreci tesislerin teşviki konusunda önem arz etmektedir [19].

Katı atık bertaraf tesislerinin emisyonlarının değerlendirildiği akademik çalışmalar, atık yönetiminde kullanılan farklı yöntemlerin çevresel etkilerini karşılaştırmak ve bu yöntemlerin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi bakımından önemli olanaklar sağlamaktadır. Bu tez çalışması, literatürdeki mevcut bilgileri İstanbul'un kentsel katı atık bertaraf tesisleri bağlamında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek, atık yönetiminde daha etkin ve sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, katı atık bertaraf teknolojilerini sera gazı emisyonları açısından karşılaştırarak, teknoloji seçiminde değerlendirecek parametrelerin

belirlenmesine katkı sağlamaktır. Bu çalışma kapsamında kentsel katı atık yakma, düzenli depolama sahalarında depo gazından enerji üretimi ve biyogaz ile enerji üretimi teknolojilerinin sera gazı emisyon oluşturma potansiyelleri incelenmiştir. İncelenen bu üç proses için kentsel katı atıkların, İstanbul'un Avrupa Yakasında bulunan tesislerde bertarafı esnasında ürettiği enerji miktarları ve sağladığı karbon azaltım kredileri de karşılaştırılarak, prosesler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde sera gazı emisyonlarının azaltılması için öneriler geliştirilerek, sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

1.3 Hipotez

Biyometanizasyon tesisleri, düzenli depolama ve atık yakma tesislerine kıyasla daha düşük sera gazı emisyonu üretmektedir. Ancak, bu tesislerin çalışabilmesi için kaynağında ayrıştırılmış atıkların yüksek oranlarda toplanması gerekmektedir. Bu nedenle, kaynağında ayrıştırma oranlarının düşük olduğu şehirlerde biyometanizasyon teknolojisinin yaygınlaşması sınırlı kalmaktadır. Atık yakma teknolojileri ise, yüksek miktarda enerji üretme kapasiteleri sayesinde, fosil yakıt bağımlılığını azaltılarak sera gazı azaltım hedeflerine ulaşmada önemli rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir kentsel atık yönetimi için, atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri dönüşümün artırılması ve enerji geri kazanımı sağlayan teknolojilerin entegrasyonu atık kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılmasında etkili olmaktadır.

SERA GAZI EMSYONLARI VE ATIK BERTARAFI

2.1 Atık Yönetimi ve Sera Gazı Emisyonları

Katı atıklar, dünya genelinde sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olarak kabul edilmektedir. Özellikle organik atıkların anaerobik koşullarda ayrışması sonucu ortaya çıkan metan karbondioksit'e kıyasla atmosferde 28 kat daha güçlü bir etki oluşturmaktadır [20]. Bu nedenle doğru atık yönetim stratejisi, sera gazı emisyonlarının azaltılması için önemli bir adımdır [21]. 2020 yılı için, dünya genelinde bir kişinin oluşturduğu atık kaynaklı sera gazı emisyonu ortalama 0,21 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Avrupa'da bu değer 0,37 ton CO₂e olarak belirlenirken, Amerika Birleşik Devletlerinde ise 0,4 ton CO₂e ye yükselmiştir. Sürdürülebilir atık yönetimi konusunda kapsamlı düzenlemeler yapması ile tanınan Almanya'da bu rakam yalnızca 0,09 ton CO₂e olarak kaydedilmiştir. Türkiye için kişi başına düşen atık kaynaklı sera gazı emisyonu ise, dünya ortalaması ile aynı düzeyde olup 0,21 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır [22].

2.1.1 İklim Değişikliği ve Sera Gazı Emisyonları

İklim değişikliği, günümüzde hem bilimsel hem de politik çevreler tarafından en çok tartışılan konulardan biri haline gelmiştir. Kyoto Protokolü ve Paris İklim Antlaşması ile birlikte küresel ölçekte iklim değişikliği ile mücadele için çeşitli eylem planları oluşturulmuştur [23]. İnsan faaliyetlerinin ekosistem üzerindeki etkisi, özellikle sanayi devriminden bu yana artarak devam etmiş ve özellikle fosil kaynakların yakılması nedeniyle atmosferdeki sera gazı miktarının artmasına neden olmuştur. Çoğunlukla fosil kaynakların yakılmasından oluşan sera gazları atmosferde birikerek, güneş ışığının emilmesinin ardından dünya yüzeyinden yayılan kızılötesi ışınları hapsedip sera etkisi yaparak dünyayı ısıtır [24].

Başlıca sera gazları arasında karbondioksit, metan, nitröz oksit ve florlu gazlar (HFC'ler, PFC'ler, SF₆) bulunmaktadır [25]. Bu gazlar, güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyonu geçirmekte, ancak yeryüzünden yayılan uzun dalga boylu

radasyonu emerek ve yeniden yayarak atmosferin ısınmasına yol açmaktadır. Sera etkisi olarak adlandırılan bu süreç, yaşamın sürdürülebilmesi için gerekli olan bir mekanizmadır. Ancak, insan faaliyetleri sonucunda bu gazların atmosferdeki konsantrasyonlarının artması, doğal sera etkisinin güçlenmesine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır [2].

Karbondioksit (CO_2), en bilinen sera gazıdır. Fosil yakıtların yanması, ormansızlaşma ve çeşitli endüstriyel süreçler sonucunda atmosfere salınmaktadır. Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonu, sanayi devriminden bu yana %40'tan fazla artmıştır [26].

Metan (CH_4), karbondioksite kıyasla daha az konsantrasyonda bulunmasına rağmen, metanın ısı tutma kapasitesi CO_2 'den çok daha yüksektir. Metan gazı; temel olarak tarım ve hayvancılık faaliyetleri, atık yönetimi, enerji üretimi ve sulak alanlardan kaynaklanmaktadır [1].

Nitröz oksit (N_2O), tarımsal faaliyetler (özellikle gübre kullanımı), sanayi süreçleri ve fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan bir başka önemli sera gazıdır. N_2O , metana göre daha az konsantrasyonda bulunur, ancak atmosferde kalma süresinin uzunluğu nedeniyle güçlü bir sera etkisi oluşturmaktadır.

Florlu Gazlar (HFC'ler, PFC'ler, SF_6), tamamen insan kaynaklı olan bu gazlar, soğutma, klima sistemleri, elektronik üretimi ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılması sonucu atmosfere yayılır ve çok uzun süreler boyunca kalabilir. Küresel ısınma potansiyelleri çok yüksektir [1].

Sera gazlarının atmosferde birikmesi sonucu yer küre ısınmakta bu da iklim değişmesine neden olmaktadır. Bu durum yer yüzünde yalnız sıcaklık artışıyla sınırlı kalmayıp, yağış düzenlerinde değişiklikler, deniz seviyesinin yükselmesinin yanında fırtınalar, kuraklıklar ve sıcak hava dalgaları gibi ekstrem doğa olaylarının sıklık ve şiddetinde artışa neden olmaktadır.

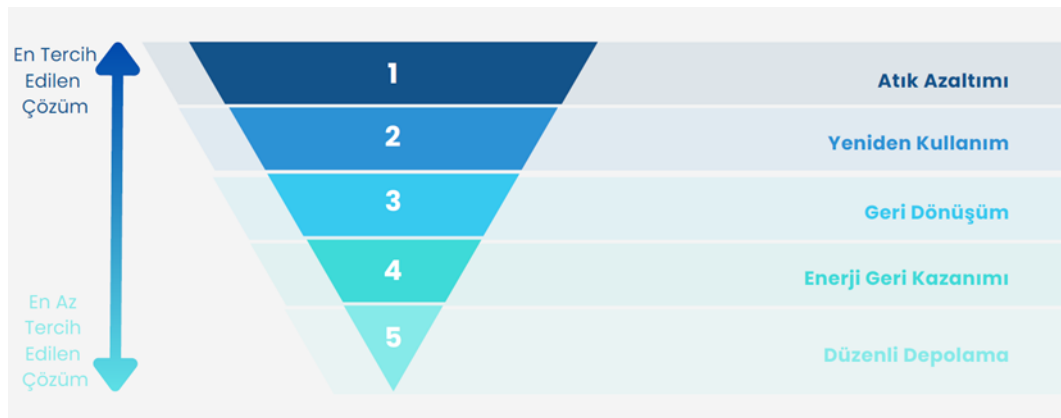
Küresel ısınma, iklim sisteminde bir dizi geri besleme mekanizmasını da harekete geçirir. Örneğin, kutup bölgelerinde buzulların erimesi, yeryüzünün yansıtma oranını düşürerek daha fazla güneş ışığının emilmesine ve sıcaklıkların daha da artmasına neden olur. Bu tür geri besleme mekanizmaları, iklim değişikliğinin hızlanmasına katkıda bulunur. Tüm bu durumlar yalnız çevresel değil, toplumsal etkiye de neden olur [27].

İklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla uluslararası düzeyde birçok anlaşma ve protokol geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlilerinden biri, 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü'dür [28]. Bu protokol, gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını 1990 yılına göre %5,2 azaltmalarını öngörmektedir. Bu anlaşmanın hayata geçirilememesinin ardından 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması, küresel ısınmayı mümkünse 1,5°C; değilse 2°C'nin altında tutma hedefiyle ülkeleri bir araya getirmiştir. Bu anlaşma, ülkelerin emisyon azaltım taahhütlerini içermekle birlikte bu taahhütlerin periyodik olarak gözden geçirilmesini ve raporlanmasını sağlamaktadır [29].

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, enerji verimliliği projelerinin teşvik edilmesi, ormansızlaşmanın önlenmesi, atık oluşumunun azaltılması ve karbon tutma teknolojilerinin geliştirilmesi gibi stratejiler bu politikaların etkin bir şekilde uygulanmasının sağlanması açısından oldukça önemlidir [30], [31].

2.1.2 Atık Yönetim Stratejileri

Hızlı şehirleşme, nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarında yaşanan değişimler, katı atık miktarının hızla artmasına neden olmaktadır. İstanbul gibi büyük şehirlerde, bu sorunun yönetimi önem taşımakta ve özel stratejiler gerektirmektedir [32]. Özellikle atık bertaraf tesisleri bu bakımdan önemli bir konumdayken Şekil 2.1'de gösterilen atık bertaraf hiyerarşisi atıkların yönetimde yol gösterici olmaktadır.



Şekil 2.1 Atık yönetimi hiyerarşisi

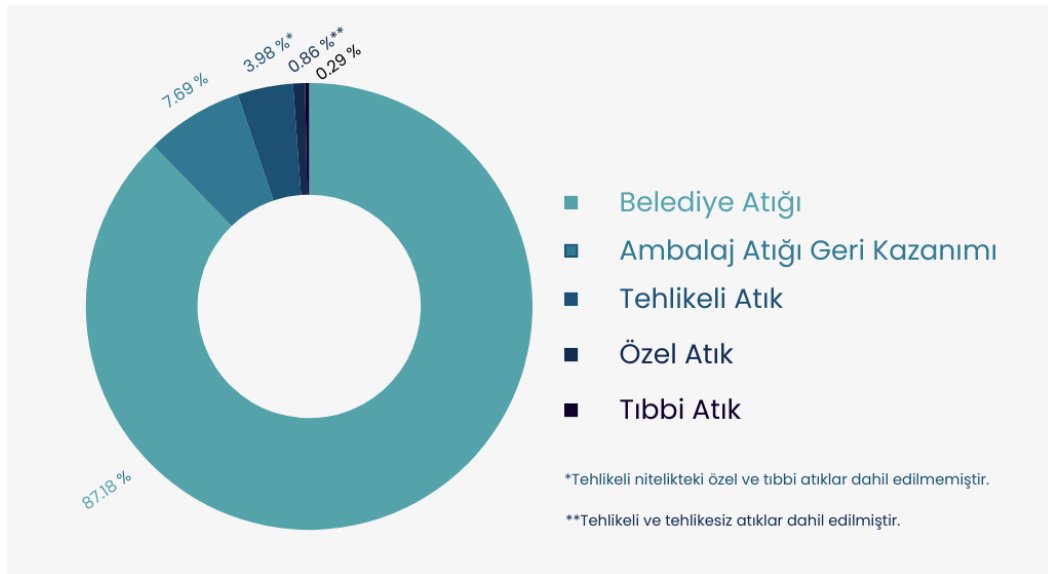
Atık azaltma ve önleme, sürdürülebilir atık yönetiminin temel adımıdır ve bu, üretim ve tüketim süreçlerinde verimliliğin artırılması, yeniden kullanım ve geri

dönüşümün teşvik edilmesi ile gerçekleştirilir. Geri dönüşüm, doğal kaynakların korunması ve atık miktarının azaltılması bakımından önemlidir. Özellikle plastik, cam, metal ve kağıt gibi malzemeler için yaygın olarak uygulanır.

Enerji geri kazanımı, geri dönüşüm ve geri kazanım süreçlerinin ardından atıkların enerji üretiminde kullanılmasıyla atık miktarının azaltılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılmasına katkı sağlar [33]. Geri dönüştürülemeyen ve enerji geri kazanımına uygun olmayan atıkların, ekosistem için oluşturacağı riskleri minimize edecek şekilde düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi gereklidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu sahalar sızıntı ve emisyonlar kontrol edilecek şekilde planlanır. AB Direktifi 2009/28/EC’de atıktan enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında belirtilmektedir [34].

Türkiye’de atık yönetimi, 2015 yılında yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliği ve diğer ilgili mevzuatlar çerçevesinde düzenlenmektedir. 2019 yılında yayınlanan Sıfır Atık Yönetmeliği ile kaynağında ayrıştırmanın artırılması için önemli adımlar atılmıştır. 2023 yılında %35 olarak hedeflenen geri kazanım oranı, 2035 yılına kadar %60 olarak belirlenmiştir [35].

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın verilerine göre, Türkiye’de atıkların %87,18’i belediye atıklarıdır. Türkiye atık dağılımı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye atık dağılımı [36]

Kentsel katı atık yönetimi, özellikle büyük ve yoğun nüfusa sahip şehirler için karmaşık ve çok boyutlu bir sorundur. Etkin bir atık yönetimi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve halk sağlığının korunması açısından kritik öneme sahiptir. İstanbul'da uygulanan mevcut atık yönetimi stratejileri, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve düzenli depolama gibi yöntemleri içermektedir. Bu yöntemlerin daha etkin hale getirilmesi için sürekli olarak yenilikçi projeler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Geleceğe yönelik stratejiler ise sıfır atık hedefi, akıllı atık yönetim sistemleri ve biyolojik atıkların değerlendirilmesi gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır. Bu stratejiler, toplumun bilinç düzeyini artırmaya yönelik eğitimlerle desteklenmektedir. Bu uygulamalar, kentsel katı atık yönetiminde daha sürdürülebilir bir yapı oluşturmayı amaçlamaktadır.

2.2 Atık Bertarafı ve Atıktan Enerji Üretim Teknolojileri

Günümüzde artan nüfus ve kentleşme ile birlikte, önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkan katı atıkların, etkin bir biçimde yönetimi, sera gazı emisyonlarının azaltılması bakımından önem taşımaktadır. Kentsel katı atıkların bertarafında atıktan enerji üretim teknolojilerinin etkin bir biçimde değerlendirilmesi, hem atık miktarının azaltılması hem de yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımına olanak sağlamaktadır [37].

İstanbul kentsel katı atıklarından enerji üretimi için temel olarak üç ayrı teknolojiye dayanmaktadır. Bunlar; kentsel katı atık yakma ile enerji üretimi, düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazından enerji üretimi, organik atıklardan biyometanizasyon yönetimiyle enerji üretimidir [6].

2.2.1 Katı Atık Yakma Tesisleri

Kentsel katı atıkların yakılmasıyla atıktan enerji üretim teknolojisi, katı atıkların yüksek sıcaklıklarda yakılması yoluyla enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesini içerir [38]. Bir yakma tesisinin akış şeması Şekil 2.3'de görülmektedir. Buna göre evsel atıkların yakılarak bertaraf edilmesinin ardından %22 oranında taban külü, %3-5 oranında tehlikeli uçucu kül, %1 oranında geri kazanıma gönderilecek nitelikte metal ürün oluşmaktadır. Uçucu kül tehlikeli atık olarak bertaraf edilirken, taban külü ise düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir.



Şekil 2.3 Yakma tesisi akış şeması [36]

Bu işlemden atıklar, 800-1450°C aralığında, fırınlarda kontrollü bir yakma sürecine tabi tutulur. Bu yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma sonucu ortaya çıkan ısı, su buharı üretiminde kullanılır ve bu buhar, buhar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür [39]. Bu süreçte oluşan yanma gazları, modern filtrasyon ve arıtma sistemlerinden geçirilerek zararlı emisyonlar minimize edilir. Evsel atık yakma tesislerinde, atıkların hacimce %80-90, ağırlıkça %75-80 oranında azaltılması sağlanır. Proses sonucu elektrik ve ısı üretimiyle enerji geri kazanımı sağlanırken ve zararlı patojenler ve toksinler giderilir [40]. Ayrıca proses sonunda inert gaz, uçucu kül ve taban külü oluşur [41]. Bir kentsel katı atık bertaraf tesisinin üniteleri Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 Kentsel katı atık yakma tesisi üniteleri [42]

Kentsel katı atık yakma prosesinde ilk ünite, atık kabulü ve geçici depolama ünitesidir. Bu ünite, tesise getirilen katı atıklar geçici olarak depolanır ve işleme alınmayı bekler. Ardından geçici depolama alanındaki atıklar yakma odasına

gönderilir. Burada atıklar yüksek sıcaklıklarda yakılarak hacimleri önemli ölçüde azaltılır ve bu yanma işlemi sayesinde enerji açığa çıkar [43]. Yanma işlemi, atıkların termal olarak parçalanmasını ve zararlı organik bileşiklerin giderilmesini sağlar. Bu süreçte, yanma sonucu elde edilen ısı, kazanda toplanır ve enerji üretimi için kullanıma hazır hale gelir [44].

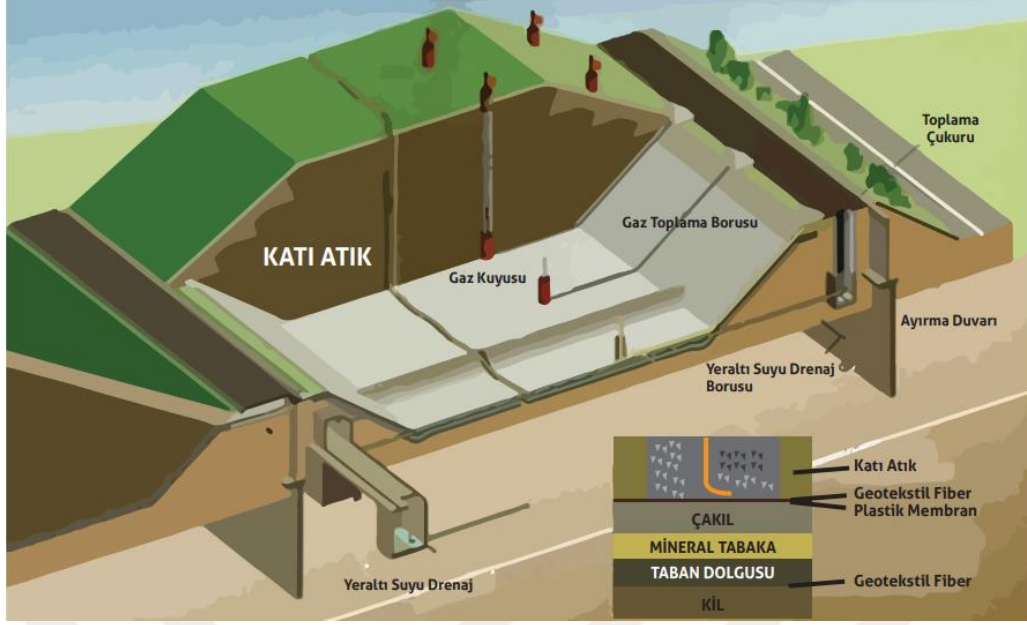
Yanma sonucu ortaya çıkan ısının enerji üretiminde kullanıldığı üçüncü aşamada; elde edilen ısı enerjisi, buhar türbinleri veya diğer enerji dönüşüm sistemleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Enerji üretimi ile aynı anda, yanma sonucu oluşan kirlenici gazlar, çeşitli filtreleme ve arıtma sistemlerinden geçirilerek zararlı bileşenlerden arıtılır. Bu süreç, atmosfere salınarak ve hava kirliliğine neden olacak emisyonların kontrol edilmesi açısından oldukça önemlidir. Son olarak, yanma sonucu ortaya çıkan diğer atıkların bertarafı gerçekleştirilir.

2.2.2 Düzenli Depolama ve Enerji Üretim Tesisleri

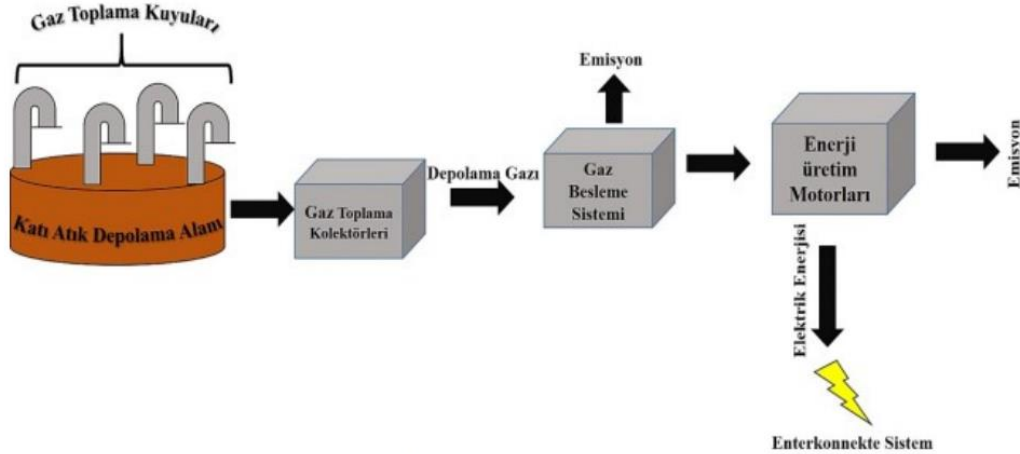
Atıkların bertarafında en ilkel yöntem olan vahşi depolama, çevre ve insan sağlığı açısından zararları olan bir yöntemdir. Bu bertaraf şeklinde özellikle oluşan kötü koku, depo gazının ve sızıntı suyunun kontrolünün sağlanması mümkün değildir. Düzenli depolama ise, atıkların depolanma işlemi öncesi mühendislik ve saha çalışmalarıyla uygun alt yapının hazırlandığı, bu sayede oluşan depo gazı ve sızıntı suyunun yönetilebildiği; atık alımının tamamlanmasının ardından örtü yapılarak kötü kokunun engellendiği bir yöntemdir [45].

Türkiye’de düzenli depolama sahalarının yapımı, 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik çerçevesinde yapılmaktadır. Buna göre bir düzenli depolama tesisinin saha aşamaları Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Katı atık düzenli depolama sahası görünümü [36]

Düzenli depolama sahalarında depo gazından enerji üretimi ise, depolanmış olan atıkların anaerobik ayrışması sonucu oluşan depo gazının gaz toplama bacaları vasıtasıyla toplanarak gaz motorlarında yakılmasıyla gerçekleştir. Depo gazından enerji üretim tesisi şeması Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Depo gazı içeriği yaklaşık % 50-60 metan, % 35-40 karbondioksit ve % 3-10 diğer bileşenlerden oluşur [46].



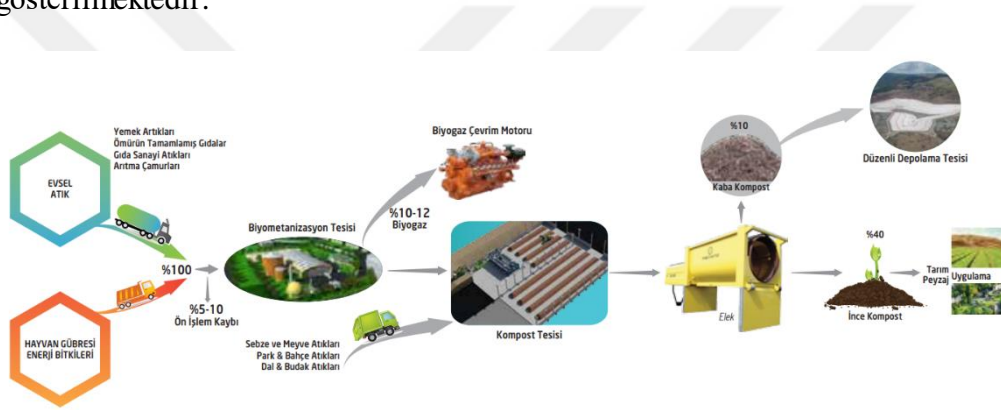
Şekil 2.6 Depo gazından enerji üretim tesisi şeması [34]

Depolama sahalarında gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucunda katı, sıvı ve gaz yan ürünler oluşmaktadır. Düzenli depolama sahalarında üst geçirimsizlik tabakası ve gaz toplama sistemi kurulmuş olmasına karşın, oluşan gazların tamamı toplanamamakta ve bir kısmı atmosfere

salınmaktadır. Depolama sahalarında oluşan depo gazları, büyük miktarlarda bulunan ana gazlar (CO_2 ve CH_4) ve düşük miktarlarda bulunan eser gazlardan oluşmaktadır. Ana gazlar, katı atık bünyesindeki organik maddelerin ayrışmasıyla meydana gelmektedir. Bazı eser gazlar, küçük miktarlarda bulunmalarına rağmen toksik etki göstererek çevre ve insan sağlığı için önemli risk oluşturabilmektedir [41].

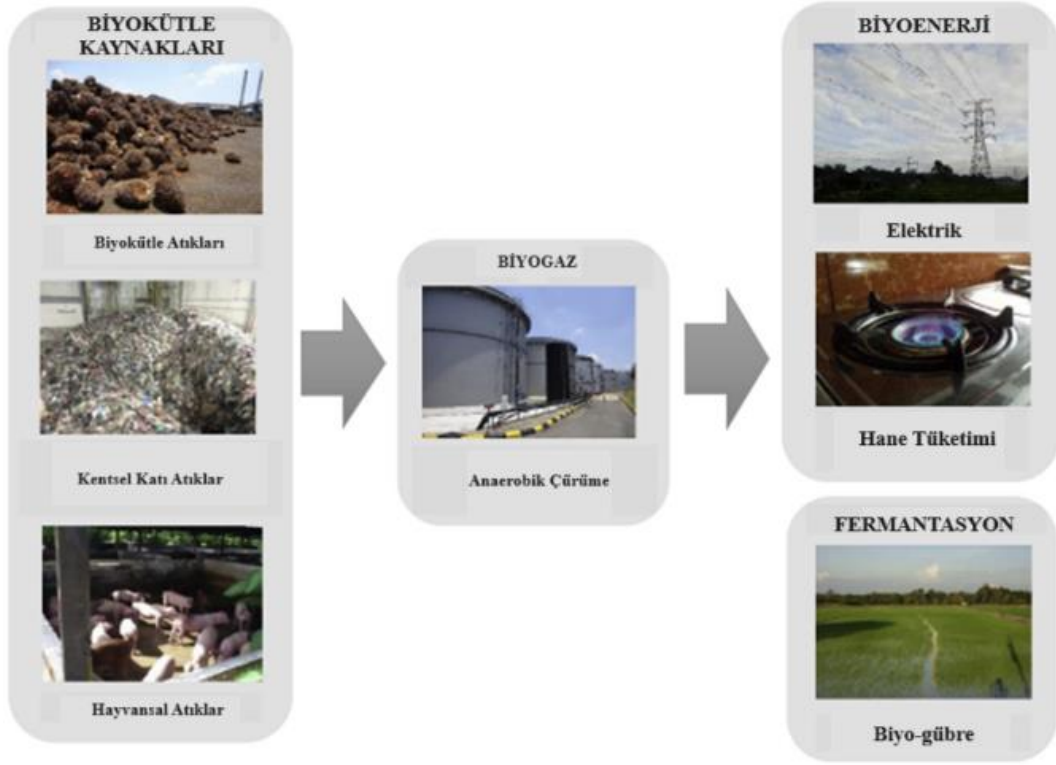
2.2.3 Biyogaz Tesisleri

Biyogaz tesisleri, organik atıkların anaerobik fermantasyon yoluyla biyogaza dönüştürülmesinin ardından, üretilen biyogazın yakılması sonucu elektrik üretiminin sağlandığı tesislerdir [47]. Biyogaz tesis şeması Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



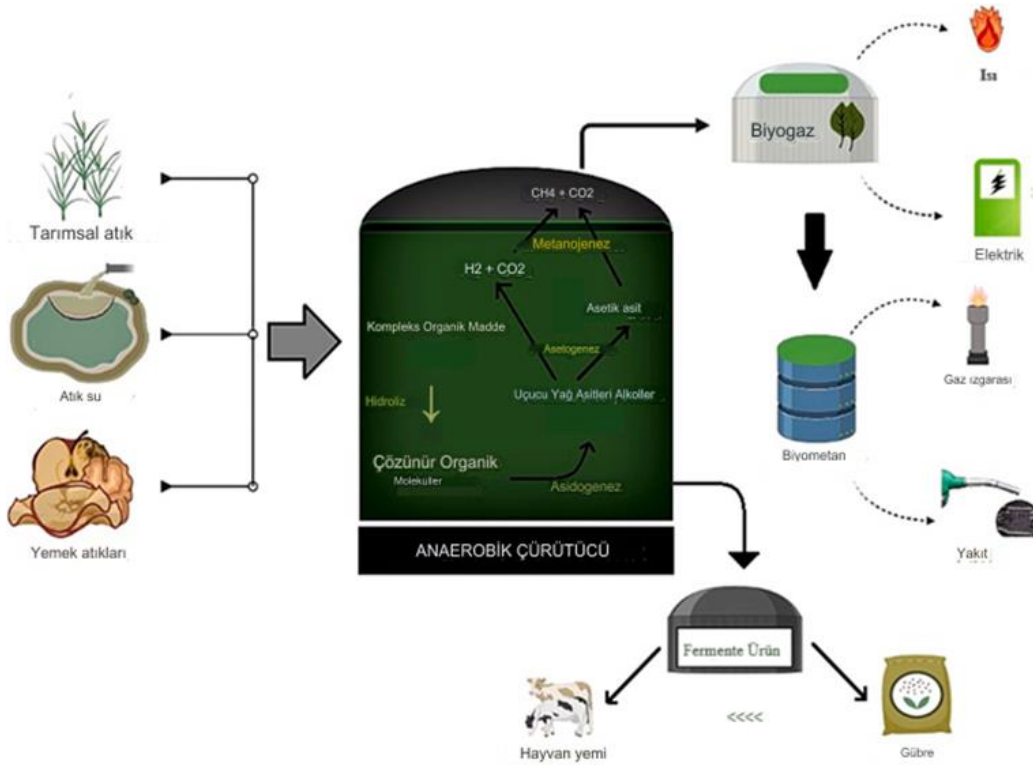
Şekil 2.7 Biyogaz tesisi şeması [36].

Biyogaz üretim süreçlerinde; tarımsal atıklar, gıda atıkları ve hayvansal gübreler gibi biyolojik olarak parçalanabilir atıklar, oksijensiz bir ortamda mikroorganizmalar tarafından metan ve karbondioksit içeren biyogaza dönüştürülür. Elde edilen biyogaz, gaz motorlarında yakılarak elektrik ve ısı üretiminde kullanılmaktadır. Proses sonucu tarımda fayda sağlayan ürünlere dönüştürülebilen katı ve sıvı fermente ürünler oluşur. Çeşitli biyokütle kaynaklarından biyoenerji üretimi Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Çeşitli biyokütle kaynaklarından biyoenerji üretimi [48]

Biyogaz proseslerinin temeli olan anaerobik çürüme ile enerji kazanımı Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Anaerobik çürüme ile atıktan enerji geri kazanım mekanizması [49]

2.3 Emisyon Azaltım Mekanizmaları

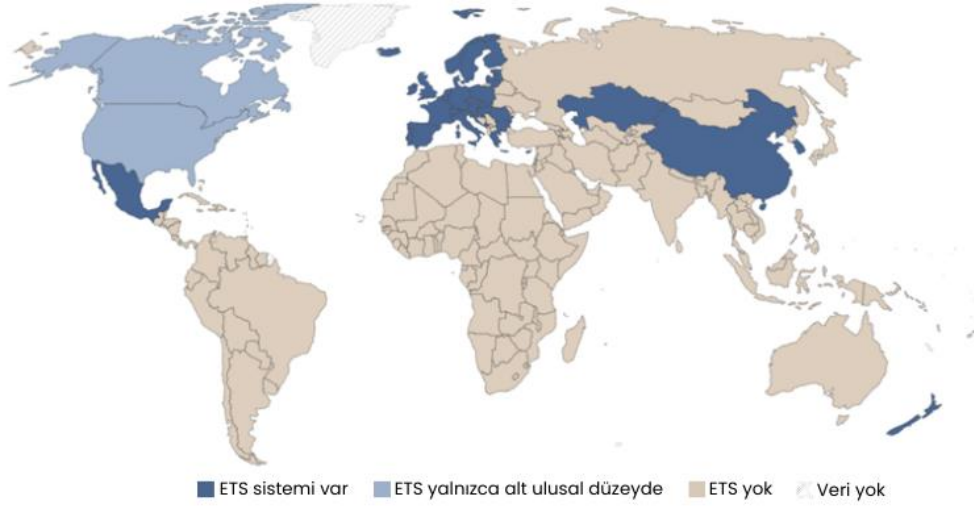
Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve düşük karbonlu bir geleceğe ulaşmak için, yatırım modellerinde ve davranışlarında değişiklikler yapılması; teknoloji, altyapı, finansman ve uygulama alanlarında yenilikçi yaklaşımların belirlenmesi gerekmektedir [50]. Yerel koşulların özgünlüğüne uygun olarak yeni ekonomik fırsatlar oluşturacak ve vatandaşların refahını destekleyecek değişikliklerin sağlanması için, politika yapıcılar tarafından etkili uygulamalar geliştirilmelidir [51].

Birçok yetki alanında karbon fiyatlandırması bu dönüşümün ana itici gücü olarak öne çıkmaktadır. Üretim esnasında salınan sera gazının fiyatlandırılmasının, düşük emisyonlu yatırımları teşvik ederek, düşük karbonlu ürünlerin ve teknolojik gelişmelerin önünü açması beklenmektedir [52]. Karbon fiyatlandırması ile temel olarak hedeflenen, temiz enerjinin daha karlı hale gelmesi, enerji verimliliğinin artırılması, düşük karbonlu ürünlerin rekabet gücünün yükselmesi dir.

Karbon piyasaları, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını teşvik eden ekonomik mekanizmalardır. Bu piyasalar, şirketleri ve ülkeleri karbon emisyonlarını azaltmaya teşvik etmek için oluşturdukları karbon emisyonlarını fiyatlandırmayı amaçlar. Karbon fiyatlandırması; emisyon ticaret sistemi (ETS) ve karbon kredileri olarak iki kategoride değerlendirilir [53].

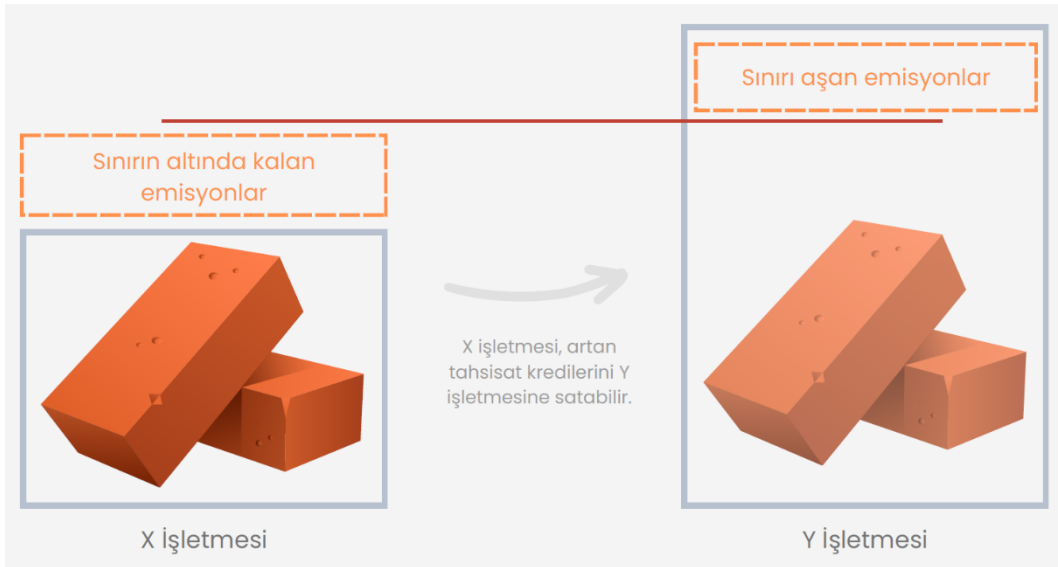
2.3.1 Karbon Ticareti

Emisyon ticaret sistemi, düzenlemeye tabi tutulan katılımcıların belirli bir dönemde izin verilen toplam sera gazı salım miktarını belirleyen ve bu miktarı belli bir sınıra altında tutan karbon fiyatlandırma mekanizmasıdır [54]. Emisyon ticaret sistemi, ulusal ölçekte işlemekte olup, pek çok ülkede mevcuttur. Şekil 2.10'da emisyon ticaret sistemi olan ülkeler görülmektedir. Emisyon ticaret sistemi olmayan pek çok ülkede bir emisyon ticaret sistemi kurulması için düzenlemeler yapılmakta, Türkiye'de ise emisyon ticaret sistemi kurulması için hazırlıklar devam etmektedir [55].



Şekil 2.10 Emisyon ticaret sistemi olan ülkeler [56]

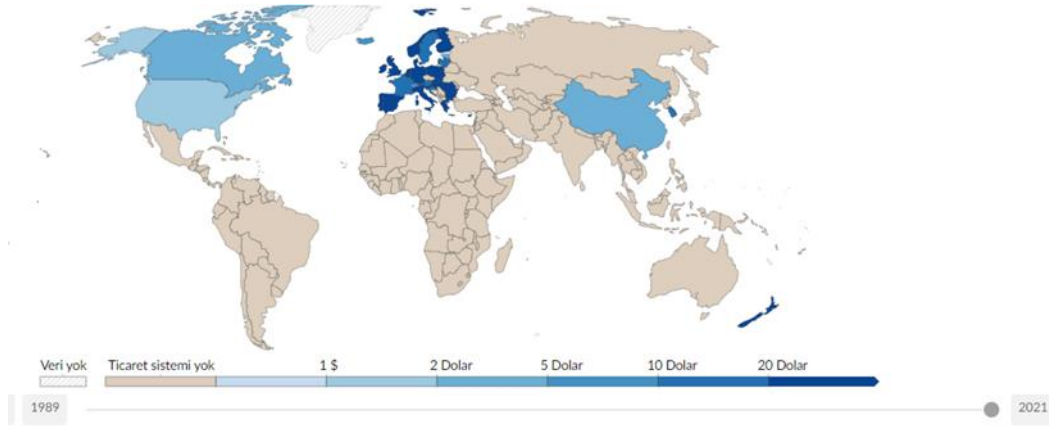
Bu sistemde, ülkeler belirledikleri sektörler için belirli bir dönemi ifade eden bir emisyon sınırı ve bu sınır dahilinde salınabilecek toplam tahsisat kredisini belirler [57]. Emisyonlarını azaltarak belirtilen sınırın altında kalan şirketler ellerinde bulunan fazla krediyi bağlı oldukları ülkenin ETS sınırları içerisinde satarak ekonomik kazanç elde edebilirler. Emisyonlarını azaltamayan şirketler ise, tahsisattan fazla saldıkları emisyon kadar tahsisat kredisi satın almak zorundadırlar. Emisyon ticaret sistemi işleyişi Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 Emisyon ticaret sistemi

Bu sistemde fiyatlandırma mekanizması her ülke ve sektör için farklı olmaktadır. Şekil 2.12’de ETS sisteminde yer alan karbon fiyatları görülmektedir. Buna göre ton emisyon başına fiyatlandırmada Avrupa ülkeleri diğer ülkelerden çok daha

yüksek değerlere ulaşmaktadır. En eski emisyon ticaret sistemlerinden biri olan ve 2005 yılından beri faaliyet gösteren Avrupa Birliği Ticaret Sistemi ile enerji ve sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonların %37'si azaltılmıştır. Ayrıca AB ETS ödeneklerinin satışından elde edilen gelir 152 milyar euronun üzerindedir [58].



Şekil 2.12 ETS emisyon ağırlıklı karbon fiyatı [56]

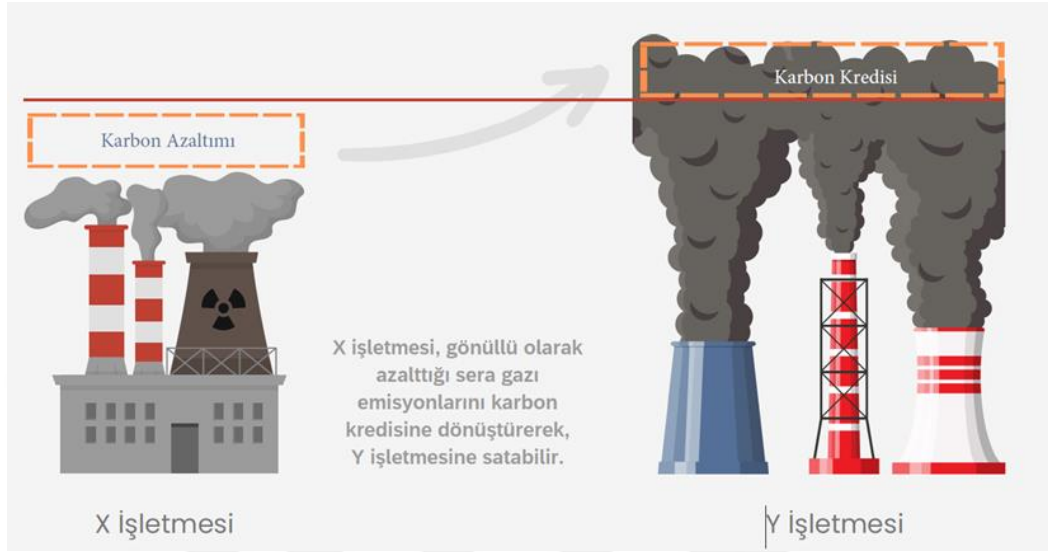
2.3.2 Karbon Kredisi

Karbon kredileri, ETS kapsamına girmeyen emisyonları azaltmak amacıyla, şirketlerin ve kuruluşların bir proje üreterek karbon emisyonlarını azaltma veya nötrleme çabalarını destekleyen gönüllü karbon piyasalarında görülen bir işlemdir [59]. Bu piyasalar, genellikle kurumsal sosyal sorumluluk politikaları, marka itibarı ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda faaliyet gösterir. Karbon kredi mekanizmalarının yürütüldüğü gönüllü karbon piyasalarında piyasa etkinliği, uluslararası kabul görmüş karbon sertifikasyon kuruluşları tarafından yönetilir [53].

Gönüllü karbon piyasalarında faaliyet gösteren sertifikasyon kuruluşları, karbon azaltım projelerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için projeleri değerlendirir, denetler ve sertifikalandırır. Önde gelen sertifikasyon kuruluşları arasında Gold Standard, Verified Carbon Standard (VCS), Climate Action Reserve (CAR) ve American Carbon Registry (ACR) bulunmaktadır.

Gönüllü karbon piyasalarının çalışma mekanizması, sera gazı emisyon azaltım projelerinin geliştirilmesi, sertifikalandırılması ve karbon kredilerinin satışı üzerine kuruludur [60]. Bir karbon azaltım projesi, örneğin bir ağaçlandırma veya yenilenebilir enerji projesi, belli bir metodolojiye göre tasarlanır ve uygulanır. Proje, sertifikasyon kuruluşları tarafından denetlenir ve belli kriterleri karşılaması halinde sertifikalandırılır. Sertifikalandırılan projeler, belirli bir miktar karbon

kredisi üretir ve bu krediler piyasada satılabilir. 1 ton CO₂e azaltım, 1 karbon kredisine eşdeğerdir. Şirketler veya organizasyonlar, bu kredileri satın alarak kendi emisyonlarını dengeleyebilir ya da nötrleyebilirler. Karbon denkleştirme mekanizmasının işleyişi Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Karbon denkleştirme mekanizması

Emisyon ticaret sistemleri, yasal düzenlemeler ve zorunluluklar vasıtasıyla emisyon azaltımını sağlarken, gönüllü piyasalar, çevresel sorumluluk ve sürdürülebilirlik bilinciyle hareket eden şirket ve organizasyonları teşvik eder. Her iki piyasa türü de, karbon emisyonlarının ekonomik değerinin farkındalığını artırarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlar.

Gönüllü karbon piyasası, kurum ve kuruluşların ulusal ve uluslararası mevzuatların gerektirdiği zorunluluklar olmaksızın, gönüllük esasına dayanarak sera gazı emisyonlarının azaltımı veya karbon dengeleme faaliyetlerinin yürütüldüğü piyasalardır. Bu piyasaya katılımcılar, kanuni zorunlulukların dışında, paydaşları ile ilişkilerini güçlendirmek, yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği sağlamak, çevresel, sosyal ve finansal sürdürülebilirlik konularında duyarlılığını göstermek gibi prestij beklentisi ile dahil olmaktadır [53].

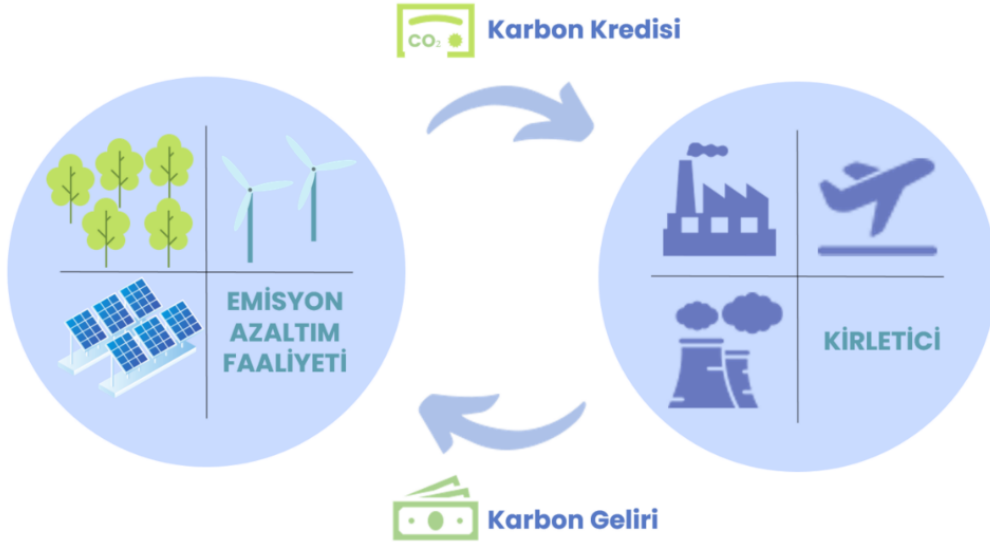
Bu piyasalarda proje yürütümü, kredi tanımlanması ve satışı süreçleri sertifikasyon kuruluşları tarafından yürütülmektedir. Türkiye’de aktif olarak faaliyet gösteren sertifikasyon kuruluşları Şekil 2.14’te gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen İstanbul Avrupa Yakası’nda bulunan üç tesis için karbon kredi süreçlerinin yürütüldüğü sertifikasyon kuruluşu Gold Standard’dır.



Şekil 2.14 Gönüllü karbon piyasası sertifikasyon kuruluşları

Gold Standard

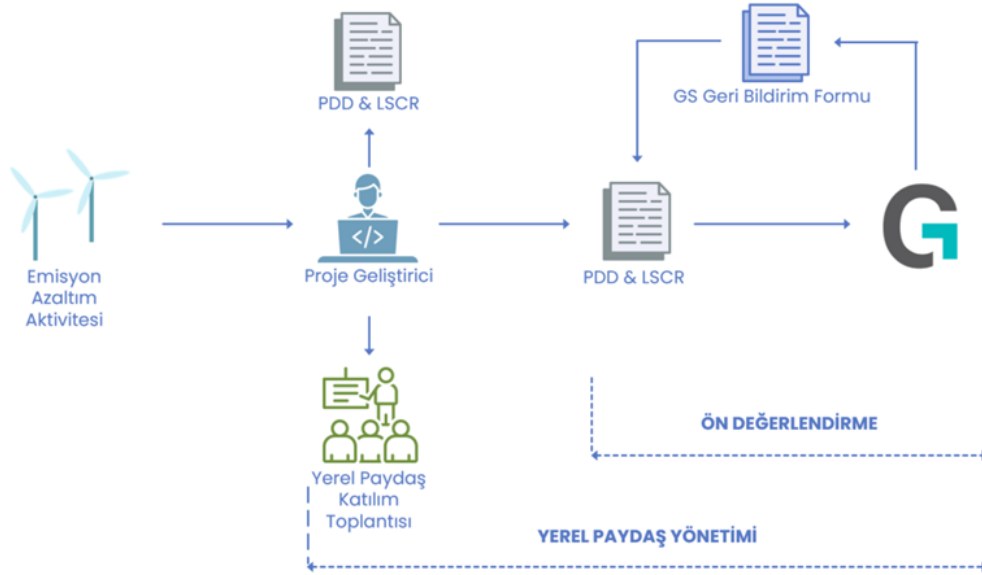
Sürdürülebilir kalkınma prensiplerine dayanarak karbon azaltım kredilerinin hesaplanması ve sertifikalandırılması amacıyla 2003 yılında Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) ve diğer çevre kuruluşları tarafından kurulan bağımsız bir kuruluş olan Gold Standard, ETS kapsamında olmayan şirketlerin ve kuruluşların karbon denkleştirme mekanizması çerçevesinde sera gazı azaltım projeleri oluşturarak bu azaltımları satılabilir kredi olarak tanımlar [61]. Karbon kredi mekanizmasının işleyiş süreci Şekil 2.15'te gösterilmektedir. Gold Standard tarafından sertifikalandırılan projeler, sera gazı emisyonlarını azaltmanın yanı sıra yerel topluluklar üzerinde olumlu sosyal ve çevresel etkiler oluşturmak durumundadırlar.



Şekil 2.15 Karbon kredi mekanizması

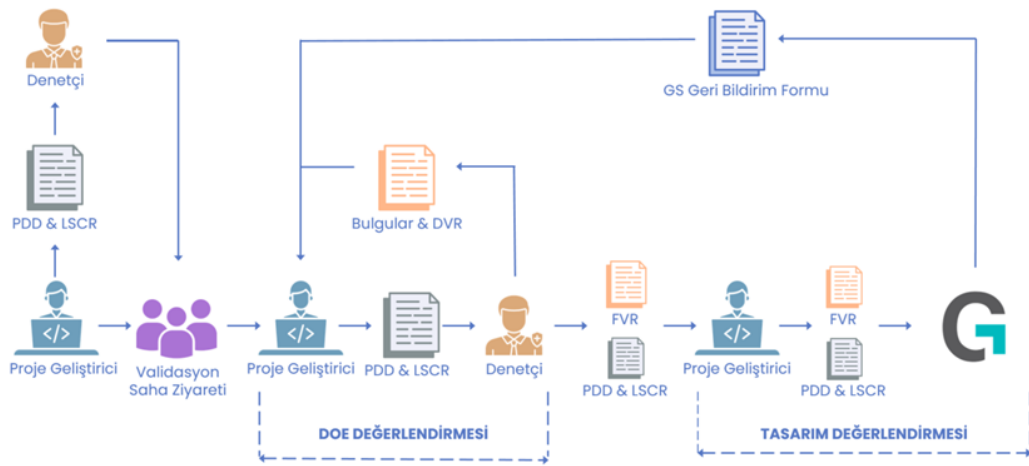
Gold Standard'ın karbon kredi hesaplama süreci, pek çok aşamayı içeren detaylı bir metodolojiye dayanır. Bu hesaplamada proje yürütücüleri tarafından; öncelikli olarak bir temel senaryo geliştirilir ve projenin uygulanmasının ardından gelişen senaryo ile emisyon azaltım miktarı bulunur. Bu hesaplamalar, sera gazı envanterleri, enerji tüketim verileri, biyokütle ölçümleri ve diğer ilgili parametreler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Projenin tüm onay süreçlerinin tamamlanmasının ardından, her 1 ton CO₂e emisyon azaltımı 1 karbon kredisi olarak belirlenmektedir. Gold Standardın projelendirme aşamalarının tamamlanmasının ardından hesaplamada belirtilen sera gazı azaltım verilerine göre oluşan karbon kredisi kullanıcının hesabına tanımlanır. Gold Standard'ta bir projelendirme süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır [62];

1. Listeleme: Projenin başlangıç aşamasıdır ve proje geliştiricilerin projelerini Gold Standard'a resmi olarak sunmalarını gerektirmektedir. Bu aşamada, proje geliştiriciler, proje konseptini ve temel bilgileri içeren bir listeleme dokümanı hazırlar. Listeleme dokümanı, projenin hedeflerini, uygulanacak metodolojiyi, beklenen emisyon azaltımlarını ve projenin çevresel ve sosyal faydalarını özetler. Bu doküman Gold Standard'a sunulur ve Gold Standard tarafından proje değerlendirilir. Projenin onaylanmasının ardından bir listeleme numarası atanır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Gold Standart listeleme döngüsü

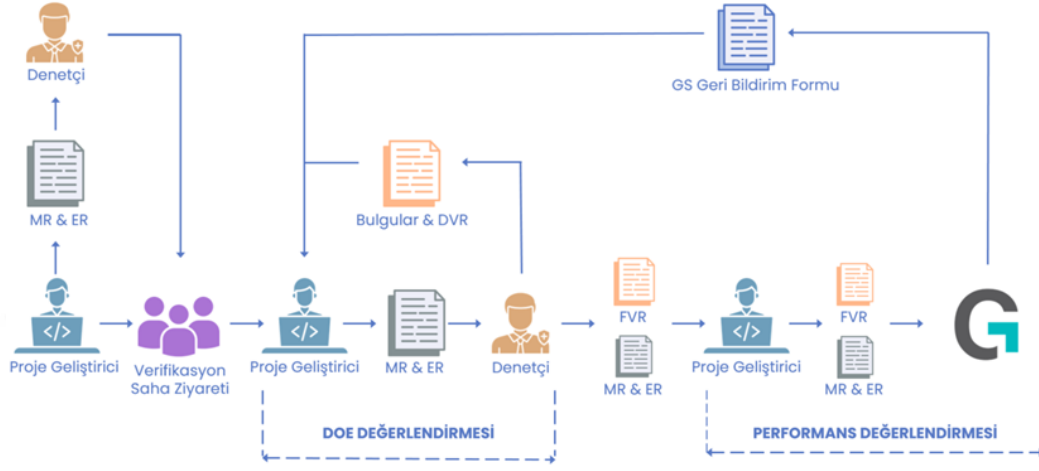
2. **Validasyon:** Projenin detaylı değerlendirilmesi ve resmi olarak kayıt altına alınması aşamasıdır. Bu aşamada, proje tasarım dokümanı (PDD) hazırlanır ve bağımsız bir doğrulama kuruluşu tarafından incelenir. PDD, projenin teknik detaylarını, metodolojiyi, izleme planını ve beklenen sonuçları ayrıntılı olarak açıklar. Doğrulama kuruluşu, proje için saha ziyareti gerçekleştirerek dokümanları inceler ve projenin doğruluğunu ve uygunluğunu teyit eder. Validasyon sürecinin tamamlanmasının ardından, proje resmi olarak Gold Standard kayıt sistemine kaydedilmiş olur (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Gold Standart validasyon döngüsü

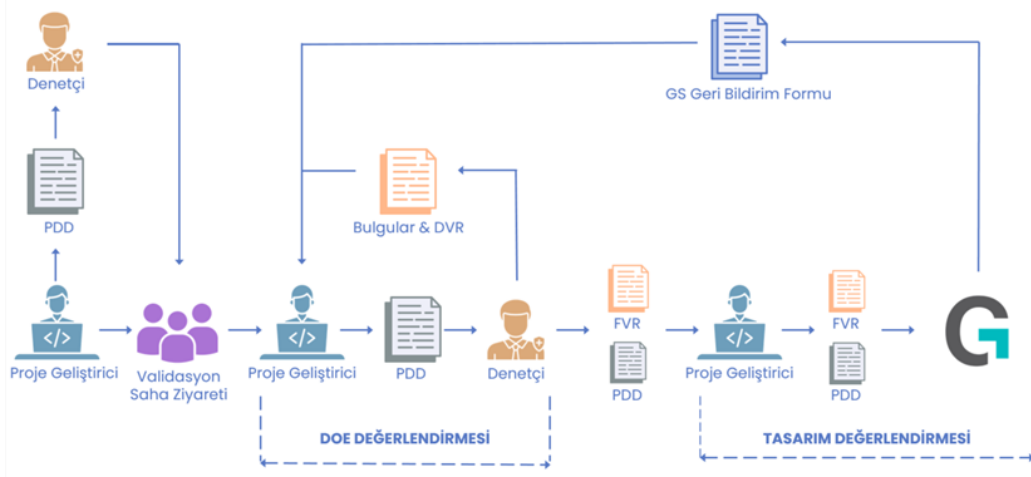
3. **Verifikasyon:** Projenin uygulama sürecinde hesaplanan emisyon azaltımlarının doğrulanmasını içermektedir. Proje geliştiriciler, belli aralıklarla izleme verilerini

toplar ve bir izleme raporu hazırlar. Bu rapor, proje uygulaması sırasında elde edilen gerçek emisyon azaltım verilerini içermektedir. Bağımsız doğrulama kuruluşu, izleme raporunu ve proje sahasını inceleyerek elde edilen verilerin doğruluğunu teyit eder. Verifikasyon süreci, emisyon azaltımlarının resmi olarak tanınması ve sertifikalandırılması sürecinin temelidir (Şekil 2.18).



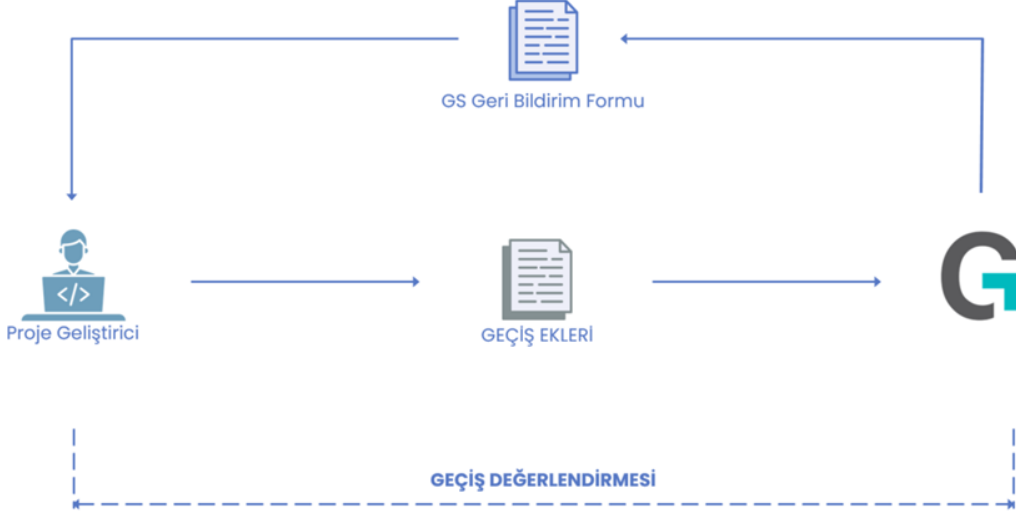
Şekil 2.18 Gold Standart verifikasyon döngüsü

4. Revalidasyon: Revalidasyon süreci, projelerin uzun vadeli uygunluğunu ve devam eden performansını değerlendirmek amacıyla belli periyotlarla gerçekleştirilen yeniden değerlendirme sürecidir. Gold Standard, projelerin belirli bir süre içerisinde (genellikle 5 yıl) yeniden doğrulanmasını ve kayıt bilgilerinin güncellenmesini istemektedir. Bu aşama, projenin başlangıçtaki hedeflere ve standartlara uygunluğunun devam edip etmediğini teyit eder. Projenin sürekli izleme ve iyileştirme süreçlerine tabi olması bu aşama ile garanti altına alınır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Gold Standart revalidasyon döngüsü

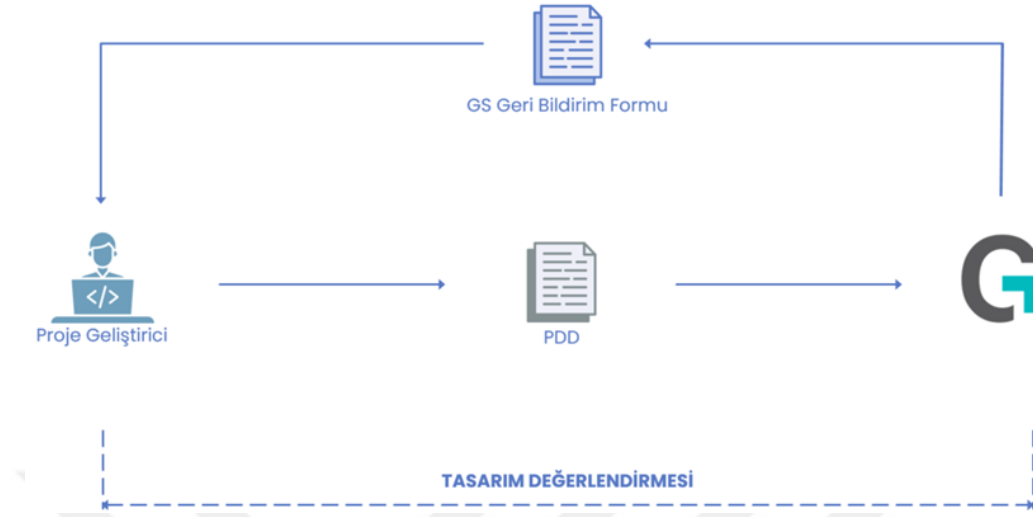
5. Geçiş: Projelerin mevcut metodolojilerden ya da standartlardan yeni metodoloji veya standartlara geçiş sürecini ifade eder. Gold Standardın, değişen ve gelişen standartlara uyum sağlaması, projelerin yeni standartlara uyumunu gerektirebilir. Bu süreçte proje geliştiriciler, projelerini yeni standartlara uyacak şekilde revize ederek geçiş sürecini tamamlar. Geçiş süreci sayesinde, projelerin güncel ve geçerli metodolojilerle uyumlu olması hedeflenmektedir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Gold Standart geçiş döngüsü

6. Tasarım Değişikliği: Proje tasarımında yapılan önemli değişikliklerin değerlendirilmesi ve onaylanması sürecidir. Proje geliştiriciler, proje tasarımında büyük değişiklikler yapmayı planladıklarında, bu değişiklikleri Gold Standard'a bildirmek ve onay almak zorundadırlar. Bu süreçte, yapılan değişikliklerin proje performansını, emisyon azaltımlarını ve sosyal-çevresel belirleyicileri nasıl etkileyeceği değerlendirilir. Tasarım değişikliği onaylandığında proje tasarımında

yapılan değişiklikler resmi olarak kabul edilir ve kayıt altına alınmış olur (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Gold Standart tasarım değişikliği döngüsü

7. Yıllık Rapor: Projelerin yıllık performanslarını ve ilerlemelerini değerlendiren yıllık raporlamalardır. Proje geliştiriciler, her yıl Gold Standard'a yıllık rapor sunmak zorundadırlar. Bu rapor, projenin yıllık emisyon azaltımlarını, izleme verilerini, sosyal ve çevresel etkileri ve diğer önemli bilgileri içermektedir. Yıllık rapor, projenin sürekli izlenmesini ve iyileştirilmesini sağlar. Bu sayede Gold Standard'ın projelerin performansını düzenli olarak değerlendirmesine imkan sunar (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Gold Standart yıllık rapor döngüsü

Gold Standard'a başvuru yapılan tüm projeler için yukarıda belirtilen adımlardaki proje dokümanları kamuya açıktır.

3.1 İstanbul Katı Atık Bertaraf Tesisleri

İstanbul 15,7 milyonluk nüfusuyla günlük ortalama 19 bin ton atık üreten Türkiye'nin en kalabalık şehridir [14]. Bu atıkların bertarafında şehrin özgünlüklerini de kapsayacak biçimde pek çok teknoloji kullanılmaktadır.

Bu çalışmada üç farklı atık bertaraf teknolojisinin sera gazı emisyonları karşılaştırılırken İstanbul Avrupa Yakasında bulunan üç katı atık bertaraf tesisi için kullanılan teknolojiler göz önünde bulundurulmuştur. Her üç teknoloji için de IPCC Metodolojisine göre yapılan hesaplamada 1.000.000 ton atık üzerinden bir yaklaşım geliştirilirken, Gold Standart Metodolojisinde tesislere ait gerçek veriler kullanılmıştır.

3.1.1 Kemerburgaz Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi

Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi (Şekil 3.1) 2021 yılında faaliyete girmiş olup bu tesiste günlük ortalama 3.000 ton karışık belediye atığından termal bertaraf yöntemiyle enerji elde edilmektedir. Tesisin kurulu gücü saatte 85 MW'tir. 2023 yılında ortalama 1.095.000 ton atık bertaraf edilirken 586.398 MWh elektrik enerjisi üretilmiştir [6].



Şekil 3.1 Kemerburgaz atık yakma ve enerji üretim tesisi [42]

3.1.2 Silivri-Seymen Düzenli Depolama Sahası ve Depo Gazından Enerji Üretim Tesisi

Seymen Düzenli Depolama Tesisi, İstanbul Avrupa Yakasında toplanan kentsel katı atıkların düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edildiği tesistir. Seymen düzenli depolama ve enerji üretim tesisi Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Bu tesiste oluşan depo gazı toplanarak gaz motorlarında yakılmakta ve enerji üretilmektedir. 2023 yılında Seymen düzenli depolama sahasında 2.699.482 ton evsel atık bertaraf edilmiştir. Seymen enerji üretim tesisi ise aynı yıl 240.471 MWh’lik enerji üretilerek ulusal şebekeye vermiştir [6].



Şekil 3.2 Seymen düzenli depolama ve enerji üretim tesisi [6]

3.1.3 Kemerburgaz Biyometanizasyon Tesisi

Biyometanizasyon tesisi (Şekil 3.3) kaynağında ayrıştırılmış organik atıkların işlenerek enerjiye dönüştürüldüğü bir tesistir. Günlük 130 ton organik atık işleme kapasitesine ve saatte 1,4 MW elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahiptir [63]. Bu tesiste 2023 yılında 16.064 ton atık işlenerek 3.127 MWh elektrik enerjisi üretilmiştir [6].



Şekil 3.3 Kemerburgaz biyometanizasyon tesisi [63]

3.2 Sera Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi

3.2.1 IPCC Metodolojisi

İklim değişikliği ile mücadelede temel parametre olan sera gazı emisyonlarının azaltılması için, emisyonların hesaplanması önemli bir adımdır. Bu hesaplamalar, şirketlerin, ülkelerin ve yerel yönetimlerin emisyon azaltım hedeflerini belirlemelerine ve politika geliştirmelerine imkan sağlar. Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), bu hesaplamaları standardize etmek amacıyla, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasına yönelik geniş kabul gören ve güvenilir bir çerçeve sunan metodoloji geliştirmiştir.

Sera gazı envanterinin oluşturulmasında kullanılmak üzere kapsamlı bir rehber sunan IPCC, yayınladığı “IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories” adlı klavuz bu metodolojinin temelini oluşturur. Bu klavuz beş ana kategoriden oluşmaktadır [64].

1. Genel Klavuzlar ve Raporlama İlkeleri: Sera gazı envanterinin hazırlanmasında kullanılan genel prensipleri ve raporlama standartlarını içerir.
2. Enerji: Küresel sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını enerji sektörü oluşturmaktadır. Bu bölümde, fosil yakıtların yanması, enerji üretimi ve tüketimi sırasında ortaya çıkan emisyonların hesaplanma yöntemleri belirtilmektedir. IPCC Metodolojisi, enerji üretim ve tüketim verilerine dayanarak emisyon faktörleri vasıtasıyla CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarını

hesaplar. Yakıt türüne, yanma teknolojisine ve kullanım yerine göre farklı emisyon faktörleri belirlenmiştir.

3. Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı: Metodolojinin bu bölümünde endüstriyel faaliyetler sırasında ve ürün kullanımından kaynaklı sera gazı emisyonlarını değerlendirerek, kimya, metalurji ve diğer endüstriyel prosesler sırasında ortaya çıkan sera gazlarının hesaplanması için yöntemler sunmaktadır. Ürün kullanımından kaynaklanan emisyonlar da bu kapsamda değerlendirilmektedir.
4. Tarım, Ormancılık ve Arazi Kullanımları: Bu kategori hem sera gazlarını hem de yutak alanların hesaplanmasını kapsamaktadır. Tarım faaliyetleri, hayvancılık, orman yönetimi ve arazi kullanım değişiklikleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Özellikle ormanların karbon tutma kapasitesi ve arazi değişikliklerinin karbon dengesini nasıl etkilediği bu bölümde değerlendirilmektedir.
5. Atık Yönetimi: Atıklar, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Bu bölüm katı atıkların bertarafı, atıksu arıtma ve diğer atık yönetimi süreçlerinden kaynaklanan emisyonların hesaplanmasını kapsar. Katı atıkların depolama alanlarında çürümesi sonucu oluşan metan gazı emisyonları, kompostlama süreçlerinden kaynaklanan emisyonlar ve atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazları bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Sera gazı emisyon envanterinin IPCC Metodolojisine göre oluşturulabilmesi için değerlendirilmesi gereken diğer parametreler şöyledir [64];

- Hesaplama Yöntemleri: Metodoloji, emisyon hesaplamalarında kullanılmak üzere üç seviyeli bir yaklaşım izler. Seviye 1, en basit ve yüzeysel yöntem olup, ulusal düzeyde ortalama emisyon faktörleri ve aktivite verileri kullanılır. Seviye 2, daha spesifik emisyon faktörleri ve detaylı aktivite verileri içerir. Seviye 3 ise en karmaşık yöntem olup, bölgeye özgü emisyon faktörleri ve detaylı modellemeler kullanılarak en yüksek doğrulukta hesaplamalar yapılmasını sağlamaktadır.
- Emisyon Faktörleri: IPCC klavuzunda detaylı bir şekilde sunulmuş olan emisyon faktörleri, belli bir aktivite sonucu salınan sera gazı miktarını ifade etmektedir. Bu faktörler tüm sektörler için ayrı ayrı belirlenmiştir. Emisyon faktörleri, uluslararası veri tabanlarından elde edilir.

- Aktivite Verileri: IPCC metodolojisine göre emisyon hesabında ifade edilen bir diğer bileşen, aktivite verileridir. Bu veriler emisyon hesabı yapılan ve sistem sınırları belirlenmiş bir işletme, kurum veya ülkenin spesifik kullanım verilerini ifade etmektedir.

IPCC metodolojisi, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında bilimsel ve standart bir yaklaşım sunarak, ülkelerin ve yerel yönetimlerin emisyon envanterlerinin doğru ve tutarlı bir şekilde oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. Bu metodoloji, emisyon kaynaklarının kapsamlı değerlendirilmesi sayesinde emisyon azaltım stratejilerinin geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kentsel atık yakma ile enerji üretimi kaynaklı sera gazı emisyonları, düzenli depolama sahalarında oluşan atıkların bertarafı ve enerji üretimi kaynaklı sera gazı emisyonları ve biyogaz prosesi kaynaklı sera gazı emisyonları proses bazlı hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Hesaplama kapsamına tesislerin işletilmesi esnasında oluşan sera gazı emisyonları dahil edilmemiştir.

3.2.2 Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması

IPCC metodolojisinde toplam emisyon hesaplanma yöntemlerinin belirtilmesinin yanı sıra, biyolojik kaynaktan oluşan CO₂ kaynaklı oluşan emisyonlar biyojenik emisyonlar olarak tanımlanmaktadır [65]. Bu emisyonlar toplam emisyonlara dahil edilmeyip, ayrıca raporlanmaktadır.

IPCC metodolojisine göre sera gazı emisyonu hesaplanması aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

CO₂ Emisyonları;

$$E_{CO_2} = T_{yakıt} \times NKD \times EF_{CO_2}$$

CH₄ Emisyonları;

$$E_{CH_4} = T_{yakıt} \times NKD \times EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4}$$

N₂O Emisyonları;

$$E_{N_2O} = T_{yakıt} \times NKD \times EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O}$$

Toplam Sera Gazı Emisyonları;

$$E_{total} = E_{CO_2} + E_{CH_4} + E_{N_2O}$$

Burada:

E_{CO_2} : CO₂ emisyonları (ton CO₂)

E_{CH_4} : CH₄ emisyonları (ton CO₂ eşdeğeri)

E_{N_2O} : N₂O emisyonları (ton CO₂ eşdeğeri)

E_{total} : Toplam sera gazı emisyonları (ton CO₂ eşdeğeri)

$T_{yakıt}$: Yakıt miktarı

NKD : Net kalorifik değer

EF_{CO_2} : CO₂ emisyon faktörü (ton CO₂/GJ)

EF_{CH_4} : CH₄ emisyon faktörü (ton CH₄/GJ)

GWP_{CH_4} : Metanın küresel ısınma potansiyeli (GWP)

EF_{N_2O} : N₂O emisyon faktörü (ton N₂O/GJ)

GWP_{N_2O} : Nitroz oksitin küresel ısınma potansiyeli (GWP)

Bu çalışma kapsamında hesaplanan sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri Ek A'da, hesaplama için ihtiyaç duyulan emisyon faktörleri Ek B'de verilen tablodan elde edilmiştir.

3.2.3 Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Emisyonları

Atık yakma ile atık bertarfi emisyonu hesaplamasında dikkate alınması gereken en önemli parametre atık karakterizasyonudur. Hesaplama için veri seçimi atık içeriğinin organik olup olmadığına göre değişmektedir. İstanbul için organik atık içeriği %52 kabul edilmiştir [12].

Buna göre;

Bertaraf Edilen Atık Miktarı: 1.000.000 ton

Organik Atık Miktarı: 520.000 ton

Organik Olmayan Atık Miktarı: 480.000 ton

Net Kalorifik Değer;

Organik Atık için; 11,6 Tj/Gg

Organik Olmayan Atık için; 10 Tj/Gg

Atık yakma ile enerji üretim tesisi için emisyon faktörleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Atık yakma tesisi emisyon faktörleri

Yakıt	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	Varsayıl an	Düşük	Yüksek	Varsayıl	Düşük	Yüksek	Varsayıl	Düşük	Yüksek
Kentsel Katı Atıklar (biyokütle içermeyen)	91.700	73.300	121.000	30	10	100	4	1,5	15
Kentsel Katı Atıklar (biyokütle içeren)	100.000	84.700	117.000	30	10	100	4	1,5	15

3.2.4 Düzenli Depolama ve Depo Gazından Enerji Üretim Emisyonları

Düzenli depolamada oluşan emisyonun hesaplanabilmesi için oluşan gaz miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada belirtilen atık miktarı için oluşması ön görülen gaz miktarı LandGEM v302a modellemesi kullanılarak hesaplanmıştır.

LandGEM modeli, belirli bir süre zarfında yıllık depo gazı (LFG) emisyonlarını tahmin etmek amacıyla birinci dereceden bozunma modelini kullanır. Bu modelin matematiksel formülü Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (3.1)$$

Q_{CH₄}: Tahmini metan üretimi (m³/yıl)

M_i: i yılında bertaraf edilen atık miktarı (ton/yıl)

L₀: Potansiyel metan üretim kapasitesi (m³ CH₄/ton atık)

k: Bozunma hız sabiti (y⁻¹)

n: Gaz üretilen yıl sayısı

Buna göre modelle üzerinde yapılan kabuller aşağıda belirtilmektedir;

Saha açılış yılı: 2015

Saha kapanış yılı: 2016

Atık miktarı: 1.000.000 ton

CH₄ Üretim Oranı (y⁻¹): Geleneksel Envanter – 0.04

CH₄ Üretim Potansiyeli (m³/Mg): Geleneksel Envanter – 100

NMOC Kons. (ppmv veya hexane): Envanter yok / bilinmeyen envanter – 600

CH₄ Oranı: hacimce %50

LandGEM modeline göre; 2015 yılında açılarak 1.000.000 ton atığın depolanmasının ardından 2016 yılında kapatılan bir düzenli depolama sahası için; 2155 yılına kadar gaz oluşumu tahmin edilmiştir.

Düzenli depolama sahalarında oluşan sera gazı emisyonu miktarının hesaplanması için literatürden alınan verilere göre aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

Gaz toplama verimi: %75 [45], [66]

Gaz içeriği; %50 CH₄, %45 CO₂, %5 diğer gazlar [45] [66]

Yoğunluk (CH₄): 0,656 kg/m³

Yoğunluk (CO₂): 2 kg/m³

Depo Gazı Yoğunluğu: 1,30 kg/m³

Net Kalorifik Değer: 50 TJ/Gg

Depo Gazı Emisyon Faktörü, her üç gaz türü için varsayılan değerler olarak seçilmiştir. LFG emisyon faktörleri Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Depo gazı emisyon faktörleri

Yakıt	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	Varsayılan	Düşük	Yüksek	Varsayılan	Düşük	Yüksek	Varsayılan	Düşük	Yüksek
Depo Gazı	54.600	46.200	66.000	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

3.2.5 Biyometanizasyon Tesisi Emisyonları

Biyometanizasyon tesisleri, anaerobik çürümenin kapalı ve kontrollü bir biçimde gerçekleştirildiği sistemler olduğu için bu tesislerde oluşan sera gazı emisyonu yakılan gaz miktarı üzerinden hesaplanmaktadır.

Buna göre;

1 ton organik atıktan elde edilen biyogaz miktarı literatürden alınan verilere göre hesaplanmıştır. Atık türüne ve yıllara göre atık miktarı ve metan oluşumu Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te belirtilmiştir [67].

Tablo 3.3 Atık miktarları

Atık türü	Atık Miktarı (ton)			
	2011	2012	2013	Ortlama
Biyobozunur mutfak atığı	1.162	1.456	1.974	1.531
Biyobozunur atık	14.194	17.712	19.069	16.992
Market atıkları	2.179	2.235	1.178	1.864
TOPLAM	17.535	21.403	22.221	20.386

Tablo 3.4 Metan oluşumu

Atık türü	Oluşan Metan Miktarı (m ³)			
	2011	2012	2013	Ortlama
Biyobozunur mutfak atığı	83.600	104.800	142.100	110.167
Biyobozunur atık	1.419.400	1.771.200	1.906.900	1.699.167
Market atıkları	285.400	292.700	154.300	244.133
TOPLAM	1.788.400	2.168.800	2.203.300	2.053.500

Belirtilen 3 yıl boyunca oluşan atıkların ve bu atıklardan oluşan metan miktarının ortalaması alınmıştır. Bu süre zarfında ortalama 20.386 bin ton atıktan 2.053.500 m³ metan oluştuğu gözlemlenmiştir. Biyogaz içeriği yaklaşık %45 metan gazı olarak değerlendirilmiştir [67]. Bu verilerden yola çıkarak ortalama oluşan 20.386 bin ton atıktan ortalama 4.563.333 m³ biyogaz oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Bu değerlendirmelere göre; 1.000.000 ton organik atıktan 223.842.770,48 m³ biyogaz elde edileceği varsayılmıştır. Biyogaz emisyon faktörleri Tablo 3.5'te gösterilmektedir.

Biyogaz Yoğunluğu: 1,30 kg/m³ [68]

Net Kalorifik Değer: 50 TJ/Gg [68]

Tablo 3.5 Biyogaz emisyon faktörleri

Yakıt	CO ₂			CH ₄			N ₂ O		
	Varsayıl n	Düşük	Yüksek	Varsayıl n	Düşük	Yüksek	Varsayıl n	Düşük	Yüksek
Diğer Biyogaz	54.600	46.200	66.000	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

3.3 Karbon Kredi Hesaplaması

İstanbul'un katı atık bertaraf yöntemleri olarak kullanılan katı atık yakma, düzenli depolama ve biyometanizasyon tesislerinin her üçü için de atıktan enerji üretimi ile sera gazı azaltımı sağlanması sayesinde kazanılan karbon kredisi süreçleri Gold Standard tarafından yürütülmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen üç proses için atıktan enerji üretimi ile kazanılan karbon kredi değerlendirmelerinde Gold Standard metodolojisine göre dikkate alınan bazı parametreler ve hesaplamalarda kullanılan formüller şu şekildedir;

3.3.1 Başlıca Parametreler

Başlangıç Senaryosu Emisyonları (BSE):

Tesisin faaliyetlerinden önce, yani atıkların geleneksel yöntemlerle bertaraf edildiği durumdaki sera gazı emisyonları hesaplanır. Bu çalışmaya konu olan tesislerde Baseline Senaryo olarak vahşi depolama senaryosu baz alınmıştır.

Proje Senaryosu Emisyonları (PSE)

Proje emisyonları ise atıktan enerji üretim tesisi devreye girdikten sonra bu atıkların oluşturduğu emisyonlardır.

Emisyon Faktörleri

Kullanılan yakıt türleri ve enerji üretim teknolojilerine göre belirlenen emisyon faktörleridir.

Toplam Enerji Üretimi

Atıktan enerji üretim tesisinin belirli bir periyot içinde ürettiği toplam ısı ve/veya elektrik enerji miktarını ifade eder.

Enerji Dönüşüm Verimliliği

- Atıklardan enerji üretiminde kullanılan teknolojinin verimliliği.
- Bu, atıklardan elde edilen enerjinin ne kadarının faydalı enerjiye dönüştürüldüğünü gösterir.

Kaçak Emisyonlar (KE)

- Proje uygulamasının sonucunda başka yerlerde meydana gelebilecek olumsuz etkiler ve ek emisyonlar.
- Kaçak emisyon analizleri, net emisyon azaltımının doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlar.

3.3.2 Hesaplama Formülleri

Karbon azaltım kredisi hesaplamalarında kullanılan temel formüller, başlangıç senaryosu emisyonları ile proje senaryosu emisyonları arasındaki farkı belirlemeye yöneliktir. Genel olarak kullanılan formüller şu şekildedir:

1. Başlangıç Senaryosu Emisyonları (BE) Hesaplama:

$$BE = \sum_{i=1}^n (A_i \times EF_{CH_4_i} \times GWP_{CH_4}) + \sum_{j=1}^m (B_j \times EF_{CO_2_j}) \quad (3.2)$$

Burada:

A_i: Başlangıç senaryosunda metan emisyonu kaynağı *i*'nin miktarı

EF_{CH₄i}: Metan için emisyon faktörü

GWP_{CH₄} : Metanın küresel ısınma potansiyeli

B_j: Başlangıç senaryosunda karbondioksit emisyonu kaynağı j'nin miktarı

EF_{CO₂j}: Karbondioksit için emisyon faktörü

2. Proje Senaryosu Emisyonları (PE) Hesaplama:

$$PE = \sum_{k=1}^p (C_k \times EF_{CH_4k} \times GWP_{CH_4}) + \sum_{l=1}^q (D_l \times EF_{CO_2l}) \quad (3.3)$$

C_k: Proje senaryosunda metan emisyonu kaynağı k'nin miktarı

EF_{CH₄k}: Proje senaryosunda metan için emisyon faktörü

D_l: Proje senaryosunda karbondioksit emisyonu kaynağı l'nin miktarı

EF_{CO₂l}: Proje senaryosunda karbondioksit için emisyon faktörü

3. Net Emisyon Azaltımı (ER) Hesaplama:

$$ER = BE - PE - L \quad (3.4)$$

Burada:

BE: Başlangıç senaryosu emisyonları

PE: Proje senaryosu emisyonları

L: Kaçak emisyonlar (projeden kaynaklanabilecek ek emisyonlar)

Gold Standard Projeler Bölümünde yer alan bilgilere göre her üç proje bilgileri aşağıda verilmiştir;

3.3.3 Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi

Gold Standard Proje No: GS7529

İBB Atık Yakma ve Elektrik Üretim Tesisi Projesi, İstanbul'un Eyüpsultan ilçesi Işıklar Köyü'nde yer almaktadır. Bu proje, yenilenebilir enerji kaynağı ile şebekeye bağlı yeni bir enerji santralini kurulumunu içermektedir. Evsel katı atıklar, ilçe

belediyeleri tarafından toplanarak aktarma istasyonlarında bir araya getirilmekte ve ardından tesise nakledilmektedir. Burada atıklar ön arıtmaya tabi tutulmadan doğrudan şebeke sisteminde yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Proje alanında herhangi bir depolama işlemi gerçekleştirilmemektedir. Gold Standart metodolojisine göre hesaplar, proje dokümanlarında bulunan veriler olarak; yıllık ortalama 1.095.000 ton atık yakılarak 85,5 MW enerji üretimi gerçekleştirildiği verisine göre yapılmıştır [69].

Tesis, uzaktan denetim sırasında onaylanmış olup, tesis faaliyetinin hayata geçmesinden önce aynı sahada başka hiçbir enerji santralının bulunmadığı bir yeşil alan projesidir.

3.3.4 Seymen Depo Gazından Enerji Üretim Tesisi

Gold Standard Proje No: GS7738

İBB Seymen Depo Gazından Enerjiye Üretim Projesi ile mevcut depo gazının verimli kullanılmasıyla yıllık 177.088 MWh net elektrik üretiminin gerçekleştirilerek elde edilen yenilenebilir enerjinin, başta fosil yakıtlar olmak üzere farklı yakıt kaynaklarından oluşan şebeke elektriğinin yerini alması planlanmıştır. Projede sağlanan emisyon azaltımı, 5 yıllık kredilendirme dönemi için toplam 4.109.613 ton CO_{2e} ve yıllık bazda 821.923 ton CO_{2e} emisyon azaltımı hesaplanmıştır. İlk kredilendirme döneminin 01/01/2021 ile 31/12/2025 tarihleri arasında planlanmıştır. Proje dokümanlarında belirlenen yıllık ortalama atık miktarı 3.981.370,40 ton'dur [70].

3.3.5 Biyometanizasyon Tesisi

Gold Standard Proje No: GS7528

Proje, kaynağında ayrılmış organik atıkların biyometanizasyon yöntemiyle metan uzaklaştırmanın yanı sıra enerji üretilmesi prosesidir. Yaklaşık 9,2MWt/4,5MWe kurulu güce sahiptir. Proje ile yaklaşık yılda 36 milyon kWh elektrik üretilmesi hedeflenmektedir. İstanbul'da bulunan 3 tesisin mevcut karbon kredisi başvuruları Gold Standard sistemine kayıtlı gerçek veriler üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre proje dokümanlarında belirtilen değerler için; Yıllık üretilen ortalama elektrik miktarı 22.515 mwh ve yıllık ortalama karbon kredisi miktarı 325.053 ton CO_{2e}'dir. Proje dokümanlarında tesiste bertaraf edilen atık miktarı yıllık ortalama 159.687,50 ton olarak belirtilmektedir [71]

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Tesis Emisyonları Karşılaştırması

Bu çalışmada İstanbul'da atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan üç teknoloji olarak atık yakma, düzenli depolama ve biyometanizasyon prosesleri için sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, her üç tesiste de atıktan enerji üretimi gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulmuştur. IPCC metodolojisine göre yapılan hesaplamada her üç teknolojide de 1.000.000 ton atık bertaraf edildiği varsayılmıştır. Oluşan sera gazı emisyonları, toplam emisyonun yanı sıra biyojenik kaynak ve biyojenik olmayan kaynak olarak ayrı ayrı hesaplanmış, karşılaştırmalar her bir hesaplama kategorisi için yapılmıştır.

Buna göre sera gazı emisyon değerleri şöyledir;

Düzenli Depolama;

Literatürden alınan kabuller ve LandGEM modeline göre yapılan hesaplamalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Oluşan Toplam Gaz Miktarı: 199.659.214 m³

Yakılan Gaz Miktarı: 149.744.410,03 m³

Kaçak Gaz Miktarı: 49.914.803,45 m³

Kaçak Gaz Kaynaklı Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 501.703,67 ton CO_{2e}

Yakılan Gaz Kaynaklı Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 536.236,04 ton CO_{2e}

Toplam Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 1.037.939,71 ton CO_{2e}

Biyojenik Sera Gazı Emisyonu: 580.617,78 ton CO_{2e}

Biyojenik Olmayan Sera Gazı Emisyonu: 457.321,93 ton CO_{2e}

Atık Yakma;

Organik İçerikli Atık Yakma Kaynaklı Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 617.835,73 ton CO₂e

Organik Olmayan İçerikli Atık Yakma Kaynaklı Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 449.419,20 ton CO₂e

Toplam Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 1.064.254,93 ton CO₂e

Biyojenik Sera Gazı Emisyonu: 603.200,00 ton CO₂e

Biyojenik Olmayan Sera Gazı Emisyonu: 461.054,93 ton CO₂e

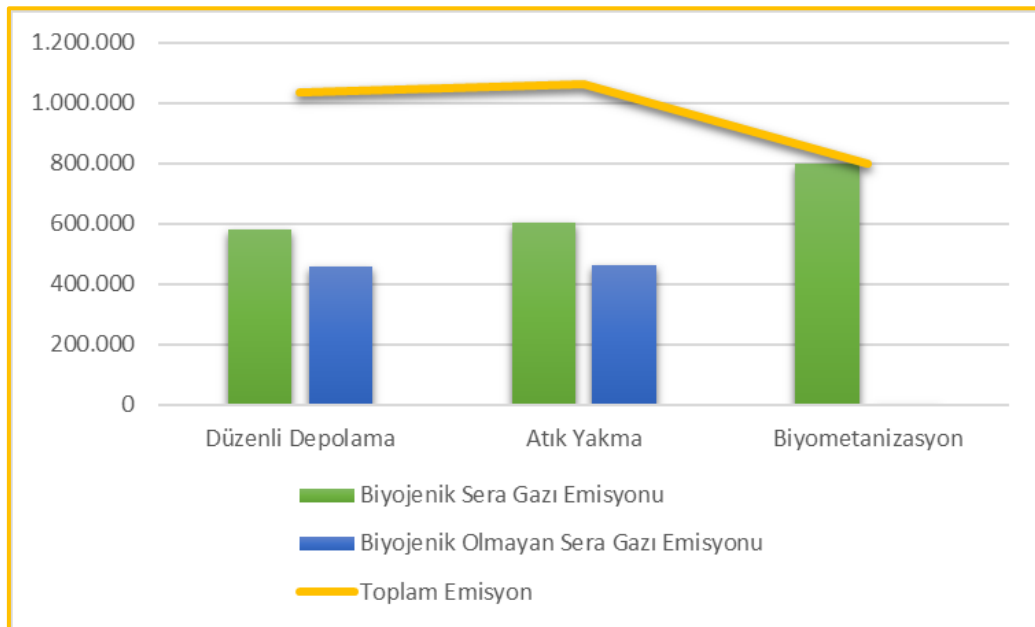
Biyometanizasyon;

Biyojenik Sera Gazı Emisyonu: 800.773,34 ton CO₂e

Biyojenik Olmayan Sera Gazı Emisyonu: 809,57 ton CO₂e

Toplam Oluşan Sera Gazı Emisyonu: 801.582,91 ton CO₂e

Tesislerin IPCC metodolojisine göre hesaplanarak karşılaştırılmış emisyon değerleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Tesislerin sera gazı emisyon değerlerinin karşılaştırması

Atık kaynaklı emisyonları değerlendirirken, hesaplamalar sonucu elde edilen biyolojik emisyon miktarı, toplam emisyonu katılmaz, ayrıca raporlanır. Bu nedenle oluşan emisyon kaynağının biyolojik olması bu değerlendirme için önemli bir etkidir. Toplam emisyon ve biyojenik olmayan emisyonlar değerlendirildiğinde; Atık Yakma ve Düzenli Depolama tesislerinin birbirine çok benzer değerler verdiği görülmüştür. Ancak kaynağında ayrıştırılmış organik atıkların bertaraf edildiği Biyometanizasyon tesislerinin diğer iki prosese göre çok daha az sera gazı emisyon salımına neden olduğu görülmektedir. Benzer biçimde, yapılan çalışmalarda da, biyometanizasyon tesislerinin atık yakma ve düzenli depolama proseslerine göre çok daha az emisyon oluşturduğu ve bu proseslerin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir [9].

Biyometanizasyon tesisinde oluşan emisyonların büyük kısmının biyojenik emisyon olduğunun görüldüğü hesaplama sonuçlarında, atık yakma tesisinin biyojenik emisyonlarının düzenli depolamadan fazla olduğu görülmektedir. Bu durum atık yakma tesislerinin prosesi sayesinde atığın çözünmeden kaynaklı bir gaz oluşumuna neden olmaması ile ilgilidir.

Yapılan bir çalışmada, vahşi depolama ile atık bertarafında oluşan metan kaynaklı sera gazı emisyonlarının düzenli depolama ile çok büyük oranda kontrol altına alındığı belirtilmektedir [8]. Benzer biçimde, İstanbul'un katı atık bertaraf teknolojilerinin değerlendirildiği bu çalışmada da, depo gazının sadece %25'i kaçak gaz olmasına rağmen, toplam gazın %75'inin toplanarak gaz motorlarında yakılması sonucu enerjiye dönüştürülmesi ile ortaya çıkan emisyonların, kaçak gaz emisyonlarına oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

Düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazından enerji üretimi esnasında ciddi emisyon azaltımı gerçekleştirilmektedir. Ancak bu tesislerde bertaraf edilen atık miktarı göz önünde bulundurulduğunda emisyon azaltımının diğer iki prosese göre daha az olduğu görülmektedir. Bunun temel nedenlerinin başında gaz toplamada yaşanan zorluklar gelmektedir. Literatürde gaz toplama verimi %75 olarak alınmıştır ancak işletme koşulları göz önünde bulundurulduğunda bunun iyi işletilen işletmeler için geçerli olduğu bilinmektedir [45], [66]. Mühendislik ve saha çalışmaları ile gaz toplama veriminin artırılması mümkün iken, işletme koşullarının ön planda olduğu bu proseslerde sera gazlarının kontrolü oldukça zordur. Yapılan çalışmalar da bu çalışma ile paralel olarak düzenli depolama

sahalarında gaz toplama veriminin yaklaşık %71 dolaylarında olduğu, ve bu oranın saha işletmesine göre değiştiği ve gaz toplama veriminin düşmesinin sera gazı emisyonlarının doğrudan artışına neden olduğu belirtilmiştir [72].

Düzenli depolama sahaları, atık hiyerarşisinde en alt sırada olan atık bertaraf teknolojilerindedir ve İstanbul gibi büyük metropollerde arazi sıkıntısının yaşanması nedeniyle düzenli depolama sahaları şehrin oldukça uzak bir noktasında konumlandırılmaktadır [73]. Bu nedenle atıkların taşınması esnasında da yakıt kaynaklı sera gazı emisyonları oluşmaktadır.

Atık Yakma Tesisleri, düzenli depolama sahalarına göre atığın daha kontrollü yönetildiği sistemlerdir. Yakma tesisleri, düzenli depolama sahalarına göre çok daha küçük bir alan üzerine kurulma imkanına sahiptir. Büyük metropollerde arazi sıkıntısı yaşanmasına ek olarak, bu tesisler koku, gaz ve sızıntı suyu kontrolü daha efektif olarak sağlanabilmesi sayesinde şehre daha yakın noktalarda konumlandırılabilirler. Bu sayede atıkların tesise taşınmasından kaynaklanan dolaylı emisyonlarda da azalma sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, atık yakma tesislerinin depolama sahalarına göre daha az arazi gerektirdiği ve büyük şehirlerde arazi kullanımı açısından avantaj sağladığı belirtilmiştir [10].

Tesis emisyon üretimi bakımından düzenli depolama tesisine yakın olsa dahi, aynı miktarda atıkla çok daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. Ülkemizde ve dünyada sera gazı emisyon salımının en fazla olduğu sektör enerji sektörüdür [6]. Tüm dünyada fosil yakıt kaynaklı enerji üretim tesisleri yerine yenilenebilir enerji üretim tesisleri kurularak sera gazı emisyonları azaltılmaya çalışılmaktadır. Düzenli depolama tesislerine kıyasla aynı miktarda atıkla ortalama 7-8 kat fazla enerji üretebilen atık yakma tesisleri ulusal ve küresel ölçekte temiz enerji ihtiyacının karşılanarak sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda önemli bir yerde durmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarında, atık yakma tesislerinin enerji geri kazanımı açısından önemli avantajlar sunduğu ve bu sayede yenilenebilir enerji üretimine katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirliği sağlayan tesisler olduğu belirtilmiştir [74].

Türkiye’de tek olan İstanbul Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi’nin en önemli dezavantajı, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetidir. Ayrıca teknolojinin

ülkemizde yaygınlaşmamış olması nedeniyle tesis işletmesi için teknolojiye hakim teknik ekip bulmak zordur. Bu tesislerde sera gazı oluşumunun yanı sıra, tehlikeli uçucu kül ve hava kirliliği kontrol parametrelerinin yönetimi çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir [75].

Atık hiyerarşisinde öncelikli tercih edilmesi gereken her zaman atık oluşumunun engellenmesi ve azaltılmasıdır. Geri dönüşüm ve geri kazanım adımlarının gerçekleşebilmesi için en önemli adımların başında atıkların kaynağında ayrıştırılması gelmektedir. Kaynağında ayrıştırılmış plastik, kağıt, metal, cam gibi malzemelerin geri kazanımıyla birlikte organik atıkların da ayrı toplanması atık yönetimi bakımından önem arz etmektedir [14].

Kaynağında ayrıştırılmış organik atıkların bertaraf edildiği biyometanizasyon tesislerinde her durumda en az sera gazı emisyon salımı gerçekleştiği görülmektedir. Yalnızca kentsel katı atık değil, tarım ve hayvancılık kaynaklı organik atıklarda bu tesislerde bertaraf edilerek enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu tesislerin temel zorluğu prosese uygun atık bulmaktır. Yapılan çalışmalara göre biyometanizasyon prosesi, sera gazı emisyon salımı bakımından daha avantajlı olsa da kaynağında ayrıştırılmış atık miktarının yetersizliği nedeniyle işletme zorluklarıyla karşılaşılması olasıdır [10]. Bu nedenle ulusal düzeyde atıkların ayrıştırılmasına ilişkin regülasyonlar ve yaptırımlar ile birlikte farkındalığın artırılarak atık oluşturucuların kaynağında ayrıştırmayı arttırması ile daha çevreci olan bu tesislerin yaygınlaşması ön görülmektedir.

Bu çalışmada ulaşılan bulgularla uyumlu olarak literatürde de karışık içeriğe sahip kentsel katı atık bertarafına uygun prosesler olarak dizayn edilmiş düzenli depolama ve atık yakma tesislerinin sera gazı emisyonları da ayrı toplanan atık miktarı arttıkça düşüş gösterdiği görülmektedir [15].

Biyometanizasyon tesislerinde, düzenli depolama ve atık yakma tesislerine kıyasla daha düşük emisyon salımı gerçekleşmektedir. Ancak, atık yakma tesisleri, üretilen yüksek enerji sayesinde fosil yakıt kullanımıyla enerji üretimini azaltarak sera gazı emisyonlarının düşürülmesine de katkı sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar, bu çalışmayla aynı doğrultuda, atık yakma tesislerinin yüksek emisyon miktarına rağmen, yüksek enerji üretimi sayesinde fosil yakıt tüketimini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir [17]. Bütüncül bir sera gazı emisyon azaltımı

değerlendirmesinde, enerji üretim miktarı da prosesin saldığı emisyon miktarı kadar önem taşımaktadır.

4.2 Karbon Kredileri Karşılaştırması

Bu çalışmada göz önünde bulundurulan 3 tesis için karbon kredi karşılaştırması gerçek tesis verilerine göre değerlendirilmiştir. Gold Standard sisteminde kayıtlı olan bilgilere göre tesislerde yıllık ortalama olarak bertaraf edilen atık miktarları ve üretilen elektrik miktarları Tablo 4.1’de gösterilmektedir. Gold Standard metodolojisinde hesaplanan karbon kredisi değerleri bu veriler baz alınarak elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Tesis atık ve enerji miktarları

TESİS	Yıllık Ortalama Atık Miktarı (ton/yıl)	Üretilen Elektrik (mwh/yıl)
Seymen Düzenli Depolama	3.981.370,40	177.088,00
Kemberburgaz Atık Yakma	1.095.000	643.620,00
Kemberburgaz Biyometanizasyon	159.687,50	22.515,00

Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi

Gold Standart metodolojisine göre hesaplanmış olan GS7529 projesi için karbon kredisi hesabı Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2 GS7529 projesi karbon kredi hesabı [69]

Yıl	BSE	PSE	KE	NEA
25.09.2021	716.323,00	-	-	716.323
2022	1.288.894,00	-	-	1.288.894
2023	1.610.113,00	-	-	1.610.113
2024	1.825.433,00	-	-	1.825.433
2025	1.969.766,00	-	-	1.969.766
24.09.2026	1.350.191,00	-	-	1.350.191
Total	8.760.720	-	-	8.760.720
5 Yıllık Ortalama	1.752.144,00	-	-	1.752.144

Hesaplamaya ilişkin dokümanlar Ek C’de verilmiştir.

Seymen Depo Gazından Enerji Üretim Tesisi

Gold Standart metodolojisine göre hesaplanmış olan GS7738 projesi için karbon kredisi miktarları Tablo 4.3’de gösterilmektedir.

Tablo 4.3 GS7738 projesi karbon kredi hesabı [70]

Yıl	PSE	MAKE	EÜKEA	BSE	NEA
26.12.2020	10,66	7.420	1.424	8.844	8.833,42
2021	648,36	547.559	86.608	634.168	633.519,32
2022	648,36	640.783	86.608	727.392	726.743,59
2023	648,36	731.138	101.813	832.950	832.302,00
2024	648,36	818.733	101.813	920.545	919.897,08
01.01.2025/ 25.12.2025	637,70	888.816	100.139	988.955	988.317,31
Total	3241,8	3.634.450	478.405	4.112.855	4.109.613
5 Yıllık Ortalama	0	726.890	95.681	822.571	821.923

Hesaplamaya ilişkin dokümanlar Ek D’de verilmiştir.

Biyometanizasyon Tesisi

Gold Standart metodolojisine göre hesaplanmış olan GS7528 projesi için karbon kredisi miktarları Tablo 4.4’te gösterilmektedir.

Tablo 4.4 GS7528 projesi karbon kredi hesabı [71]

Yıl	Başlangıç Senaryosu Emisyonu	Proje Senaryosu Emisyonu	Kaçak Emisyon	Net Emisyon Azaltımı
16.06.2021	72.856,00	523,00	-	72.333,00
2022	205.117,00	1.150,00	-	203.967,00
2023	289.078,00	1.150,00	-	287.928,00
2024	345.360,00	1.150,00	-	344.210,00
2025	383.086,00	1.150,00	-	381.936,00
15.06.2026	335.518,00	627,00	-	334.891,00
Total	1.631.015,00	5.750,00	-	1.625.265,00
5 Yıllık Ortalama	326.203,00	1.150,00	-	325.053,00

Hesaplamaya ilişkin dokümanlar Ek E’de verilmiştir.

Düzenli depolama sahalarında bertaraf edilen atık miktarına rağmen, en yüksek enerji üretim miktarının atık yakma ve enerji üretim tesisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede atık yakma tesisinin en yüksek karbon kredi miktarına sahip olduğu görülmektedir. Tesislerin karbon kredi karşılatırması Tablo 4.5’te gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Tesis karbon kredi karşılatırması

TESİS	Karbon Kredi Miktarı
Seymen Düzenli Depolama	821.923
Kemerburgaz Atık Yakma	1.752.144
Kemerburgaz Biyometanizasyon	325.053

Gold Standard metodolojisine göre yapılan hesaplamaların sonuçlarının birim atık başına karşılatırması Tablo 4.6’da gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Birim atık bazında tesis karşılatırması

TESİS	Birim atık başına karbon kredisi (ton CO ₂ e/ ton atık)	Birim atık başına enerji üretimi (MWh/ton)
Seymen Düzenli Depolama	0,21	0,04
Kemerburgaz Atık Yakma	1,60	0,59
Kemerburgaz Biyometanizasyon	2,04	0,14

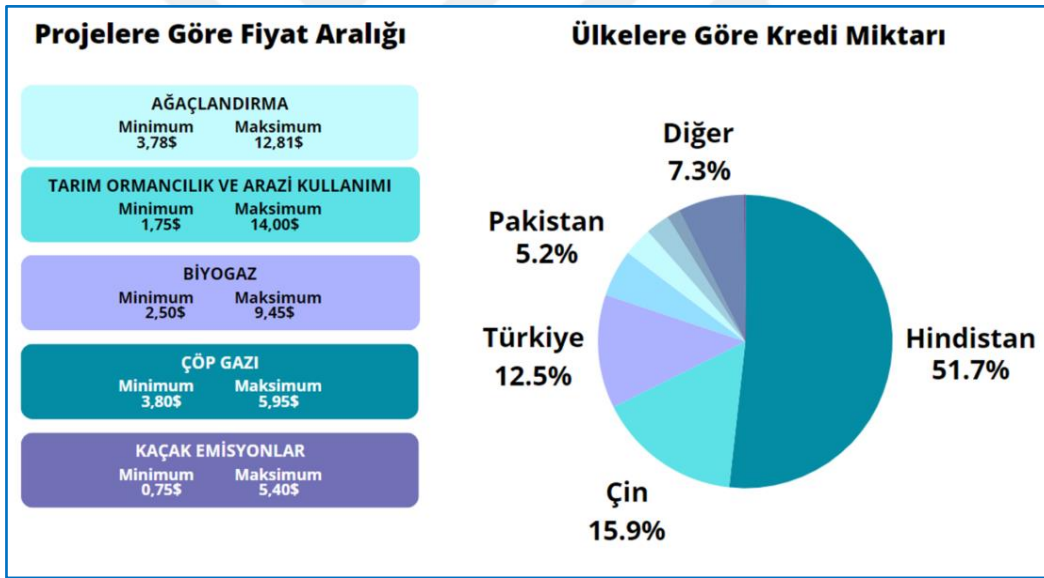
Tesisleri birim atık başına karbon kredisi bakımından değerlendirecek olursa; kredi miktarlarının en yüksekten düşüğe doğru; biyometanizasyon, atık yakma ve düzenli depolama olarak sıralandığı görülmektedir. Biyometanizasyon tesisleri çevresel açıdan en çok tercih edilen tesisler olduğundan atık başına karbon kredisi oranı diğer tesislere göre daha yüksektir. Birim atık başına enerji üretimine bakıldığında atık yakma tesislerinin diğer iki prosese göre çok daha fazla enerji üretim potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Karbon kredi fiyatlandırmalarını etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Genel olarak küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele çalışmalarının artması kredi satış fiyatlarında genel bir artışa neden olmaktadır. Projenin bulunduğu ülke, kredinin ihraç ediliği standart ve yıl aynı olmak koşuluyla karbon kredisi fiyatlandırmasını etkileyen en önemli faktör

projenin teknolojisidir. Karbon kredilerinin temel amacının finansal getiri sayesinde kurumları ve şirketleri sera gazı emisyonlarını azaltmaya teşvik etmek olması nedeniyle, en çevreci teknolojiler bu piyasalarda daha yüksek fiyatlanmaktadır.

Çalışma kapsamında karşılaştırılan üç teknoloji değerlendirildiğinde, kaynağında ayrıştırılmış organik atıkların işlendiği biyometanizasyon tesislerinin çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkı sağlaması nedeniyle daha yüksek fiyattan satış yapılabileceği ön görülmektedir.

Atık Yakma ve LFG tesislerinin kredi satış fiyatları ise birbirine oldukça yakındır. Atık Yakma Tesisleri daha az atıkla daha çok emisyon tutmasına karşın çevresel sürdürülebilirlik değerlendirmesinde çok tercih edilen tesisler arasında yer almamaktadır. Karbon kredilerinin projelere göre satış fiyatları ve ülkelere göre % dağılımı Şekil 4.2’te gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Karbon kredilerinin satış fiyatı ve ülke % dağılımı [76]

Serbest piyasa ekonomisine dayanarak fiyatların sürekli değişkenlik göstereceği gerçeğiyle beraber Mart 2024 tarihinde her 3 proje için ortalama satış fiyatları şöyledir [77];

- Atık Yakma ve Enerji Üretimi: 2,50 – 3,00 USD
- Biyometanizasyon ile Enerji Üretimi : 3,00 – 3,50 USD
- Depo Gazından Enerji Üretimi: 2,50 – 3,00 USD

Gönüllü karbon piyasasında satılan kredilerin fiyatları kredinin ihraç edildiği standart, kredinin ihraç edildiği yıl, projenin teknolojisi ve projenin bulunduğu ülke gibi parametrelerden etkilenmektedir. Çalışma kapsamında belirtilen projeler için oluşan karbon kredi miktarı ve ortalama satış fiyatları üzerinden yıllık elde edilecek gelir Tablo 4.7’de gösterilmektedir. Elde edilen bulgulara göre, Atık yakma tesisi en çok krediye sahip proje olarak, karbon kredisi bakımından en fazla kazanç sağlayan tesistir. Biyometanizasyon tesisi ise, en yüksek karbon kredisi satış bedeline sahip proje olmakla birlikte tesis kapasitesinin diğer iki prosese göre çok daha sınırlı olması nedeniyle yıllık toplam karbon kredi getirisi düşüktür. Tesislerin karbon kredisi getirileri Tablo 4.7’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7 Karbon kredi getirileri

TESİS	Karbon kredisi (ton)	Satış bedeli	Toplam Getiri
Kemberburgaz Atık Yakma	1.752.144,00	\$3,00	\$5.256.432,00
Seymen LFG	821.923,00	\$3,00	\$2.465.769,00
Kemberburgaz Biyometanizasyon	325.053,00	\$3,00	\$1.137.685,50

Bu çalışma, İstanbul’da kullanılan kentsel katı atık bertaraf teknolojilerinin sera gazı emisyonlarını karşılaştırmayı ve değerlendirmeyi amaçlamıştır. Üç farklı teknoloji olan düzenli depolama, atık yakma ve biyometanizasyon tesisleri üzerinde yapılan analizler, her bir tesisin sera gazı emisyonlarına etkilerini ortaya koymuştur.

Düzenli depolama tesislerinde bir milyon ton atık için yıllık toplam 1.037.939,71 ton CO₂e sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Bu emisyonun %56’sı biyojenik kaynaklı olup, %44’ü biyojenik olmayan emisyonlardır. Bu tesiste emisyon azaltımı oluşan depo gazının gaz motorlarında yakılarak enerji elde edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu bakımdan sahada etkili bir gaz toplama faaliyeti düzenli depolama tesislerinin emisyon kontrolünde en önemli aşamadır. Tüm atık bertaraf proseslerinde inert atık oluşacağı için, düzenli depolama tesislerine her zaman ihtiyaç olacaktır. Ancak kaynağında ayrıştırmanın yapılmadığı durumlarda kentsel katı atık içeriğinde organik içeriğin fazla olması metan gazı oluşumunu arttırmaktadır. Ayrıca kaynağında ayrıştırma esnasında geri kazanılabilecek plastik,

metal, cam, kağıt gibi malzemelerin karışık olarak düzenli depolama sahasına gelerek depolanması atığın döngüsellığı açısından istenmeyen durumlardır. İstanbul'un en önemli sorunlarından biri olan arazi sorunu da proses seçiminde düzenli depolama sahalarını dezavantajlı duruma getiren önemli konuların başında gelmektedir.

Tüm dünyada sürdürülebilir atık yönetimi stratejileri, atık azaltımı ve kaynağında ayırma üzerine yoğunlaşmaktadır. AB'nin 2035 yılına kadar kentsel katı atıkların %90'ını düzenli depolama sahalarına kabul edilmemesi hedefi ile uyumlu olarak Türkiye'de 2035 yılına kadar kentsel katı atıkların %60'ının geri kazanılması hedefi benimsenmiştir [35]. Bu hedef, atıkların kaynağında ayrıştırılmasını teşvik ederek geri dönüşüm oranlarını arttıracaktır. Bu sayede düzenli depolama sahalarına gönderilen atık miktarları azalırken organik atıkların bertaraf edilmesi için ihtiyaç duyulacak biyometanizasyon tesislerinin kapasitelerinin artırılması ve daha verimli kullanılması sağlanacaktır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi, atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir atık yönetiminin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Atıkların kaynağında ayrıştırılmasının ve atığın döngüsellığının değerlendirilmesinin atık kaynaklı emisyonların azaltılmasında önemli bir faktör olduğu görülmektedir [13].

Bu çalışma, İstanbul'da kullanılan kentsel katı atık bertaraf teknolojilerinin sera gazı emisyonlarını karşılaştırmayı ve değerlendirmeyi amaçlamıştır. Üç farklı teknoloji olan düzenli depolama, atık yakma ve biyometanizasyon tesislerinin sera gazı emisyonlarına etkileri yıllık işlenen atık miktarı 1.000.000 ton kabul edilerek IPCC metoduna göre hesaplanmıştır.

Düzenli depolama tesislerinde bir milyon ton atık için yıllık toplam 1.037.939,71 ton CO₂e sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Bu emisyonun %56'sı biyojenik kaynaklı olup, %44'ü biyojenik olmayan emisyonlardır. Bu tesiste emisyon azaltımı oluşan depo gazının gaz motorlarında yakılarak enerji elde edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu bakımdan sahada etkili bir gaz toplama faaliyeti düzenli depolama tesislerinin emisyon kontrolünde en önemli aşamadır. Tüm atık bertaraf proseslerinde inert atık oluşacağı için, düzenli depolama tesislerine her zaman ihtiyaç olacaktır. Ancak kaynağında ayrıştırmanın yapılmadığı durumlarda kentsel katı atık içeriğinde organik içeriğin fazla olması metan gazı oluşumunu arttırmaktadır. Ayrıca kaynağında ayrıştırma esnasında geri kazanılabilecek plastik, metal, cam, kağıt gibi malzemelerin karışık olarak düzenli depolama sahasına gelerek depolanması, atığın döngüselligi açısından istenmeyen durumlardır. İstanbul'un en önemli sorunlarından biri olan arazi sorunu da proses seçiminde düzenli depolama sahalarını dezavantajlı duruma getiren önemli konuların başında gelmektedir.

Atık yakma tesisleri, atıkların kontrollü bir biçimde yakılarak enerji üretildiği tesislerdir. Bir milyon ton atığın yakılarak enerji üretildiği senaryoda yıllık toplam 1.064.254,93 ton CO₂e sera gazı emisyonu oluşmaktadır. Bu emisyonun %57'si biyojenik kaynaklı olup, %43'ü biyojenik olmayan emisyonlardır. Atık yakma tesislerinde oluşan emisyon düzenli depolama tesislerinde oluşan emisyonlara çok yakın değerlerde olsa dahi, yüksek miktarda enerji üretimi gerçekleşmektedir. Depolama sahalarından farklı olarak kontrollü atık alımı ve yakma işlemi

gerçekleştirilen bu tesisler, şehre yakın yerlere kurulması ve arazi tasarrufu açısından daha avantajlıdır. Bu tesislerde kaçak depo gaz oluşmadığından karbon yakalama teknolojilerinin uygulanması daha kolaydır. Bu sayede atıktan enerji üretimiyle sera gazı emisyon azaltımına ek olarak karbon yakalama ile azaltım sağlanabilir. Tüm avantajlarının yanı sıra, bu tesislerin işletiminde özellikle proses sonucu oluşan tehlikeli uçucu kül ve hava kirleticileri mevzuata uygun olarak yönetilmediği durumda çevresel açıdan zararlı olabilirler. Ayrıca bu tesislerin yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri ile teknik zorlukları dikkate alınmalıdır.

Biyometanizasyon tesisleri, kaynağında ayrıştırılmış organik atık işleyerek enerji üreten tesisler olarak, doğru atık yönetim stratejisi uygulayan ülke ve şehirler için çevresel fayda sağlayan tesislerdir. Ancak atıkların ayrıştırılmadığı durumlarda bu tesislerin işletilmesi ile ilgili ciddi zorluklarla karşılaşmaktadır. Bir milyon ton atıktan oluşan biyogazın yakılarak enerjiye dönüştürülmesi biyometanizasyon tesisi için oluşan toplam sera gazı emisyonu 801.582,91 ton CO₂e olarak bulunmuştur. Biyometanizasyon tesisi diğer iki prosese kıyasla çok daha az sera gazı emisyonu oluşturmaktadır. Ayrıca oluşan emisyonun tamamına yakını biyojenik kaynaklıdır. Bu sonuçlar biyometanizasyon tesislerinin, düzenli depolama ve atık yakma proseslerine göre çok daha az sera gazı emisyonu saldıgını göstermektedir. Ancak, İstanbul ve Türkiye’de kaynağında ayrı toplanmış atık oranları oldukça düşük olduğundan bu tesislerin yaygınlaştırılması için bütüncül bir atık yönetim stratejisi oluşturulması, uygulanması, konuyla ilgili tarafların teşvik edilmesi ve denetlenmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan ülkemizin sera gazı azaltım hedefleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde enerji kaynaklı emisyonların azaltılmasının zaruri olduğu görülmektedir. Özellikle fosil yakıt kaynaklarından uzaklaşmak için alternatif enerji üretiminin artırılması stratejilerinde atık yakma ile enerji üretim prosesleri önemli çözümler sunmaktadır. Atıktan enerji üretim tesisleri, katı atıkların bertaraf edilerek enerjiye dönüştürüldüğü tesislerdir ve bu tesisler özellikle atık yönetimi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması bakımından sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşılmasında büyük önem taşımaktadırlar. Bu tesisler, atığın döngüsellğini değerlendirerek enerji üretiminde kullanılması ile enerji ihtiyacı ve atık bertarafı sorunlarına bir arada katkı sağlamaktadır [78] Ayrıca, atıkların

anaerobik çürümesi sonucu oluşan metan gazının enerji üretiminde kullanılması sayesinde sera gazı emisyonları önemli ölçüde azaltılmaktadır.

Atıktan enerji üretim tesisleri, özellikle yedinci, on birinci ve on üçüncü sürdürülebilir kalkınma amaçlarına doğrudan katkı sağlamaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak yedinci amaç olan erişilebilir ve temiz enerji hedefine, şehir arazilerinin kullanımı ve endüstriyel simbiyoz uygulamaları ile sürdürülebilir şehirler ve topluluklar hedefine ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlayarak iklim eylemi hedeflerinin gerçekleşmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu teknolojiler, kentsel atıkların yönetimini sağlayarak enerji üretimi için değerli bir kaynak olarak görülmekte ve fosil yakıt kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir [79]. Gelişmekte olan ülkelerde, bu teknolojilerin geliştirilmesi, yakılan odun miktarını ve ormansızlaşmayı azaltarak sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunmaktadır [47].

Atıktan enerji üretiminde kullanılan her metrik ton, yaklaşık olarak bir ton yüksek kaliteli kömür veya bir varil petrolün dörtte birini ikame edebilmektedir. Bu ikame, ABD’de yıllık yaklaşık 26 milyon ton CO₂e emisyonun azaltılmasını sağlayabilecek değerdedir [37]. Ayrıca biyogaz tesislerinde oluşan fermente ürünlerin tarımda gübre olarak kullanılması sayesinde tarımsal üretkenliğin artırılması ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması mümkün olmaktadır. Bu, tarımın ekonomik sürdürülebilirliğine katkıda bulunurken, kimyasal gübrelerin yüksek maliyetlerini de düşürmektedir [80].

Atıktan enerji üretim tesislerinin çevresel sürdürülebilirliği değerlendirildiğinde, yalnızca teknoloji kaynaklı emisyonlar değil, proses sonucu oluşan atıkların döngüsellığı ve sera gazı oluşumuna etkileri de önemlidir [81]. Düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntu suyunun arıtılarak yeniden kullanım için değerlendirilmesi ve atık yakma tesislerinde oluşan taban külünden değerli malzelerin geri kazanımı gibi işlemler, çevresel zararı önlemek ve döngüsel ekonomiye katkı sağlamak açısından değerlendirilmesi gereken unsurlardır. Bu tesislerin inşaatı ve işletmesi sırasında yerel ekonomiye katkı sağlanması, kadın çalışan oranının artırılması ve su tüketiminin kontrol altına alınması gibi yaklaşımlar, atıktan enerji üretim tesislerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlayan diğer önemli parametrelerdir.

Küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar, maliyet artışları nedeniyle önemli engellerle karşılaşmaktadır. Çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayan tesis ve teknolojilerin desteklenmesi ve yaygınlaştırılması bu açıdan kritik bir öneme sahiptir. Sera gazı azaltımına ilişkin projelerden karbon kredisi elde edilmesi, başlangıç aşamasında teşvik edici bir unsur olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada incelenen üç tesisin yıllık ortalama karbon kredisi getirileri; atık yakma tesisi için 5.256.432 \$, LFG tesisi için 2.465.769 \$, biyometanizasyon tesisi için 1.137.685,50 \$ olarak hesaplanmıştır. Biyometanizasyon tesisinin karbon kredi miktarının düşük olması kaynağında ayrıştırımda yaşanan zorluklar nedeniyle tesis kapasitelerinin diğer iki prosese göre çok daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Karbon kredi satışı sera gazı emisyonlarının azaltılmasında kısa vadede teşvik edici olsa da uzun vadede, emisyon salımının satışına dayalı yaklaşımlar yerine, bu tesislerin karbon emisyonlarını minimize edecek yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Kentsel atık yönetimi için sürdürülebilirlik odaklı bir yaklaşımla; atık azaltma, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı gibi yöntemlerin, projenin gerçekleşeceği bölgenin yerel koşulları göz önünde bulundurularak, bütüncül olarak ele alınması ve bu alandaki teknolojik yeniliklerin desteklenmesi sera gazı emisyonlarının azaltılması için değerlendirilmesi gereken hususlardır.

- [1] IPCC, "Global Warming Report 1,5 °C, Chapter 1," [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-1/>. [Accessed 20 4 2024].
- [2] M. P. L. e. M.Filonchyk, "Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O", " *Science of The Total Environment*, no. 935, p. 173359, 2024.
- [3] TÜİK, "Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022," 2024. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701>. [Accessed 5 5 2024].
- [4] TÜİK, "Atık İstatistikleri, 2022," 2023. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2022-49570>. [Accessed 6 5 2024].
- [5] TÜİK, "TÜİK Nüfus İstatistikleri," 2023. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684>. [Accessed 21 05 2024].
- [6] İSTAÇ, "İSTAÇ Faaliyet Raporu 2023," 2024. [Online]. Available: https://www.istac.istanbul/assets/belgeler_ve_raporlar/istac-2023-yili-faaliyet-raporu---web-.pdf. [Accessed 3 4 2024].
- [7] G. Kanat, "Municipal solid-waste management in İstanbul," *Waste Management*, vol. 30, no. 8-9, pp. 1737-1745, 2010.
- [8] E. F. a. C. Trois, "Quantification of greenhouse gas emissions from waste management processes for municipalities – A comparative review focusing on Africa," *Waste Management*, vol. 31, no. 7, pp. 1585-1596, 2011.
- [9] H.Güven, *Farklı katı atık yönetim senaryolarının sera gazı salımına etkilerinin araştırılması*, İstanbul: İTÜ, YL Tezi, 2012.
- [10] M.Erdoğan, *Çevresel tesislerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması*, İstanbul: İTÜ, YL Tezi, 2015.
- [11] M. A. F. J. e. N.Alqattan, "Reviewing the potential of Waste-to-Energy (WTE) technologies for Sustainable Development Goal (SDG) numbers seven and eleven," *Renewable Energy Focus*, vol. 27, pp. 97-110, 2018.
- [12] İBB, "İklim İzleme Raporu 2022," 2022. [Online]. [Accessed 2023 12 2024].

- [13] H. C. C. W. e. X. Han, "Tracking the life-cycle greenhouse gas emissions of municipal solid waste incineration power plant: A case study in Shanghai," *Journal of Cleaner Production*, vol. 398, no. 1336635, 2023.
- [14] C. L. a. S. Gheewala, "The holistic impact of integrated solid waste management on greenhouse gas emissions in Phuket," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, pp. 1865-1871, 2008.
- [15] K. W. a. T. Nakakubo, "Comparative assessment of waste disposal systems and technologies with regard to greenhouse gas emissions: A case study of municipal solid waste treatment options in China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, p. 120827, 2020.
- [16] W. a. M. Taghavi, "Waste and electricity generation; economic and greenhouse gas assessments with comparison different districts of Tehran and Beijing," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101345, 2021.
- [17] M. M. N. S. C. Magazzino, "The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from Switzerland," *Waste Management*, vol. 113, pp. 508-520, 2020.
- [18] H. Ritcie, "Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?," *Our World In Data, CO2 and Greenhouse Gas Emissions*, 2020.
- [19] E. R. C. M. S.M.Loureiro, "Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro," *Waste Management*, vol. 22, no. 5, pp. 1302-1312, 2013.
- [20] EPA, "Greenhouse Gas Emissions," [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>. [Accessed 20 01 2024].
- [21] E. C. S.M.Loureiro, "Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro," *Waste Management*, vol. 33, no. 5, pp. 1302-1312, 2013.
- [22] Our World In Data, "www.ourworldindata.org," [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-ghg-sector>. [Accessed 03 06 2024].
- [23] G. E. d. V. W. Zhao, "Eco-efficiency for greenhouse gas emissions mitigation of municipal solid waste management: A case study of Tianjin, China," *Waste Management*, vol. 31, no. 6, pp. 1407-1415, 2011.
- [24] F. F. R. M. S. Zandalinas, "Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster," *Trend In Plant Science*, vol. 26, no. 6, pp. 588-599, 2021.

- [25] IPCC, "IPCC Global Warming of 1,5 °C Report, Chapter 2," [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-2/>. [Accessed 23 4 2024].
- [26] CO2.earth, "Atmosferic CO2," [Online]. Available: www.CO2.earth. [Accessed 31 3 2024].
- [27] O. L. C.S.Aksay, "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği," *S.Ü. Fen Ed. Fak. Fen. Derg.*, no. 25, pp. 29-41, 2005.
- [28] TC Dış İşleri Bakanlığı, "Kyoto Protokolü," [Online]. Available: <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>. [Accessed 20 5 2024].
- [29] T. D. İ. Bakanlığı, "Paris İklim Antlaşması," [Online]. Available: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa#:~:text=D%C4%B1%C5%9Fi%C5%9Fleri%20Bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1&text=2020%20sonras%C4%B1%20iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20rejiminin,gaz%C4%B1%20emisyon%20azalt%C4%B1m%C4%B1%20taahh%C3%BCd%C3%BCnde%20bulunmu%20>. [Accessed 21 5 2024].
- [30] N. H. B. R. e. M.A. Budihardjo, "Strategies to reduce greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indonesia: The case of Semarang City," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 69, pp. 771-783, 2023.
- [31] G. L. e. H.W.Lu, "An inexact dynamic optimization model for municipal solid waste management in association with greenhouse gas emission control," *Journal of Environmental Management*, pp. 396-409, 2009.
- [32] M. Yazgan, "Sıfır Atık Kitabı," [Online]. Available: <https://sifiratik.gov.tr/sifir-atik/sifir-atik-kitabi>. [Accessed 29 4 2024].
- [33] I. D. M. F.Cucchiella, "Sustainable management of waste-to-energy facilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 719-728, 2014.
- [34] D. Ö. a. A. Özgüven, "Katı Atık Depo Alanlarında Bulunan Atıklardan Biyogaz Enerjisi Üretme Potansiyelinin Değerlendirilmesi; Van İli Örneği," *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, vol. 26, no. 1, pp. 160-170, 2022.
- [35] TC İstanbul Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, "İl Sıfır Atık Yönetim Sistemi Plano," İstanbul, 2020.
- [36] TC Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, "Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı," 2023. [Online]. Available:

https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal_at-k_yonet-m-eylem_plan--20180328154824.pdf. [Accessed 12 4 2024].

- [37] A. B. N. T. C.S. Psomopoulos, "Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA," *Waste Management*, vol. 29, pp. 1718-1724, 2009.
- [38] Y. S. Ş. Y. v. F. Saltabaş, "Eysel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği," in *TÜRKAY*, İstanbul, 2009.
- [39] W. K. L. Makarichi, "The evolution of waste-to-energy incineration: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 812-821, 2018.
- [40] A. W. T. G. A. H.D. Beyene, "Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review," *Renewable Energy Focus*, vol. 24, pp. 1-11, 2018.
- [41] J. A. M. Saidur Rahman, "Solid Waste Management and Incineration Practice: A Study of Bangladesh," *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, vol. 9, pp. 1-25, 2020.
- [42] İBB, "Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi," [Online]. Available: <https://cevre.ibb.istanbul/atik-yonetimi-mudurlugu-sube-mudurlugu/atik-yakma-ve-enerji-uretim-tesisi/>. [Accessed 5 2 2024].
- [43] M. Z. D. Panepinto, "Municipal solid waste incineration plant: A multi-step approach to the evaluation of an energy-recovery configuration," *Waste Management*, vol. 73, pp. 332-341, 2018.
- [44] W. M. e. Q.Zhao, "Estimation of reduced greenhouse gas emission from municipal solid waste incineration with electricity recovery in prefecture- and county-level cities of China," *Science of The Total Environment*, vol. 875, no. 16265, 2023.
- [45] G.Gök, "Estimation of methane generation and energy potential of Nigde landfill site using first order mathematical modelling approaches," *Journal of Engineering Sciences and Design*, vol. 7, no. 1, pp. 126 - 135, 2019.
- [46] A. a. F.Saltabaş, "Eysel Katı Atık Sahalarından Depo Gazı (LFG) Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi," in *TÜRKAY*, İstanbul, 2009.
- [47] M. B. E. A. R.Arthur, "Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 1510-1516, 2011.
- [48] M. H. S. G.] N.I.H.A. Aziza, "A review on life cycle assessment of biogas production: Challenges and future perspectives in Malaysia", *Biomass and Bioenergy*, vol. 122, pp. 361-374, 2019.

- [49] S. K. P. K. e. A. Saravanan, "A review on regeneration of biowaste into bio-products and bioenergy: Life cycle assessment and circular economy," *Fuel*, vol. 338, p. 127221, 2023.
- [50] R. Y. X. S. e. Y.Zhang, "Operational strategies in a low-carbon supply chain considering the impact of carbon credit," *Journal of Cleaner Production*, vol. 442, no. 141080, 2024.
- [51] T. X. W. e. H.Tian, "The impact of digital economy development on carbon emissions-based on the perspective of carbon trading market," *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, no. 140126, 2024.
- [52] X. W. Z. L. e. M.Wang, "How can carbon trading promote the green innovation efficiency of manufacturing enterprises?," *Energy Strategy Reviews*, vol. 53, no. 101420, 2024.
- [53] World Bank Group, "State and Trends Of Carbon Pricing," 2024. [Online]. Available: <https://iklim.gov.tr/db/turkce/haberler/files/State%20and%20Trends%20of%20Carbon%20Pricing%202024-Full%20Report.pdf>. [Accessed 4 6 2024].
- [54] S. Y. B.Wang, "Unveiling the relation between digital technology and low-carbon innovation: Carbon emission trading policy as an antecedent," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 205, no. 123522, 2024.
- [55] EPDK, "Karbon Piyasalarının İşletilmesine İlişkin Yönetmelik Taslağının Görüşe Açılması," [Online]. Available: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-13184/karbon-piyasalarinin-isletilmesine-iliskin-yonetm>. [Accessed 20 6 2024].
- [56] Our World In Data, "Our World In Data," [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/carbon-pricing>. [Accessed 6 5 2024].
- [57] R. Y. e. Z.J. Wang, "Carbon tax and low-carbon credit: Which policy is more beneficial to the capital-constrained manufacturer's remanufacturing activities?," *Environmental Research*, vol. 246, no. 118079, 2024.
- [58] EU ETS, "European Commission," [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en. [Accessed 27 5 2024].
- [59] L. Swinkels, "Trading carbon credit tokens on the blockchain," *International Review of Economics & Finance*, vol. 91, pp. 720-733, 2024.
- [60] C. Y. Z. e. L. Wang, "Analysis of carbon electricity coupled market modeling method based on carbon credit trading mechanism," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, no. 109707, p. 156, 2024.

- [61] Gold Standard, "Gold Standard," [Online]. Available: <https://www.goldstandard.org/>. [Accessed 14 6 2024].
- [62] Gold Standard, "PRINCIPLES AND REQUIREMENTS," [Online]. Available: <https://globalgoals.goldstandard.org/100-principles-and-requirements/>. [Accessed 20 5 2024].
- [63] İBB, "Biyometanizasyon Tesisi," [Online]. Available: <https://cevre.ibb.istanbul/atik-yonetimi-mudurlugu-sube-mudurlugu/biyometanizasyon-tesisi/>. [Accessed 03 03 2024].
- [64] IPCC, "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," 2006. [Online]. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. [Accessed 10 05 2024].
- [65] IPCC, "Chapter 2," [Online]. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/2_Volume2/19R_V2_2_Ch02_Stationary_Combustion.pdf.
- [66] H.Sarptaş, "Assessment of landfill gas (lfg) energy potential based on estimates of lfg models," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 18, no. 3/54, pp. 491-500, 2016.
- [67] W. J. P. L. e. M. Kuznia, "Analysis of the combustion products of biogas produced from organic municipal waste," *Journal of Power Technologies*, vol. 95, no. 2, p. 158–165, 2015.
- [68] A. Can, "The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey," *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, no. 118501, 2020.
- [69] Gold Standart, "İBB Waste Incineration and Power Generation Plant Project," [Online]. Available: <https://registry.goldstandard.org/projects/details/1967>. [Accessed 03 03 2024].
- [70] Gold Standart, "İBB Seymen Landfill Gas to Energy Project," [Online]. Available: <https://registry.goldstandard.org/projects/details/2583>. [Accessed 03 03 2024].
- [71] Gold Standard, "İBB Biomethanation Plant Project," [Online]. Available: <https://registry.goldstandard.org/projects/details/1966>. [Accessed 03 03 2024].
- [72] M. E. V. B. ., S. J. H. ., e. C. R. Giordano, "Landfill gas collection efficiency: Categorization of data from existing in-situ measurements,," *Waste Management*, vol. 175, 2024.

- [73] T.Öcal, "A geographical Approach to the Storage of Domestic Solid Wasteduring Turkey's Urbanization Process," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 19, no. 474-481, 2011.
- [74] M. Z. D. Panepinto, "Municipal solid waste incineration plant: A multi-step approach to the evaluation of an energy-recovery configuration," *Waste Management*, vol. 73, pp. 332-341, 2018.
- [75] B. G.Sharma, "Future emissions of greenhouse gases, particulate matter and volatile organic compounds from municipal solid waste burning in India," *Science of The Total Environment*, vol. 858, no. 2, p. 159708, 2023.
- [76] CTX Climate, "Carbon Trade Exchange," [Online]. Available: <https://ctxglobal.com/projects-new/>. [Accessed 14 05 2004].
- [77] ST Climate, "Carbon Projects," [Online]. Available: <https://stclimate.com/home/f/carbon-credit>. [Accessed 05 06 2024].
- [78] Z. X. P. J. T. e. K. G. Woon, "Recent advances in urban green energy development towards carbon emissions neutrality", *Energy*, vol. 267, no. 126502, 2023.
- [79] I. D. M. F.Cucchiella, "Sustainable management of waste-to-energy facilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 719-728, 2014.
- [80] T. a. J. Müller, "Life cycle assessment of biogas digestate processing Technologies," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 56, no. 1, pp. 92-104, 2011.
- [81] V. T. A. P. R. Kothari, "Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 9, pp. 3164-3170, 2010.

IPCC KÜRESEL ISINMA POTANSİYELLERİ

Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri- IPCC AR6 (Ek-A)

Name	Formula	Lifetime (yr)	Radiative efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	AGWP 20 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP 20	AGWP 100 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP 100	AGWP 500 (pW m ⁻² yr kg ⁻¹)	GWP 500
Major Greenhouse Gases									
Carbon dioxide	CO ₂		1.33×10 ⁻⁵	0.0243	1	0.0895	1	0.314	1
Methane	CH ₄	11.8	0.000388	1.98	81.2	2.49	27.9	2.5	7.95
Nitrous oxide	N ₂ O	109	0.0032	6.65	273	24.5	273	40.7	130

IPCC EMİSYON FAKTÖRLERİ

Enerji endüstrilerinde sabit yanma için varsayılan emisyon faktörleri (Ek-B)

Table 2.2 (continued) Default emission factors for stationary combustion in the <u>energy industries</u> (kg of greenhouse gas per TJ on a Net Calorific Basis)										
Fuel	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Default Emission Factor	Lower	Upper	Default Emission Factor	Lower	Upper	Default Emission Factor	Lower	Upper	
Municipal Wastes (non-biomass fraction)	91 700	73.300	121.000	30	10	100	4	1,5	15	
Industrial Wastes	143 000	110.000	183.000	30	10	100	4	1,5	15	
Waste Oils	73 300	72.200	74.400	30	10	100	4	1,5	15	
Peat	106.000	100.000	108.000	1	0,3	3	1,5	0,5	5	
Solid Biofuels	Wood / Wood Waste	112 000	95.000	132.000	30	10	100	4	1,5	15
	Sulphite lyes (Black Liquor) ^a	95 300	80.700	110.000	3	1	18	2	1	21
	Other Primary Solid Biomass	100 000	84.700	117.000	30	10	100	4	1,5	15
	Charcoal	112 000	95.000	132.000	200	70	600	4	1,5	15
Liquid Biofuels	Biogasoline	70 800	59.800	84.300	3	1	10	0,6	0,2	2
	Biodiesels	70 800	59.800	84.300	3	1	10	0,6	0,2	2
	Other Liquid Biofuels	79 600	67.100	95.300	3	1	10	0,6	0,2	2
Gas Biomass	Landfill Gas	54 600	46.200	66.000	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Sludge Gas	54 600	46.200	66.000	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Other Biogas	54 600	46.200	66.000	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Other	Municipal Wastes (biomass fraction)	100 000	84.700	117.000	30	10	100	4	1,5	15

(a) Includes the biomass-derived CO₂ emitted from the black liquor combustion unit and the biomass-derived CO₂ emitted from the kraft mill lime kiln.

GS7529 HESAPLAMA DOKÜMANLARI

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (Ek-C)

EMISSION REDUCTIONS CALCULATION Version 5	<i>IBB Solid Waste Plant</i>
--	------------------------------

$$ER = BE - PE - L$$

Year	BE	PE	L	ER
25.09.2021	716.323,00	-	-	716.323
2022	1.288.894,00	-	-	1.288.894
2023	1.610.113,00	-	-	1.610.113
2024	1.825.433,00	-	-	1.825.433
2025	1.969.766,00	-	-	1.969.766
24.09.2026	1.350.191,00	-	-	1.350.191
Total	8.760.720	-	-	8.760.720
Average over 5 years	1.752.144,00	-	-	1.752.144

BE Baseline Emissions
PE Project Emissions
L Leakage

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 1) (Ek-C)

BASELINE EMISSION REDUCTIONS CALCULATION

Ex-ante estimation of the amount of avoided methane emissions : "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1)

Input data

Year x	Waste collection (tons/day)*	Waste collection (tons/year)	Waste to incinerator (tons)
25.09.2021	3.000	801.000	400.500
2022	3.000	1.095.000	547.500
2023	3.000	1.095.000	547.500
2024	3.000	1.095.000	547.500
2025	3.000	1.095.000	547.500
24.09.2026	3.000	294.000	147.000
TOTAL	18.000	5.475.000	2.737.500

*Feasibility Report

1.Oca.21
267

25.Eyl.21

Parameter	Value	
ϕ_y	0,85	Standard Values
f_y	0	Standard Values
GWP _{CH4}	28	Standard Values
OX	0,1	Standard Values
F	0,5	Standard Values
DOC _{f,y}	0,5	Standard Values
MCF _y	1	Standard Values

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 2) (Ek-C)

Digested waste type j	n°	DOC j	Pn,x (%)	kj (WET)
Wood and wood products	j1	0,0646	0,0%	0,035
Pulp, paper and cardboard (other than sludge)	j2	0,1288	0,0%	0,07
Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)	j3	0,49	100,0%	0,4
Textiles	j4	0,0583	0,0%	0,07
Dangerous wastes	j5	0,0029	0,0%	0,17
Glass, plastic, metal, other inert waste	j6	0,26	0,0%	0
			100%	

Calculation

$$W_{jx} = W_x * (\sum P_{n,j,x} / z)$$

Year x	W _{j1}	W _{j2}	W _{j3}	W _{j4}	W _{j5}	W _{j6}
25.09.2021	0	0	400.500	0	0	0
2022	0	0	547.500	0	0	0
2023	0	0	547.500	0	0	0
2024	0	0	547.500	0	0	0
2025	0	0	547.500	0	0	0
24.09.2026	0	0	147.000	0	0	0
TOTAL	0	0	2.737.500	0	0	0

$$K = \varphi_y (1 - f_y) * GWP_{CH_4} * (1 - OX) * 16/12 * F * DOC_{f,y} * MCF_y$$

K	7,14
---	------

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 3) (Ek-C)

$BE_{CH_4, SWDS, y}$

$$K * \sum \sum W_{j,x} * DOC_j * \exp(-kj (y-x)) * (1 - \exp(-kj))$$

x=1 to y

j= 1 to 21

x	1	2	3	4	5	6	$BE_{CH_4, SWDS, y}$
	25.09.2021	2022	2023	2024	2025	24.09.2026	
A (tons)	400.500	547.500	547.500	547.500	547.500	147.000	
25.09.2021	461.944						461.944
2022	309.650	631.497					941.147
2023	207.565	423.305	631.497				1.262.366
2024	139.135	283.750	423.305	631.497			1.477.686
2025	93.265	190.203	283.750	423.305	631.497		1.622.019
24.09.2026	62.517	127.497	190.203	283.750	423.305	169.552	1.256.824
							7.021.986

Electricity generation

$$BE_{EN, y} = BE_{EC, y} + BE_{HG, y}$$

$$BE_{thermal, y} = 0$$

$$TDL_{grid, y} = 0$$

$$BE_{elec, y} = EG_{t, y} * EF_{grid, CM, y} * (1 + TDL_{grid, y})$$

$$CEF_d = 0,5403 \text{ Grid Emission Factor}$$

	25.09.2021	2022	2023	2024	2025	24.09.2026
$EG_{t, y}$	470.812	643.620	643.620	643.620	643.620	172.808
$BE_{EN, y}$	254.380	347.748	347.748	347.748	347.748	93.368

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 4) (Ek-C)

Total Baseline Emissions

$$BE_y = (BE_{CH_4,y} + BE_{EN,y}) \times DF_{RATE,t,y}$$

BE_y Baseline emissions in year y (tCO₂e)

$BE_{CH_4,y}$ Baseline emissions of methane from the SWDS in year y (t CO₂e)

$BE_{EN,t,y}$ Baseline emissions associated with energy generation in year y (t CO₂)

$DF_{RATE,t,y}$ Discount factor to account for RATECompliance,t,y

$DF_{RATE,t,y}$	1
-----------------	---

Year	25.09.2021	2022	2023	2024	2025	24.09.2026
$BE_{CH_4,y}$	461.944	941.147	1.262.366	1.477.686	1.622.019	1.256.824
$BE_{EN,t,y}$	254.380	347.748	347.748	347.748	347.748	93.368
$DF_{RATE,t,y}$	1	1	1	1	1	1
BE_y	716.323	1.288.894,00	1.610.113	1.825.433	1.969.766	1.350.191

Year	Baseline Emissions ($BE_{CH_4,y}$)	Baseline Emissions from electricity production ($BE_{EN,t,y}$)	Baseline Emissions (BE_y)
25.09.2021	461.944	254.380	716.323
2022	941.147	347.748	1.288.894
2023	1.262.366	347.748	1.610.113
2024	1.477.686	347.748	1.825.433
2025	1.622.019	347.748	1.969.766
24.09.2026	1.256.824	93.368	1.350.191

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 5) (Ek-C)

Power generation calculation			
year	Gross Generation (kWh/y)	Energy Consumption (kWh/y)*	Yearly Net Power Generation (kWh)**
25.09.2021	520.189.151	49.376.712	470.812.438
2022	711.120.000	67.500.000	643.620.000
2023	711.120.000	67.500.000	643.620.000
2024	711.120.000	67.500.000	643.620.000
2025	711.120.000	67.500.000	643.620.000
24.09.2026	190.930.849	18.123.288	172.807.562
TOTAL	3.555.600.000	337.500.000	3.218.100.000

1.Oca.21 25.Eyl.21
267

*System Connection Agreement
** Taken from the Generation Licence

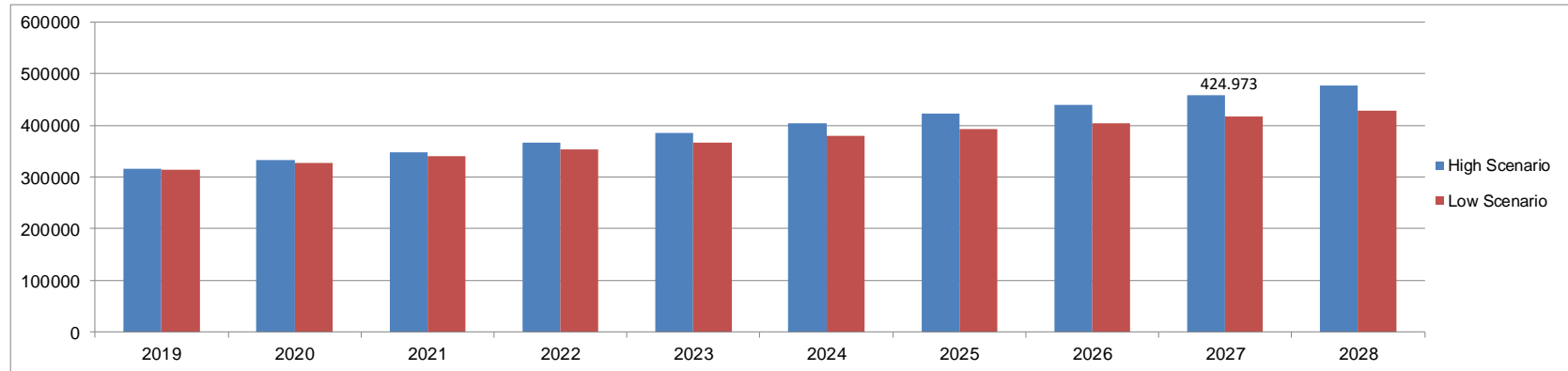
Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı 6) (Ek-C)

SDG 7 Affordable and Clean Energy		
Year	Estimation of project activity electricity generation (MWh)	Estimation of baseline electricity generation (MWh)
25.09.2021	470.812	0
2022	643.620	0
2023	643.620	0
2024	643.620	0
2025	643.620	0
24.09.2026	172.808	0
Total	3.218.100	0
Total number of crediting years	5	
Annual average over the crediting period	643.620	0

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (Ek-D)

Table 3: Low and High Demand Projection Scenarios for Ten Years Period (GWh)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
High Scenario	316.503	332.057	348.662	366.385	385.177	404.287	422.303	440.654	458.917	477.553
Low Scenario	313.832	327.285	340.511	353.200	366.767	380.401	392.610	404.628	416.619	428.791



Reference: Turkish Electricity Energy Five Years of Production Capacity Projection published by TEİAŞ

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-1) (Ek-D)

Table 4: Projection of Total Generation Capacity by Fuel Type (GWh)

YEARS	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Sahre in 2022 (%)
Lignite	62,54	68,189	68,057	68,251	71,262	71,262	13,2
Hardcoal & asphaltit	5,449	5,449	5,449	5,449	5,449	5,449	1
Import. Coal	58,855	58,855	59,017	59,017	74,246	74,246	13,8
Natural gas	188,804	197,576	197,45	200,929	200,929	200,929	37,3
Fuel oil	2,138	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	0,4
Diesel	7	7	7	7	7	7	0
Nuclear	0	0	0	0	0	0	0
Other	1,148	1,848	2,548	3,248	3,948	4,648	0,9
Biogas+waste	4,28	4,564	4,827	4,967	5,107	5,247	1
Hydro	93,543	97,961	101,29	107,729	109,15	109,164	20,3
Wind	20,807	21,578	24,93	32,349	33,954	34,044	6,3
Geothermal	8,257	9,197	9,462	9,48	9,48	9,48	1,8
Solar	8,552	14,802	17,302	19,802	21,052	22,302	4,1
Total	452,821	482,32	492,634	513,523	536,878	539,073	100

Reference: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-66/elektrikuretim-kapasite-projeksiyonlari#>

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-2) (Ek-D)

Figure 2: The Share of Fossil Fuels and Renewable in Turkish Electricity Mix (1996-2018)

Years	Thermal (GWh)	Hydro (GWh)	Geothermal+wind+solar (GWh)	Total Renewable (GWh)	Total (GWh)	% share of thermal in the energy mix	% share of renewable in the energy mix
1996	54302,8	40475,2	83,7	40558,9	94861,7	57%	43%
1997	63396,9	39816,1	82,8	39898,9	103295,8	61%	39%
1998	68702,9	42229	90,5	42319,5	111022,4	62%	38%
1999	81661	34677,5	101,4	34778,9	116439,9	70%	30%
2000	93934,186	30878,519	108,899	30987,418	124921,604	75%	25%
2001	98562,8	24009,9	152	24161,9	122724,7	80%	20%
2002	95563,1	33683,8	152,6	33836,4	129399,5	74%	26%
2003	105101	35329,5	150	35479,5	140580,5	75%	25%
2004	104463,7	46083,7	150,9	46234,6	150698,3	69%	31%
2005	122242,3	39560,5	153,4	39713,9	161956,2	75%	25%
2006	131835,1	44244,2	220,5	44464,7	176299,8	75%	25%
2007	155196,3	35850,8	511	36361,8	191558,1	81%	19%
2008	164139,3	33269,8	1008,9	34278,7	198418	83%	17%
2009	156923,4	35958,4	1931,1	37889,5	194812,9	81%	19%
2010	155827,6	51795,5	3584,6	55380,1	211207,7	74%	26%
2011	171638,3	52338,6	5418,2	57756,8	229395,1	75%	25%
2012	174871,7	57865	6760,1	64625,1	239496,8	73%	27%
2013	171812,45	59420,5	8921	68341,5	240153,95	72%	28%
2014	200416,599	40644,7	10901,5	51546,2	251962,799	80%	20%
2015	179366,4412	67145,82714	15271,0352	82416,86234	261783,3035	69%	31%
2016	185798,117	67230,88321	21378,74882	88609,63203	274407,749	68%	32%
2017	212138,4627	58218,46242	26920,59875	85139,06117	297277,5239	71%	29%
2018	209683,479	59938,426	35179,979	95118,405	304801,884	69%	31%

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-3) (Ek-D)

SDG 13 Climate Action

Year	Days	Estimation of project activity emissions (tonnes of CO2e)*	Emission reduction from Methane destruction (tonnes of CO2e)	Emission reduction from electricity generation (tonnes of CO2e)	Estimation of baseline emissions (tonnes of CO2e)	Net Benefit (tonnes of CO2e)
26/12/2020	6	10,66	7.420	1.424	8.844	8.833,42
2021	365	648,36	547.559	86.608	634.168	633.519,32
2022	365	648,36	640.783	86.608	727.392	726.743,59
2023	365	648,36	731.138	101.813	832.950	832.302,00
2024	365	648,36	818.733	101.813	920.545	919.897,08
01/01/2025 - 25/12/2025	359	637,70	888.816	100.139	988.955	988.317,31
Total (tonnes of CO2e)		3241,8	3.634.450	478.405	4.112.855	4.109.613
Total Number of Crediting Years	5					
Annual average over the crediting period		0	726.890	95.681	822.571	821.923

Annual Electricity Generation for 2021 and 2022: 160.297,00 From Gereççe Raporu_son
Annual Electricity Generation for 2023,2024, and 2025: 188.437,00 From Gereççe Raporu_son
Annual Electricity Generation of the first crediting period(MWh): 885.442,42

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-4) (Ek-D)

SDG 7 Affordable and Clean Energy				
Year	Days	Estimation of project activity electricity generation (MWh)	Estimation of baseline electricity generation (MWh)	Net Benefit (MWh)
26/12/2020	6	2.635	0	2.635
2021	365	160.297	0	160.297
2022	365	160.297	0	160.297
2023	365	188.437	0	188.437
2024	365	188.437	0	188.437
01/01/2025 - 25/12/2025	359	185.339	0	185.339
Total (tonnes of CO2e)		885.442	0	885.442
Total Number of Crediting Years	5			
Annual average over the crediting period		177.088	-	177.088

*	ECP _{j,y}	MWh/yr	1000	Assumption
	EF _{EL,j,y}	tCO ₂ /MWh	0,5403	Emission factor for the grid
	TDL _{j,y}	%	0,2	Average technical and transmission and distribution losses for providing electricity

GS7528 HESAPLAMA DOKÜMANLARI

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (Ek-E)

EMISSION REDUCTIONS CALCULATION Version 4	<i>IBB Biomethanization Plant</i>
--	--

$$ER = BE - PE - L$$

SDG 13 Climate Action

Year	BE	PE	L	ER
16.06.2021	72.856,00	523,00	-	72.333,00
2022	205.117,00	1.150,00	-	203.967,00
2023	289.078,00	1.150,00	-	287.928,00
2024	345.360,00	1.150,00	-	344.210,00
2025	383.086,00	1.150,00	-	381.936,00
15.06.2026	335.518,00	627,00	-	334.891,00
Total	1.631.015,00	5.750,00	-	1.625.265,00
Average over 5 years	326.203,00	1.150,00	-	325.053,00

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-1) (Ek-E)

BASELINE EMISSION REDUCTIONS CALCULATION

Ex-ante estimation of the amount of avoided methane emissions : "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 08.0)

Input data

Year x	Waste collection (tons/day)	Waste collection (tons/year)	Waste to digester (tons)
16.06.2021	438	72.625	58.100
2022	438	159.688	127.750
2023	438	159.688	127.750
2024	438	159.688	127.750
2025	438	159.688	127.750
15.06.2026	438	87.063	69.650
TOTAL	2.625	798.438	638.750

1.Oca.21
166

16.Haz.21

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-2) (Ek-E)

Parameter	Value	
φ_y	0,85	Standard Values
f_y	0	Standard Values
GWP_{CH_4}	28	Standard Values
OX	0,1	Standard Values
F	0,5	Standard Values
$DOC_{f,y}$	0,5	Standard Values
MCF_y	1	Standard Values

Digested waste type j	n°	DOC j	Pn,x (%)	kj (WET)
Wood and wood products	j1	0,06	0,0%	0,035
Pulp, paper and cardboard (other than sludge)	j2	0,1288	0,0%	0,07
Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)	j3	0,49	100,0%	0,4
Textiles	j4	0,0583	0,0%	0,07
Dangerous wastes	j5	0,0029	0,0%	0,17
Glass, plastic, metal, other inert waste	j6	0,26	0,0%	0
			100%	

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-3) (Ek-E)

Calculation

$$W_{jx} = W_x * (\sum P_{n,j,x} / z)$$

Year x	W _{j1}	W _{j2}	W _{j3}	W _{j4}	W _{j5}	W _{j6}
16.06.2021	0	0	58.100	0	0	0
2022	0	0	127.750	0	0	0
2023	0	0	127.750	0	0	0
2024	0	0	127.750	0	0	0
2025	0	0	127.750	0	0	0
15.06.2026	0	0	69.650	0	0	0
TOTAL	0	0	638.750	0	0	0

$$K = \varphi_y (1 - f_y) * GWP_{CH4} * (1 - OX) * 16/12 * F * DOC_{f,y} * MCF_y$$

K	7,14
---	------

BE_{CH4,SWDS,y}

$$K * \sum W_{j,x} * DOC_j * \exp(-kj (y-x)) * (1 - \exp(-kj))$$

x=1 to y

j= 1 to 21

x	1	2	3	4	5	6	
	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Year6	BE _{CH4, SWDS,y}
A (tons)	58.100	127.750	127.750	127.750	127.750	69.650	
16.06.2021	67.014						67.014
2022	44.921	147.349					192.270
2023	30.111	98.771	147.349				276.231
2024	20.184	66.208	98.771	147.349			332.513
2025	13.530	44.381	66.208	98.771	147.349		370.239
15.06.2026	9.069	29.749	44.381	66.208	98.771	80.336	328.514
							1.566.781

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-4) (Ek-E)

Electricity generation

$$BE_{EN,y} = BE_{EC,y} + BE_{HG,y}$$

$$BE_{thermal,y} = 0$$

$$TDL_{grid,y} = 0$$

$$BE_{elec,y} = EG_{t,y} * EF_{grid,CM,y} * (1 + TDL_{grid,y})$$

$$CEF_d = 0,5706 \text{ Grid Emission Factor}$$

	16.06.2021	2022	2023	2024	2025	15.06.2026
EG _{t,y}	10.240	22.515	22.515	22.515	22.515	12.275
BE _{EN,y}	5.843	12.847	12.847	12.847	12.847	7.004

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-5) (Ek-E)

Total Baseline Emissions

$$BE_y = (BE_{CH_4,y} + BE_{EN,y}) \times DF_{RATE,t,y}$$

BE_y Baseline emissions in year y (tCO₂e)

$BE_{CH_4,y}$ methane from the

$BE_{EN,t,y}$ Baseline emissions associated with energy generation in year y (t CO₂)

$DF_{RATE,t,y}$ Discount factor to account for RATECompliance, t,y

$DF_{RATE,t,y}$	1
-----------------	---

Year	16.06.2021	2022	2023	2024	2025	15.06.2026	Total
$BE_{CH_4,y}$	67.014	192.270	276.231	332.513	370.239	328.514	1.566.781
$BE_{EN,t,y}$	5.843	12.847	12.847	12.847	12.847	7.004	64.235
$DF_{RATE,t,y}$	1	1	1	1	1	1	1
BE_y	72.857	205.117,06	289.078	345.360	383.086	335.518	1.631.016

Year	Baseline Emissions ($BE_{CH_4,y}$)	Baseline Emissions from electricity production ($BE_{EN,t,y}$)	Baseline Emissions (BE_y)
16.06.2021	67.014	5.843	72.856
2022	192.270	12.847	205.117
2023	276.231	12.847	289.078
2024	332.513	12.847	345.360
2025	370.239	12.847	383.086
15.06.2026	328.514	7.004	335.518

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-6) (Ek-E)

PROJECT EMISSIONS CALCULATION

Ex-ante estimation of the amount of project emissions: ACM0022

Calculation

PE _y						
$PE_y = PE_{COMP,y} + PE_{AD,y} + PE_{GAS,y} + PE_{RDF,SB,y} + PE_{INC,y}$						
	PE _y	PE _{COMP,y}	PE _{AD,y}	PE _{GAS,y}	PE _{RDF,SB,y}	PE _{INC,y}
Units	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e
16.06.2021	523	-	523	-	-	-
2022	1.150	-	1.150	-	-	-
2023	1.150	-	1.150	-	-	-
2024	1.150	-	1.150	-	-	-
2025	1.150	-	1.150	-	-	-
15.06.2026	627	-	627	-	-	-
TOTAL	5.752	-	5.752	-	-	-

(ii) Project emissions from anaerobic digestion (PE _{AD,y})				
$PE_{AD,y} = PE_{EC,y} + PE_{FC,y} + PE_{CH_4,y} + PE_{flare,y}$				
PE _{AD,y}	PE _{EC,y}	PE _{FC,y}	PE _{CH₄,y}	PE _{flare,y}
t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂
523	0	0	523	0,0
1.150	0	0	1.150	0,0
1.150	0	0	1.150	0,0
1.150	0	0	1.150	0,0
1.150	0	0	1.150	0,0
627	0	0	627	0,0
5.752				

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-7) (Ek-E)

(ii) Project emissions from anaerobic digestion (PEAD,y)

Step 1: Determination of the quantity of methane produced in the digester (QCH₄,y)

$$Q_{CH_4,y} = Q_{biogas,y} \times f_{CH_4, default} \times \rho_{CH_4}$$

f _{CH₄} (m ³ CH ₄ /m ³ biogas)	50%	Feasibility Report
ρ _{CH₄} (t CH ₄ / m ³ CH ₄)	0,00067	Density of methane at normal conditions. As per default

	16.06.2021	2022	2023	2024	2025	15.06.2026
Q _{biogas} (m ³ /y)	1.992.000	4.380.000	4.380.000	4.380.000	4.380.000	2.388.000
f _{CH₄} (m ³ CH ₄ /m ³ biogas)	50%	50%	50%	50%	50%	50%
ρ _{CH₄} (tCH ₄ / m ³ CH ₄)	0,00067	0,00067	0,00067	0,00067	0,00067	0,00067
	667	1.467	1.467	1.467	1.467	800

0
0

Step 2: Determination of project emissions from electricity consumption (PE_{ec,y})

PEEC,y 0 tCO₂

⇒ The project activity will use electricity generated from the collected biogas.

Only in case of emergency (e.g. failure of gas engines), electricity will be imported from the grid. However, this will rarely occur and it is not the normal operation of the project activ

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-8) (Ek-E)

Step 3: Determination of project emissions from fossil fuel consumption ($PE_{FC,y}$)

$PE_{FC,y}$ 0 tCO₂

No fossil fuel consumption.

Step 4: Determination of project emissions of methane from the anaerobic digester ($PE_{CH_4,y}$)

	16.06.2021	14.07.1905	15.07.1905	16.07.1905	17.07.1905	15.06.2026
$Q_{CH_4,y}$	667	1.467	1.467	1.467	1.467	800
$EF_{CH_4, default}$	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
GWP_{CH_4}	28	28	28	28	28	28
$PE_{CH_4,y}$	523	1.150	1.150	1.150	1.150	627

Step 5: Determination of project emissions from flaring of biogas ($PE_{flare,y}$)

$PE_{flare,y}$ 0 tCO₂

Temel emisyon azaltımlarının hesaplanması (devamı-9) (Ek-E)

Power Generation Calculation										
Item	Figure	Unit	Reference							
Total Daily Consumption Plant										
Average biogas generation	12000									
year	Organic Waste (t/day)	Biogas Gen (m3/day)	No. Of Gas Engines	Installed capacity (kW)	Max Biogas Process Capacity (m3/day)	Biogas used in gas engines (m3/day)	Effective Power (used) (kW)	Gross Power Generation (kWh/y)	Energy Consumption (kWh/y)	Yearly Net Power Generation (kWh)*
16.06.2021	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	13.195.120	2.955.421	10.239.699
2022	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	29.013.365	6.498.365	22.515.000
2023	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	29.013.365	6.498.365	22.515.000
2024	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	29.013.365	6.498.365	22.515.000
2025	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	29.013.365	6.498.365	22.515.000
15.06.2026	350	12.000	2	3002	24000	12.000	1.501	15.818.246	3.542.944	12.275.301
TOTAL	2.100	72.000						145.066.826	32.491.826	112.575.000

SDG 7 Affordable and Clean Energy

Item	Figure	Unit	Reference
Effective Power per Gas Engine	1501	kW	Genaration License
Daily Biogas consumption per engine	12.000	m3/day	Feasibity Report
Gas engine availability	85%		Assumption
Digester daily working hours	24	h	
Days of collection per year	365	days	
Gas engines auxiliary consumption	5,0%		Assumption
Loss in transformation	1,20%		Assumption

Year	Estimation of project activity electricity generation (MWh)	Estimation of baseline electricity generation (MWh)
16.06.2021	10.240	0
2022	22.515	0
2023	22.515	0
2024	22.515	0
2025	22.515	0
15.06.2026	12.275	0
Total	112.575	0
Total number of crediting years		5
Annual average over the crediting period	22.515	0

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Aydın, Ç. & Koca Akkaya, E. (2024). “Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Sera Gazı Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi”, 5th International Academic Researches For Sustainability Congress, İstanbul, Türkiye
2. Aydın, Ç. & Koca Akkaya, E. (2024). “Comparative Analysis of Processing Methods for Fermented Products Generated in Biogas Facilities in Terms of Environmental Impacts”, 4th International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies, Ankara, Türkiye

