

**DİYARBAKIR İLİ KATI ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL,
EKONOMİK VE BİYOGAZ POTANSİYELİ
AÇISINDAN ANALİZİ**

NEDRET BERFİN AZİZOĞLU

HAZİRAN 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİYARBAKIR İLİ KATI ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL,
EKONOMİK VE BİYOGAZ POTANSİYELİ
AÇISINDAN ANALİZİ**

NEDRET BERFİN AZİZOĞLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2025

DİYARBAKIR

DIYARBAKIR İLİ KATI ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL, EKONOMİK VE BİYOGAZ POTANSİYELİ AÇISINDAN ANALİZİ

Nedret Berfin AZİZOĞLU tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

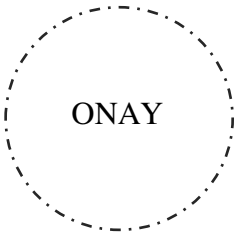
Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY
Danışman, **Uçak Bakım ve
Onarım Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Doç. Dr. İbrahim YENİGÜN (*)
Mimarlık Bölümü, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT
Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY (**)
Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 17 / 06 / 2025

(*) Jüri Başkanı.
(**) Tez Danışmanı.



Aileme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Nedret Berfin AZİZOĞLU

İmza:

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının fikir aşamasından tamamlanmasına kadar geçen süreçte bilgi, deneyim ve sabrıyla her zaman yanımda olan değerli danışmanım Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Gerek bilimsel rehberliği gerekse manevi desteği, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Bu çalışmanın daha sağlıklı bir zeminde ilerlemesini sağlayan tez izleme komitesi ve jüri üyelerime; öneri, eleştiri ve değerlendirmeleriyle araştırmamın derinliğini artırdıkları için teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca moral desteği, sabrı ve anlayışıyla bana güç veren ve her zaman yanımda olan sevgili aileme anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz şükranlarımı arz ederim. Onların inancı ve sevgisi olmasaydı bu süreci tamamlamak imkânsız olurdu.

Bu tez sürecinde emeği geçen herkese tekrar teşekkür eder; bu çalışmaların, kendilerinin katkıları sayesinde daha anlamlı ve değerli hâle geldiğini vurgulamak isterim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Katı Atık Tanımı	2
1.2 Katı Atık Yönetim Sistemi	4
1.2.1 Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi	5
1.2.2 Katı atık yönetim sisteminin dünyadaki yeri	7
1.2.3 Katı atık yönetim sisteminin Türkiye’deki yeri	9
1.2.4 Diyarbakır ili katı atık yönetim sistemi	9
1.3 Biyogaz Tanımı	10
1.3.1 Biyogazın dünyadaki gelişimi	12
1.3.2 Biyogazın Türkiye’deki gelişimi	13
1.3.3 Diyarbakır’da biyogazın durumu	13
1.4 Biyogaz Tesisi Kurulumu Yaklaşık Maliyetinin İncelenmesi (fizibilite raporu)	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
3. MALZEME VE YÖNTEM	25
3.1 Merkez İlçe Nüfus ve Çıkan Atık Miktarları	26
3.2 Evsel Atıkların Kompozisyonları	27
3.2.1 Evsel atıkların kalorifik değerleri	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1 Diyarbakır Nüfus Tahmin Analizleri	31

4.2	Diyarbakır Kentsel Katı Atık Üretim Tahminleri.....	32
4.3	Diyarbakır için Kentsel Katı Atık Yönetim Senaryoları.....	34
4.4	Kentsel Katı Atık Üretiminin 2019-2040 Yılları Arasındaki Tahmini.....	37
4.5	Enerji ve Çevresel Kazançlar	42
4.6	Evsel Atıktan Biyogaz Üretim Potansiyeli	43
4.6.1	Evsel atıktan biyogaz üretimi hesabının yapılması	44
4.7	Evsel Atıktan Elde Edilecek Biyogazın Kullanım Alanları	46
4.7.1	Elektrik enerjisi üretimi	46
4.7.2	Isı ve sıcak su üretimi	47
4.7.3	Ulaşım sektöründe kullanım.....	47
4.7.4	Gübre olarak kullanım	48
4.8	Biyogazın Elektrik Enerjisi Cinsinden Hesaplanması	50
4.9	Tartışma	51
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
5.1	Sonuçlar	53
5.2	Öneriler	53
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Katı Atıklar	2
Şekil 1.2 Katı Atık Yönetimi Sistemi Hiyerarşisi	5
Şekil 1.3 Biyogaz üretim sürecinin şematik gösterimi	11
Şekil 1.4 1 MWe Biyogaz Tesisi Kurulum Maliyet Dağılımı.....	15
Şekil 1.5 Diyarbakır Biyogaz Tesisi	15
Şekil 3.1 Diyarbakır ilinin mevcut ilçelerini gösterir harita.....	25
Şekil 3.2 Evsel atık kompozisyonları	27
Şekil 4.1 2025-2030 arası Diyarbakır merkez ilçeleri nüfus projeksiyonu.....	32
Şekil 4.2 Diyarbakır’da katı atık, biyogaz ve enerji tahminleri (2019-2040)	40
Şekil 4.3 Evsel atıktan biyogaz üretimi potansiyeli Diyarbakır merkez ilçeleri karşılaştırması.....	47
Şekil 4.4 Kojenerasyon şemasına ait bir şekil	47
Şekil 4.5 Biyogazın kullanım alanlarına göre dağılımı	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Biyokütle içeriği.....	10
Tablo 1.2 Maliyet grafiğı için grafik içeriğı (örnek veriler)	14
Tablo 3.1 Araştırmalarda kullanılan sabit katsayılar	26
Tablo 3.2 Diyarbakır merkez ilçeleri nüfus, günlük atık (kg) ve yıllık atık (ton) verileri.....	26
Tablo 3.3 Kayapınar ilçesi için evsel atıktan biyogaz üretimi hesabının yapılmasına bir örnek	27
Tablo 3.4 Türkiye’de atık bileşimi ve miktara bağı oranları (%).....	28
Tablo 3.5 Avrupa’da Oluşan Atıkların Kalorifik Değerleri	30
Tablo 3.6 Türkiye’de kentsel katı atıkların ortalama kalorifik değeri, nem oranı ve organik içerikleri.....	30
Tablo 4.1 2024-2030 yılları arasında Diyarbakır’ın merkez ilçeleri öngörülen nüfus projeksiyonu	32
Tablo 4.2 Diyarbakır ili kentsel katı atık üretim tahminleri (2025-2040) (Nüfus artış oranı %1,5; kişi başı atık artışı %0,5 olarak alınmıştır.).....	34
Tablo 4.3 Senaryo bazlı projeksiyon tablosu	36
Tablo 4.4 Senaryolar için SWOT analizi	37
Tablo 4.5 Diyarbakır yıllık bazda atık, biyogaz, enerji ve CO ₂ tahminleri	41
Tablo 4.6 Biyogaz Üretim Potansiyeli Hesaplanması	44
Tablo 4.7 Diyarbakır merkez ilçeleri biyogaz potansiyeli hesaplaması.	44
Tablo 4.8 Digestatın tipik fiziksel özellikleri.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

CH₄

Metan

CO₂

Karbondioksit

H₂S

Hidrojen sülfür

N

Azot

H

Hidrojen

m³

Metreküp

MJ

Megajul

MWe

Megawatt elektrik

Kcal

Kilokalori

kg

Kilogram

kWh

Kilovatsaat

Kısaltma

Açıklama

AB

Avrupa Birliği

ÇŞİDB

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği
Bakanlığı

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

TÜİK

Türk İstatistik Kurumu

ÖZET

DIYARBAKIR İLİ KATI ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL, EKONOMİK VE BİYOGAZ POTANSİYELİ AÇISINDAN ANALİZİ

AZİZOĞLU, Nedret Berfin

Yüksek Lisans, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY

Haziran 2025, 72 Sayfa

Bu tez çalışması, Diyarbakır ilinde oluşan evsel katı atıkların çevresel, ekonomik ve enerji üretim potansiyeli açısından değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Özellikle kent merkezindeki dört büyük ilçe olan Kayapınar, Bağlar, Yenişehir ve Sur ilçeleri odak alınarak, atık miktarları ve bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. TÜİK verilerine göre günlük yaklaşık 1.226 ton evsel atığın olduğu tespit edilmiş; bu atıkların %45'inin organik içerikli olduğu varsayımıyla yıllık yaklaşık 130 milyon m³ biyogaz üretilebileceği hesaplanmıştır. Söz konusu biyogaz, 780 milyon kWh elektrik enerjisi üretimi sağlayabilecek düzeydedir. Bu enerji üretimi sayesinde yaklaşık 390 bin ton CO₂ salımının önüne geçilebileceği belirlenmiştir. Çalışma, biyogaz üretiminin yalnızca enerji üretimi açısından değil, aynı zamanda çevresel kirliliğin azaltılması ve ekonomik faydaların sağlanması açısından da stratejik önem taşıdığını ortaya koymuştur. Ayrıca mevcut atık yönetim altyapısının yetersizliği, kaynağında ayrıştırma eksikliği ve toplumsal farkındalık düzeyinin düşüklüğü gibi sorunlara dikkat çekilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, biyogaz üretim altyapısının güçlendirilmesi, yerel yönetimlerin teknik ve idari kapasitelerinin artırılması ve halkın bilinçlendirilmesine yönelik politikaların geliştirilmesi önerilmektedir. Bu bağlamda çalışma, Diyarbakır ili için sürdürülebilir bir katı atık yönetimi modeli sunmakta ve benzer şehirler için uygulanabilir stratejik bir örnek teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık yönetimi, Biyogaz, Yenilenebilir enerji, Çevresel etki, Enerji üretimi.

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND BIOGAS POTENTIAL OF SOLID WASTE MANAGEMENT IN DIYARBAKIR PROVINCE

AZİZOĞLU, Nedret Berfin

Master of Science in Department of Renewable Energy Resources

Supervisor: Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY

June 2025, 72 pages

This thesis investigates the environmental, economic, and energy production potential of municipal solid waste management in the province of Diyarbakır. The study focuses on four central districts—Kayapınar, Bağlar, Yenişehir, and Sur—where population density and waste generation are high. According to data provided by the Turkish Statistical Institute (TÜİK), approximately 1,226 tons of household waste are produced daily. Assuming that 45% of this waste is organic in nature, the study estimates that around 130 million cubic meters of biogas could be generated annually. This amount of biogas could yield approximately 780 million kWh of electrical energy. Furthermore, replacing fossil fuels with this energy source would potentially prevent the emission of around 390,000 tons of CO₂ annually. The findings emphasize that solid waste should not be considered merely as an environmental burden but rather as a valuable resource for renewable energy and economic gain. The study also highlights existing structural problems such as inadequate infrastructure, lack of waste separation at the source, and low levels of public awareness. Based on these findings, the thesis recommends the expansion of biogas infrastructure, enhancement of the technical and administrative capacity of local governments, and the implementation of public education programs. Overall, the study presents a sustainable solid waste management model tailored to Diyarbakır and offers a strategic framework that could be adapted to similar urban settings facing parallel environmental and waste management challenges.

Keywords: Solid waste management, Biogas, Renewable energy, Environmental impact, Energy production.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus, sanayileşme ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte atık üretimi önemli ölçüde artmış, bu durum doğal kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel sorunların derinleşmesine yol açmıştır. Özellikle katı atıkların etkin bir şekilde yönetilememesi hem çevre kirliliğini artırmakta hem de insan sağlığını tehdit etmektedir. Katı atık yönetiminin yalnızca bertaraf süreciyle sınırlı olmadığını; aynı zamanda ekonomik, teknolojik ve çevresel boyutlarıyla bütüncül olarak değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının sunduğu olanaklar içerisinde biyogaz üretimi hem atıkların enerjiye dönüştürülmesi hem de çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması açısından stratejik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

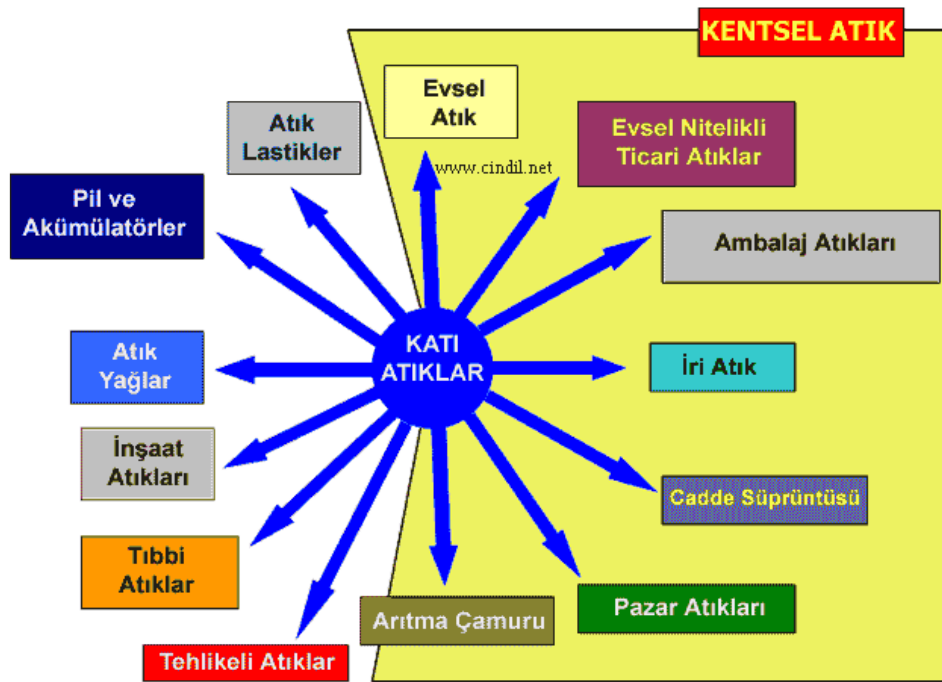
Katı atıkların doğrudan doğaya bırakılması, düzensiz depolama sahalarının oluşmasına neden olarak hava, toprak ve yer altı suyu kirliliği gibi çevresel riskleri beraberinde getirmektedir (Demirbaş, 2011). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu tür yetersizlikler, sürdürülebilir şehircilik ve çevre sağlığı açısından büyük tehditler oluşturmaktadır. Buna karşın, organik içerikli atıkların anaerobik fermentasyon ile biyogaza dönüştürülmesi hem bu riskleri azaltmakta hem de enerji üretimi yoluyla ekonomik bir değer yaratmaktadır. Biyogaz sistemlerinin kullanımı sayesinde enerji üretiminin yanı sıra, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atık hacminin düşürülmesi ve geri kalan artık ürünlerin tarımda gübre olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır (IEA, 2020).

Diyarbakır ili, yüksek nüfus yoğunluğu ve kırsal bölgelerde yoğun hayvancılık faaliyetleri ile Türkiye'nin önemli katı atık üretim merkezlerinden biri konumundadır. TÜİK (2023) verilerine göre kentte günde yaklaşık 1.670 ton evsel katı atık toplanmakta olup, bu miktarın büyük bir bölümü biyolojik olarak parçalanabilir niteliktedir. Bu bağlamda, bölgedeki atık potansiyelinin doğru analiz edilmesi ve buna uygun biyogaz üretim altyapısının geliştirilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması kadar ekonomik kalkınma açısından da önem arz etmektedir. Ayrıca, bu tür yatırımların yerel istihdama katkı sağlaması ve kırsal kalkınmayı desteklemesi de dikkat çekici faydalar arasında yer almaktadır (Yılmaz, 2017).

Literatürde biyogaz üretiminin yalnızca enerji politikaları açısından değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında da değerlendirildiği görülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde atıklardan enerji üretimi, çevre politikalarının temel ayaklarından birini oluştururken; Türkiye’de de bu alanda son yıllarda ciddi yatırımlar yapılmaktadır (Scarlat, Dallemand ve Fahl, 2018). Ancak mevcut potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için yerel düzeyde fizibilite çalışmalarının yaygınlaştırılması, teknolojik altyapının güçlendirilmesi ve halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması, Diyarbakır ili özelinde katı atık yönetimi sistemini çevresel, ekonomik ve biyogaz üretimi potansiyeli açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, evsel atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı ve bu gazdan üretilebilecek enerji hesaplanarak, sürdürülebilir enerji sistemlerine geçiş sürecinde yerel yönetimlere ve politika yapıcılara katkı sunulması hedeflenmektedir. Bu kapsamda geliştirilen model, yalnızca Diyarbakır için değil, benzer özelliklere sahip diğer şehirler için de uygulanabilir bir örnek teşkil etmesi bakımından önem taşımaktadır.

1.1 Katı Atık Tanımı



Şekil 1.1 Katı Atıklar (Cindil,2025)

1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'na göre atık, bir faaliyetin sonucu olarak ortaya çıkan, istenmeyen ve çevreye bırakıldığında zarar verebilecek nitelikteki unsurlar olarak tanımlanmaktadır (Belediye Kanunu, 1983). Bu çalışmada incelenen katı atıklar ise çeşitli alt kategorilere ayrılarak sınıflandırılmaktadır. Bu kategoriler; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel nitelikli atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe kaynaklı atıklar ile inşaat ve yıkım faaliyetlerinden kaynaklanan moloz atıkları şeklinde sıralanmaktadır.

Katı atıklar, insan faaliyetleri sonucunda oluşan, kullanılmayan ve genellikle atılması gereken katı ya da yarı katı formdaki maddelerdir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre katı atık, toplumun üretim, tüketim ve diğer faaliyetleri sonucu oluşan ve istenmeyen nitelikteki maddelerin tümünü kapsar. Bu atıklar, içeriklerindeki zararlı bileşenler nedeniyle çevre sağlığını ve insan yaşam kalitesini tehdit edici potansiyele sahiptir (Tchobanoglous vd., 2002).

Atık; üreticisi veya kullanıcısı tarafından çevreye atılan veya bırakılan, kullanılabilir veya kullanılamaz durumdaki, katı, sıvı veya gaz formundaki madde olarak tanımlanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).¹² Katı atık miktarı bakımından dünya ve ülkemiz nüfus artışının ve sanayileşmenin zamana bağımlı olarak artması sebebi ile çevre kirliliğinin fazlaşmasına ve kalitenin bozulmasına sebep olmaktadır. Probleme odaklandığımızda sorunun çözümüne yönelik çevre ve doğaya verilen zararı azaltmak için sürdürülebilir bir alt yapı hazırlığı ve bu yapının geliştirilebilir olması gerekmektedir (Özden, 2019).

Günümüzde katı atık yönetimi, yalnızca bertaraf sürecini değil; atığın oluşumundan başlayarak toplanması, taşınması, geri kazanılması ve nihai bertarafına kadar tüm aşamaları kapsayan bütünleşmiş bir sistem olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi oluşturulabilmesi için hem mevzuat altyapısının güçlendirilmesi hem de toplumsal farkındalığın artırılması büyük önem taşımaktadır.

1.2 Katı Atık Yönetim Sistemi

Katı atık yönetim sistemlerinin başarısı, yalnızca fiziksel altyapının varlığıyla sınırlı olmayıp, aynı zamanda yönetsel süreçlerin etkinliği ve kamuoyunun katılım düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda, planlama, uygulama, denetim ve değerlendirme aşamalarının bütüncül bir çerçevede ele alınması gerekmektedir. Etkin bir sistemin oluşturulabilmesi için, yerel yönetimlerin teknik kapasitesinin artırılması ve özellikle atıkların kaynağında ayrıştırılmasına yönelik toplumsal farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır (Pichtel, 2014).

Nüfusun kırsaldan kentlere kayması sonucu yerel yönetimler içinde belediyelerin görev ve sorumlulukları genişlemiştir. Ayrıca küresel kamusal mal niteliğindeki iklim değişikliği, göç, doğal kaynakların azalması, sürdürülebilirlik gibi sorunlar ve sosyal belediyecilik akımı belediye hizmetlerinin niteliksel ve niceliksel olarak artmasına neden olmuştur. Bugün itibarıyla belediye hizmetleri yol, kaldırım, kanalizasyon, toplu taşıma, su, mezar hizmetleri ile sınırlı değildir. Ekonomik ve sosyal yaşamda yaşanan gelişmeler hem merkezi idarenin hem de yerel yönetimlerin görev ve sorumluluklarını nitelik ve nicelik olarak artırmıştır. Dezavantajlı gruplar, yeşil alanlar, hava kirliliği, atık yönetimi, engelsiz yaşam hizmetleri gibi çok sayıda yeni faaliyet alanları, belediyelerin görevleri içinde yer almaktadır (Ay ve Söylemez, 2023).

Ayrıca, günümüzde sürdürülebilir atık yönetimi anlayışı, atıkların sadece bertaraf edilmesini değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel değerinin yeniden kazanılmasını da hedeflemektedir. Bu doğrultuda uygulanan sıfır atık, kompostlama ve atıktan enerji üretimi gibi yöntemler, kaynak verimliliğini artırmakta ve sera gazı salımlarını azaltmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan atık hiyerarşisi modeli, atık oluşumunun önlenmesini, yeniden kullanımı, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımını önceliklendiren bütünleşmiş bir sistem sunmaktadır (Wilson vd., 2012). Türkiye'nin de bu modele uyum sağlayacak şekilde mevzuatlarını ve uygulamalarını güçlendirmesi gereklidir.

Literatürde atıklar ile ilgili yürütülen bütün çalışmalarda oluşan atık miktarlarının iklim, nüfus, teknolojik gelişim, bölgesel kalkınma (zenginlik), yaşam stili ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olduğu gösterilmiştir (Olisa, vd., 2016; Wownieczka, 2021).

1.2.1 Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi



Şekil 1.2 Katı Atık Yönetimi Sistemi Hiyerarşisi (Evreka,2025)

Katı atık yönetimi, modern çevre mühendisliğinin temel bileşenlerinden biri olarak, doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu alandaki en temel yaklaşımlardan biri olan katı atık yönetimi hiyerarşisi, atıkların yönetiminde tercih sırasını belirleyen ve çevresel açıdan en etkili yöntemleri önceleyen bir çerçeve sunar. Hiyerarşi, atık yönetiminde sistematik bir yol haritası niteliği taşımakta ve uluslararası çevre politikalarının temelini oluşturmaktadır (European Commission, 2008).

Hiyerarşinin beş temel basamağı şu şekildedir:

1. Atık Oluşumunun Önlenmesi (Prevention):

En öncelikli aşamadır ve doğrudan kaynakta atığın oluşmasının engellenmesini hedefler. Ürün tasarımı, üretim süreçleri, tüketim alışkanlıkları ve sürdürülebilir yaşam tarzlarının teşviki bu aşamanın temel uygulama alanlarıdır. Atığın hiç oluşmaması, diğer tüm yönetim basamaklarından daha az çevresel etkiye sahiptir (UNEP, 2011).

2. Yeniden Kullanım (Reuse):

Atık haline gelmeden önce ürünlerin veya bileşenlerin tekrar kullanılması anlamına gelir. Ambalajlar, cam şişeler, elektronik ekipmanlar gibi birçok ürün bu yolla ömrünü uzatabilir. Yeniden kullanım hem enerji hem de hammadde tasarrufu sağlar ve atık hacmini azaltır (Wilson vd., 2012).

3. Geri Dönüşüm (Recycling):

Atıkların fiziksel veya kimyasal işlemlerle yeniden hammaddeye dönüştürülmesidir. Geri dönüşüm, atıkların ekonomiye kazandırılması yoluyla döngüsel ekonomi modeline katkı sunar. Kâğıt, plastik, cam ve metal gibi birçok malzeme etkin geri dönüşüm süreçlerine uygundur. Ayrıca sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlar (Zaman, 2013).

4. Enerji Geri Kazanımı (Energy Recovery):

Geri dönüşüm için uygun olmayan atıkların termal işlemlerle (örneğin yakma, piroliz veya gazifikasyon) enerjiye dönüştürülmesi sürecidir. Bu yöntem, özellikle belediye atıkları için kullanılmakta ve hem ısı hem de elektrik üretimi sağlamaktadır. Ancak bu aşamanın çevresel avantajları, teknolojinin verimliliğine ve emisyon kontrol düzeyine bağlıdır (Tchobanoglous vd., 1993).

5. Bertaraf (Disposal):

Hiyerarşide en son ve en az tercih edilen yöntemdir. Atıkların düzenli depolama alanlarına gönderilerek çevreden uzaklaştırılmasını ifade eder. Uygun altyapı ve sızdırmazlık sistemleriyle yapılmadığında toprak ve yeraltı suyu kirliliğine yol

açabilir. Bu nedenle yalnızca diğer yöntemlerle değerlendirilemeyen atıklar için uygulanmalıdır (European Commission, 2008).

Hiyerarşinin Uygulamadaki Önemi

Atık yönetimi hiyerarşisi, yalnızca teknik bir sıralama değil; aynı zamanda çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri olan bir karar alma çerçevesidir. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde bu hiyerarşi, 2008/98/EC sayılı Atık Çerçeve Direktifi kapsamında yasal bir temel haline gelmiştir. Türkiye de bu direktif doğrultusunda “Atık Yönetimi Yönetmeliği” ile bu hiyerarşiyi yasal düzenlemelerine entegre etmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015).

Ayrıca, literatürde yapılan çalışmalar, hiyerarşinin etkin uygulanmasının sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve döngüsel ekonomiye geçiş açısından kilit rol oynadığını göstermektedir (Zaman, 2013; Wilson vd., 2012). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, atık yönetim politikalarının bu hiyerarşiye göre yapılandırılması hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği desteklemektedir.

1.2.2 Katı atık yönetim sisteminin dünyadaki yeri

Dünya genelinde katı atık yönetimi, gelişmişlik düzeyine bağlı olarak farklı uygulamalar göstermekte; bu sistemler, sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde hem çevresel etkileri azaltma hem de kaynak verimliliğini artırma yönünde evrilmektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde atık yönetimi, "önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı" şeklinde tanımlanan bir atık hiyerarşisi doğrultusunda yürütülmektedir. Bu sistematik yapı hem atık miktarını azaltmayı hem de ekonomik değer yaratmayı hedefleyen bütünleşmiş stratejileri içermektedir (Zaman ve Lehmann, 2011).

Düzensiz depolama gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde uygulanan, çevre ve insan sağlığı açısından çok tehlikeli bir depolama metodu olup, atıkların kontrolsüz bir şekilde rastgele doğaya bırakılmasıdır. Çevre kirliliği, görüntü kirliliği, salgın hastalıklar, böcek-haşere oluşumu düzensiz depolamanın kaçınılmaz sonuçlarıdır (Özel, 2018).

Gelişmiş ülkelerde atık yönetimi uygulamaları yalnızca teknik altyapıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda politika yapıcılarının yönlendirdiği sosyal ve ekonomik mekanizmalarla desteklenmektedir. Örneğin, İsveç'te evsel atıkların yalnızca %1'i düzenli depolama sahalarına gönderilirken; geri kalan büyük bir kısmı geri dönüşüm ve enerji üretim süreçlerine entegre edilmektedir. Bu başarıda, vatandaş katılımı, atık ayrıştırma sistemlerinin yaygınlığı ve yüksek düzeyde kamu bilinci belirleyici faktörlerdir (Johansson, 2016). Türkiye'nin de benzer bir atık yönetim altyapısı oluşturabilmesi için, yerel yönetim kapasitesinin artırılması, mevzuat uyumunun sağlanması ve halkın aktif katılımının teşvik edilmesi büyük önem arz etmektedir.

İnsan yaşamının olduğu alanlarda düzensiz depolama sahaları, sağlık sorunlarını önemli derecede etkilemekte ve sorunun çözülmesi için acil planlamalar gerekmektedir. Problemin çözümü; çevre koşullarına en uygun atık yönetim sistemine geçilmesi, atıkların etkin yok edilmesi gerekmektedir. Yok etme şekli bölgede yaşayan nüfusun durumuna göre göz önünde bulundurularak seçilmelidir (Özden, 2019).

Katı atık sorunu ve çevreye olumsuz etkisi gün geçtikçe artmakta, kirlilik oranı ve olumsuz etkilerine neden olan kaynakların azalması dünya genelinde ve ülkemizde katı atık yönetimi ihtiyacının üst seviyede olduğunu ortaya çıkarmıştır. Katı atık yönetimi, unsurları, atıkların oluşmasından ve o atıkların yok edilme sürecine kadar geçen tüm aşamaların birbiri ile zincir bağlantısı iyi bir şekilde belirlenmelidir. Atığın oluşmasından yok edilmesine kadar geçen çerçevenin tamamının atık yönetimi amacının atıkların doğa ve çevreye verebilecek olan zararın en düşük düzeye indirgenmesine ortam hazırlamaktır. Bu amacın oluşturulmasındaki en önemli sıra ise atık miktarının azalması için gerekli etüt çalışmalarını yapmak ve bu çalışmaların sonucunu ortaya çıkarmaktır (Aslan, 2017).

Katı atıkların yönetimi, atık oluşumundan yok edilmesine kadar geçen süre içerisinde olan bütün aşamaları doğru ve orantılı bir şekilde çalışması ile bir başarı sağlayacaktır. Katı atık yönetiminde belirli amaçlar vardır. Bu amaçlar; doğal atık oluşumunu engellemek, atığın geri dönüştürülerek kullanımını sağlamak, düzenli depolamaya giden katı atık miktarının en aza indirilmesini sağlamak için en uygun

ve etkili sistemleri geliştirmektedir aynı zamanda atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermelerini engellemek, atıkların ülke ekonomisine kazanımını sağlamak, iş istihdamı oluşturmak ve sürdürülebilirliktir (Bilgili, 2020; Brito vd., 2021; zden, 2019).

1.2.3 Katı atık yönetim sisteminin Türkiye’deki yeri

Türkiye’de katı atık yönetimi, 1983 tarihli 2872 sayılı evre Kanunu ile yasal çerçeveye kavuşturulmuş olup, atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertarafı süreçleri kamu otoriteleri tarafından düzenli olarak denetlenmektedir. Nüfus artışı, şehirleşme ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte ülke genelinde yılda yaklaşık 32 milyon ton belediye kaynaklı katı atık oluştuğu bildirilmektedir (TK, 2023). 2000’li yıllardan itibaren Türkiye, AB evre mevzuatına uyum süreci çerçevesinde düzenli depolama tesislerinin sayısını artırmış, geri dönüşüm oranlarını yükseltmeye ve atıklardan enerji üretimini teşvik etmeye yönelik politikalar geliştirmiştir (Demirbaş, 2011). Ancak buna rağmen, birçok yerel yönetimde altyapı eksiklikleri, atıkların kaynağında ayrıştırılamaması ve düzensiz depolama uygulamaları gibi sorunlar halen varlığını sürdürmektedir. Bu durum, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından mevcut sistemin daha verimli ve bütünleşmiş bir yapıya kavuşturulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

1.2.4 Diyarbakır ili katı atık yönetim sistemi

Diyarbakır ili, Türkiye’nin önemli bykşehirlerinden biri olup, hızla artan nüfusu ve kentleşme süreci ile ciddi miktarda evsel katı atık üretmektedir. 2022 yılı verilerine göre, Diyarbakır’da belediyeler tarafından günde yaklaşık 1.670 ton evsel atık toplanmıştır (TK, 2025). Bu atıklar, Diyarbakır Entegre Katı Atık Yönetim Tesisinde toplanmakta ve burada mekanik ayrıştırma, düzenli depolama ve kompostlama gibi işlemler uygulanmaktadır (şİDB, 2022). Bununla birlikte, kent genelinde atıkların kaynağında ayrıştırılması, toplama sistemlerinin yaygınlaştırılması ve halkın bilinç düzeyinin artırılması yönünde çeşitli yapısal sorunlar devam etmektedir. Etkili ve sürdürülebilir bir atık yönetimi için, teknik altyapının güçlendirilmesinin yanı sıra, atıklardan enerji üretimi gibi yenilikçi yaklaşımların desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

1.3 Biyogaz Tanımı

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde bitkisel, hayvansal ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardan oluşan biyokütle önemli bir yer tutmaktadır (Yenigün ve ark., 2021, Bayram, 2017). Biyokütlenin uzak bölgelerde özellikle enerjiden yoksun yerlerde üretilmesi ile bu bölgelerin gelişimine katkı sağlanması ve istihdamın artırılması mümkündür (Yenigün ve ark., 2021, Bilgili, 2020).

Biyokütlenin oksijen olmayan ortamda fermente edilmesi sonucunda; meydana çıkan renksiz, kokusu olmayan, havadan çok daha hafif, parlak açık mavi alev ile yanan yaklaşıp;

Tablo 1.1 Biyokütle içeriği

Bileşik	Miktar (%)
CH ₄	40-70
CO ₂	30-60
H ₂ S	0-3
Az miktarda N ve H	

Bu tabloda verilen değerlerin yanı sıra Biyogazın; oluştuğu gazlardan CH₄ oranına göre ısı değeri bir m³'te 17-25 MJ aralığında değişir (Yenigün ve ark.,2021)

Biyogazın üretildiği kaynakları 3 gruba ayrılmaktadır;

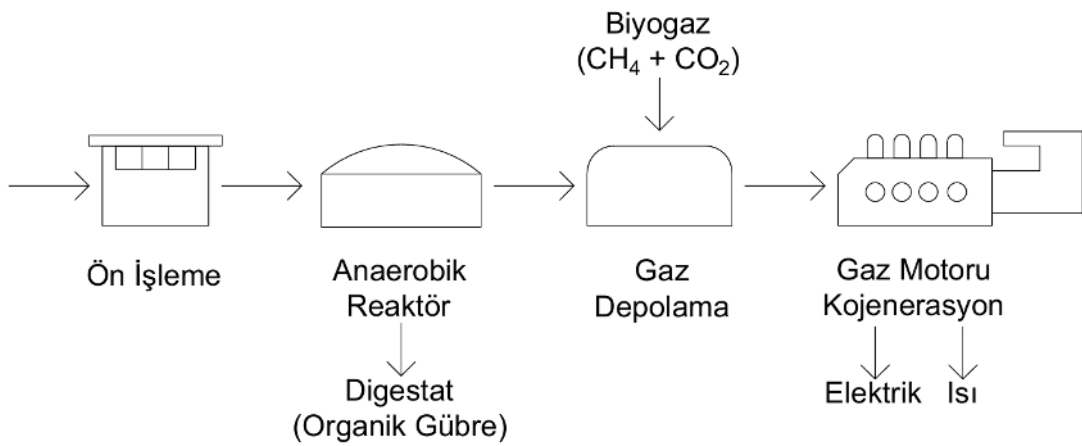
Bitkisel atıklar, (İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları, vb.)

Hayvansal atıklar, (Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvan-sal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, vb.)

Şehirsel ve endüstriyel atıklar, (Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstri-yel ve evsel atıklar, vb.) (Koca, 2007).

Biyogazın kullanımı tarihte ilk olarak Asurlular'a dayanmaktadır. Önce Asurlular daha sonra da İranlılar banyo ısıtılmasında biyogazı kullanmışlardır. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont, organik maddelerin bozunumu ile gaz oluştuğunu, 18. yüzyılda da Alessandra Volta oksijensiz ortamda metan gazı üretimini tespit etmiştir. İlk biyogaz üretimi kayıtlara 1895 yılında İngiltere'de geçmiştir. Bu tarihten sonra özellikle 3. dünya ülkeleri biyogaz üretimine büyük önem vermişlerdir. Türkiye'de biyogaz ile ilgili ilk çalışmalara 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde başlanmıştır. Özellikle 1982 yılından sonra Merkez Toprak su Araştırma Merkezi tarafın-dan çok ciddi projeler yapılmış ve uygulamaya geçilmiştir. Ancak teknik ve organizasyon problemleri ve yetişmiş personel sıkıntılarından dolayı iyi sonuçlar alınamamıştır. Türkiye'deki biyogaz potansiyelinin 2.5-4,0 milyar m³ olduğu tahmin edilmektedir (Koca, 2007).

Biyogaz Üretim Şeması



Şekil 1.3 Biyogaz üretim sürecinin şematik gösterimi (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

1.3.1 Biyogazın dünyadaki gelişimi

Son yıllarda dünya genelinde artan çevresel kaygılar, enerji güvenliği ihtiyacı ve döngüsel ekonomi politikaları doğrultusunda biyogaz sistemlerine olan ilgi hızla artmıştır. Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri, biyogazı sadece yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda tarımsal atıkların değerlendirilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından stratejik bir araç olarak görmektedir. Almanya, 10.000'i aşkın biyogaz tesisiyle bu alanda öncü konumda yer almakta ve tarım temelli enerji üretiminde ciddi başarılar elde etmektedir (Weiland, 2010).

Biyogaz üretimi, küresel düzeyde çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasıyla birlikte önemli bir yenilenebilir enerji çözümü haline gelmiştir. Avrupa ülkeleri başta olmak üzere Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde biyogaz üretim tesisleri hem organik atıkların değerlendirilmesi hem de enerji üretimi amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2020).

2020 yılı itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 50 milyar metreküp biyogaz üretildiği ve bu miktarın büyük bölümünün tarımsal atıklar, hayvansal gübreler ve evsel organik atıklardan elde edildiği bildirilmiştir (Scarlat vd., 2018). Biyogaz teknolojileri, özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde döngüsel ekonomi anlayışı çerçevesinde teşvik edilmekte; enerji üretiminin yanı sıra, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve atık yönetimi sorunlarının çözümüne de katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, biyogaz sistemleri hem çevresel sürdürülebilirlik hem de yerel kalkınma açısından stratejik bir rol üstlenmektedir.

Asya kıtasında ise Çin ve Hindistan gibi ülkeler, biyogaz sistemlerini kırsal alanlarda enerjiye erişimi artırmak ve çevresel sorunları azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanmaktadır. Çin'de 2020 yılı itibarıyla 43 milyondan fazla haneye biyogaz temin eden küçük ölçekli sistemler kurulmuştur (Yadvika vd., 2004). Bu durum, biyogaz teknolojilerinin yalnızca sanayi ölçeğinde değil, aynı zamanda yerel kalkınma düzeyinde de etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Küresel eğilimler, biyogazın yalnızca enerji üretimi değil; aynı zamanda entegre çevre

yönetimi ve sürdürülebilir kırsal kalkınma politikalarının ayrılmaz bir bileşeni haline geldiğini ortaya koymaktadır.

1.3.2 Biyogazın Türkiye’deki gelişimi

Türkiye’de biyogaz teknolojilerine olan ilgi, enerji arz güvenliği, atık yönetimi ve kırsal kalkınma hedefleri doğrultusunda giderek artmaktadır. İlk biyogaz çalışmaları 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü’nde başlatılmış, 1980’li yıllardan itibaren ise Tarım Bakanlığı ve çeşitli üniversitelerin öncülüğünde pilot tesisler kurulmuştur (Demirbas, 2001). Ancak bu girişimler, teknik bilgi eksikliği ve yetersiz altyapı nedeniyle uzun yıllar yaygınlaşamamıştır. Son yıllarda ise hem kamu teşvikleri hem de özel sektör yatırımları sayesinde biyogaz tesislerinin sayısında ciddi artış yaşanmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verilerine göre, 2023 yılı itibarıyla Türkiye genelinde 100’ün üzerinde lisanslı biyogaz tesisi faaliyet göstermektedir (EPDK, 2023). Bu tesislerin büyük bölümü hayvansal atıklara dayalı olarak çalışmakta, ancak evsel ve tarımsal atıkların da biyogaz üretiminde değerlendirilmesi yönünde politikalar geliştirilmektedir. Türkiye’de biyogazın gelişimi, hem yenilenebilir enerji hedeflerine katkı sağlamak hem de atıkların çevresel etkilerini azaltmak açısından önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

1.3.3 Diyarbakır’da biyogazın durumu

Diyarbakır ili, sahip olduğu yüksek hayvancılık potansiyeli ve artan evsel atık miktarıyla biyogaz üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Kentte yıllık olarak yaklaşık 600 bin ton evsel atık ve önemli miktarda büyükbaş-hayvansal gübre üretildiği bildirilmiştir (TÜİK, 2022). Bu atıkların biyolojik olarak parçalanabilir kısmı, uygun teknolojilerle işlendiğinde enerjiye dönüştürülebilecek önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Diyarbakır Entegre Katı Atık Yönetimi Tesisi kapsamında kurulu olan biyometanizasyon ünitesi sayesinde, organik atıklardan biyogaz üretimi gerçekleştirilmekte ve bu gazdan elektrik enerjisi elde edilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB], 2022). Ancak mevcut tesisin kapasitesi, il genelindeki biyogaz potansiyelini karşılamaktan uzaktır. Bu nedenle, hem tarımsal ve hayvansal atıklara dayalı yeni biyogaz tesislerinin

kurulması hem de mevcut tesisin çağdaştırılması, bölgesel kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından öncelikli bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.

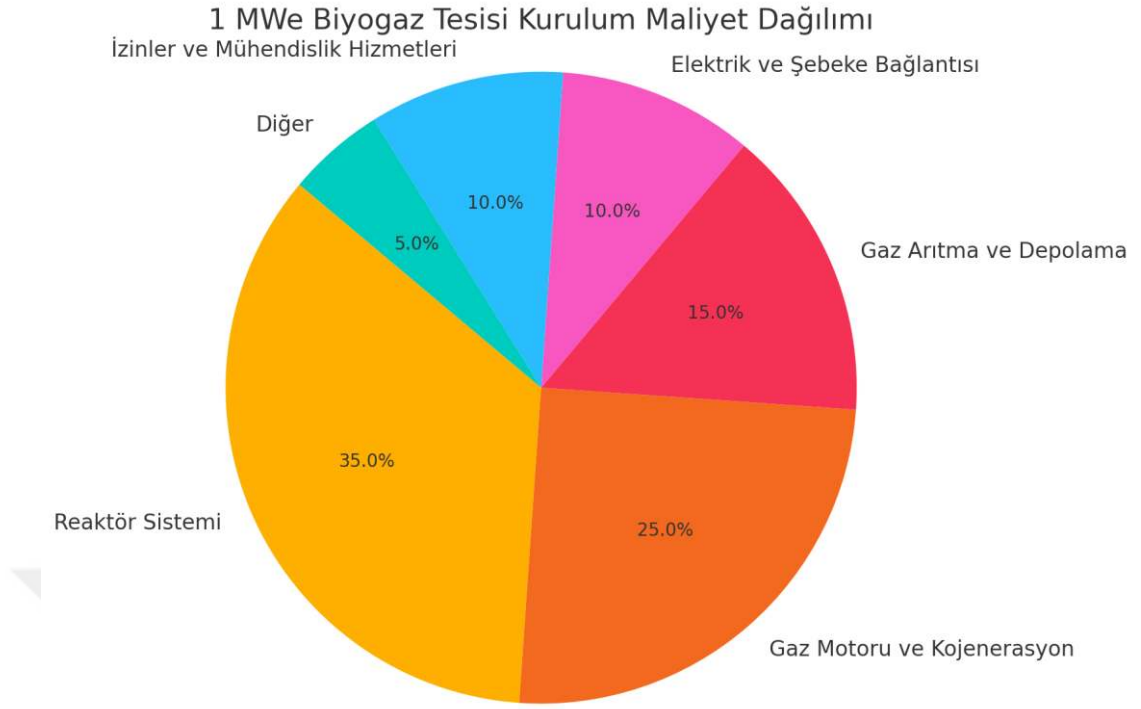
1.4 Biyogaz Tesis Kurulumu Yaklaşık Maliyetinin İncelenmesi (fizibilite raporu)

Biyogaz tesislerinin kurulumu, yatırımcılar açısından ilk etapta yüksek maliyetli görünmekle birlikte uzun vadede enerji üretimi, atık bertarafı ve çevresel faydalar açısından ekonomik açıdan geri dönüşü yüksek yatırımlar olarak değerlendirilmektedir. Türkiye’de 1 MWe kapasiteli bir biyogaz santralinin toplam yatırım maliyeti, arazi koşullarına ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak 3 ila 5 milyon Euro arasında değişmektedir (Yılmaz ve Demirer, 2013). Bu maliyetin içinde reaktör sistemleri, gaz motoru, arıtma ve kurutma sistemleri, şebekeye bağlantı altyapısı ve çevresel izin süreçleri yer almaktadır. Ek olarak, biyogaz üretiminden elde edilen enerji gelirinin yanı sıra, organik gübre üretimi ile de ekonomik fayda sağlanabilmektedir (IRENA, 2016). Diyarbakır gibi yüksek tarımsal ve hayvansal atık potansiyeline sahip bölgelerde, uygun teşvik ve finansman modelleriyle biyogaz tesislerinin fizibilitesi olumlu yönde sonuçlanmaktadır. Bu kapsamda yerel yönetimlerin ve özel sektörün iş birliğiyle yapılacak detaylı fizibilite çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bileşen bazlı bir maliyet grafiği oluşturulmak istendiğinde örneğin;

Tablo 1.2 Maliyet grafiği için grafik içeriği (örnek veriler)

Maliyet İçerikleri	Pay (%)
Reaktör Sistemi	35
Gaz Motoru ve Kojenerasyon	25
Gaz Arıtma ve Depolama	15
Elektrik ve Şebeke Bağlantısı	10
İzinle ve Mühendislik Hizmetleri	10
Diğer (Yedek parça, eğitim, vs.)	5



Şekil 1.4 1 MWe Biyogaz Tesisi Kurulum Maliyet Dağılımı



Şekil 1.5 Diyarbakir Biyogaz Tesisi (Askoç Enerji,2025)

Diyarbakir Tarıma Dayalı Besi Organize Sanayi Bölgesi (OSB) içerisinde yer alan ve 25.000 büyükbaş hayvan kapasitesine sahip olan biyogaz tesisi, toplam 4,724 MWe kurulu güce sahiptir. Tesis bünyesinde 8 adet çürütücü, 3 adet dengeleme havuzu ve 1 adet pushfloor sistemi bulunmakta olup, günlük 1.300 ton atık işleme

kapasitesine sahiptir. Bu kapsamda, biyogaz üretim süreci sonucunda günlük ortalama 120 ton seperatör gübresi üretimi gerçekleştirilmektedir.

Tesis, yıllık 18.250.000 m³ biyogaz üretimi kapasitesi ile 4 adet 1,181 MWe gücünde kojenerasyon ünitesi aracılığıyla yılda yaklaşık 41.172.000 kWh elektrik enerjisi üretmektedir. Bu yenilenebilir enerji üretimi sayesinde, yıllık yaklaşık 650.000 ton karbon kredisi elde edilerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmaktadır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Koca (2007), biyogazın genel tanımı, oluşum mekanizması, bileşenleri ve enerji potansiyelini temel alan çalışmada, özellikle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki biyogaz potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışma, biyogazın tarımsal, evsel ve endüstriyel atıklardan üretilebileceğini vurgularken, ülkemizde bu kaynakların büyük ölçüde atık olarak değerlendirilmeksizin çevreye zarar verecek şekilde bertaraf edildiğine dikkat çekmektedir. Yazar, biyogazın enerji üretiminin yanı sıra organik gübre elde edilmesi, çevresel kirliliğin önlenmesi ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi gibi çok yönlü katkılarına değinmiştir. Ayrıca Türkiye'deki tesislerin teknik ve ekonomik sorunlarını irdeleyerek, bu sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi için teknik eğitim, finansman desteği ve mevzuat düzenlemelerine ihtiyaç olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda Koca'nın çalışması, Diyarbakır gibi hem tarımsal üretimin hem de organik atık üretiminin yüksek olduğu bölgelerde, biyogaz uygulamaları için önemli bir literatür temelidir.

Sharholly vd. (2008), Hindistan'ın Delhi bölgesinde katı atık yönetimi uygulamalarını çevresel etkiler açısından analiz ettikleri çalışmalarında, günlük 7000 tonun üzerinde evsel atık üretildiğini ve bu atıkların yalnızca %19'unun geri dönüştürüldüğünü belirtmişlerdir. Araştırmada, mevcut atıkların yaklaşık %48'inin biyolojik olarak parçalanabilir olduğu ve bu potansiyelin biyogaz üretimi için değerlendirilemediği vurgulanmıştır. Biyogaz üretimi senaryosunda, yalnızca mutfak atıklarının ayrıştırılmasıyla yılda yaklaşık 50 milyon m³ biyogaz üretilebileceği hesaplanmıştır. Çalışma, entegre atık yönetimi sistemlerinin çevresel yükleri azaltmakta ve karbon salımını yıllık 250 bin ton CO₂ eşdeğeri kadar düşürmekte etkili olduğunu göstermektedir.

Demirbaş (2011), atık kaynaklarının enerji üretiminde değerlendirilmesini enerji dönüşüm süreçleri, çevresel faydalar ve ekonomik sürdürülebilirlik perspektifinde incelemiştir. Çalışma, biyokütle ve organik atıkların anaerobik fermentasyon yoluyla biyogaza dönüştürülmesi sürecinde kullanılan teknolojileri karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Ayrıca, biyogaz üretiminin maliyet etkinliği ve karbon emisyonu üzerindeki etkileri de detaylı şekilde analiz edilmiştir. Türkiye bağlamında, atık yönetimi politikalarının eksikliklerine dikkat çeken yazar, atıkların

enerji kaynağı olarak değerlendirilmesiyle hem ekonomik hem de çevresel açıdan kazanımlar elde edilebileceğini vurgulamıştır. Bu bağlamda çalışma, Diyarbakır gibi büyük şehirlerde bütünleşmiş atık yönetimi ve enerji üretiminin birlikte planlanmasının önemine dikkat çekmektedir.

Sayar (2012), yüksek lisans tezinde Sakarya ili özelinde bütünleşmiş atık yönetimi sistemini ve ambalaj atıklarının geri kazanım süreçlerini detaylı olarak analiz etmiştir. Çalışmada, atıkların kaynağında ayrıştırılması, toplama sistemleri, geri dönüşüm teknolojileri ve mevzuat çerçevesi değerlendirilmiş; belediyelerin uygulama kapasiteleri ile halkın bilinç düzeyi arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Sayar, bütünleşmiş atık yönetiminin çevresel sürdürülebilirlik için gerekliliğine vurgu yaparken, ekonomik anlamda geri dönüşüm faaliyetlerinin belediye bütçeleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu da belirtmiştir. Bu çalışma, evsel atıkların sistemli şekilde sınıflandırılması ve yönetilmesi açısından teorik ve pratik bir temel sunmakta; Diyarbakır'daki atık yönetimi sisteminin geliştirilmesi için örnek alınabilecek bir vaka analizi oluşturmaktadır.

Zhang ve ark. (2013), Çin'in kırsal bölgelerinde biyogaz sistemlerinin sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini inceledikleri çalışmalarında 1200 hanelik bir saha verisi kullanmışlardır. Sonuçlara göre biyogaz kullanan hanelerin %78'i yıllık yakıt masraflarında %40'a varan bir azalma yaşarken, aynı zamanda mutfak hijyeninde ve iç ortam hava kalitesinde belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. Ayrıca biyogaz kullanımının, geleneksel biyokütle tüketimini %60 oranında azalttığı ve bu sayede orman kaynaklarının korunmasına katkı sağladığı tespit edilmiştir. Çalışma, biyogaz sistemlerinin yalnızca enerji güvenliği değil, aynı zamanda kırsal refahın artırılması açısından da kritik öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Yılmaz ve Demirel (2013), Türkiye'deki biyogaz teknolojilerinin mevcut durumu ve gelecekteki potansiyelini inceleyen çalışmada, biyogaz sistemlerinin kurulumunda karşılaşılan teknik, ekonomik ve idari sorunları detaylı biçimde ele almıştır. Araştırma, mevcut biyogaz tesislerinin kapasiteleri, ham madde türleri (özellikle hayvansal atıklar) ve üretim verimliliği üzerinden Türkiye genelinde bir analiz sunmuştur. Yazarlar, özellikle kırsal alanda hayvancılıkla uğraşan üreticiler

için biyogaz sistemlerinin ekonomik avantajlarının arttığını, ancak teknik bilgi eksikliği, yatırım maliyeti ve yetersiz kamu desteği gibi faktörlerin yaygınlaşmayı sınırladığını belirtmiştir. Çalışma, atıkların bertaraf edilmesi ve enerjiye dönüştürülmesi konularında Türkiye’de uygulanabilir stratejilere dair öneriler sunmakta; bu bağlamda Diyarbakır gibi hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu şehirlerde biyogaz yatırımlarının fizibilitesini desteklemektedir.

Kavurmacı ve Demir (2015), Türkiye genelinde kurulan biyogaz tesislerinin teknik verimliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliğini analiz ettikleri çalışmalarında, 12 ilde bulunan toplam 18 tesisin performans verilerini incelemiştir. Araştırmada, biyogaz üretiminde kullanılan ana hammaddenin %72 oranında hayvansal atık olduğu ve ortalama biyogaz üretim veriminin 1 ton gübre başına 45 m³ olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca tesislerin %60’ında enerji geri kazanım sistemlerinin yeterince verimli çalışmadığı, bu durumun ise işletme maliyetlerini %18 oranında artırdığı belirlenmiştir. Yazarlar, yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve yerel yönetim desteğinin artırılması halinde tesis sayısının beş yıl içinde iki katına çıkabileceğini öngörmektedir. Bu çalışma, özellikle kırsal alanlardaki biyogaz yatırımlarının fizibilite değerlendirmelerine katkı sunmaktadır.

Atık Yönetim Yönetmeliği 2015, Tehlikeli atıklar, halk sağlığı veya çevre için önemli veya potansiyel tehditleri olan atıklardır. Atık Yönetimi Esasları Yönetmeliğine göre Patlayıcı, yüksek oranda tutuşabilenler, oksitleyici, zararlı, tahriş edici, kanserojen, korozif, enfeksiyon yapıcı vb. gibi özelliklerden herhangi birine veya daha fazlasına sahip olan atıklar tehlikeli atıklar statüsündedir.

Mohan ve ark. (2016), biyogaz üretiminde kullanılan farklı substratların verimliliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, hayvansal atık, mutfak atığı ve tarımsal artıkların biyogaz üretimi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, hayvan gübresiyle yapılan üretimlerde ortalama 0,34 m³/kg biyogaz elde edilirken; mutfak atıklarında bu değerin 0,52 m³/kg’a çıktığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, özellikle evsel organik atıkların biyogaz verimi açısından daha yüksek potansiyele sahip olduğunu ve kentsel bölgelerde bu atık türlerinin ayrıştırılmasıyla üretim kapasitesinin %30’a kadar artırılabilirliğini

vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada, mutfak atıklarının yüksek nem oranının reaktör verimliliğini olumlu etkilediği belirtilmiştir.

Awe ve ark. (2017), gelişmekte olan ülkelerde uygulanan biyogaz teknolojilerini teknik başarı ve yaygınlık düzeyi açısından analiz etmiş; Nijerya, Kenya, Bangladeş ve Nepal gibi ülkeleri karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Çalışmaya göre, Nepal’de 2016 yılına kadar kurulan 300.000’den fazla ev tipi biyogaz sisteminin %90’ı hâlâ aktif olarak çalışmakta ve yıllık 650 milyon m³ biyogaz üretmektedir. Buna karşılık, Nijerya’daki sistemlerin %40’ı teknik arızalar veya bakım eksikliği nedeniyle işlevsiz durumdadır. Araştırmacılar, biyogazın yaygınlaşmasında finansal destek modelleri, teknik eğitim ve yerel üretici ağlarının geliştirilmesinin belirleyici faktörler olduğunu belirtmektedir.

Bayram 2017, yapmış olduğu bu çalışmada katı atıkların sınıflandırılması, geriye kazanımlarında uygulanan temel işlemler ve geri kazanımın (recovery) tarım, çevre ve ekonomiye sağlayacağı yararlar ulusal ve global yaklaşımlarını belirlemeye çalışmıştır.

Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği 2017, Çevreye ve insan sağlığına zarar vermesi açısından değerlendirildiğinde en fazla zarar verme etkisine sahip olan diğer atık çeşidi ise ambalaj atıklarıdır. Nüfus ile doğru orantılı olarak artan tüketim miktarı doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Sınırlı olan doğal kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılması düşüncesine bakıldığında hızla artan ve büyük bir sorun teşkil eden ambalaj atıklarının çok geç olmadan değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. AB Ambalaj ve Ambalaj atıkları yönetmeliğine bakıldığında ambalaj; “İşlenmiş bir ürünün üreticiden tüketiciye ulaştırılana kadarki geçen süre zarfında ürünün korunmasını, saklanmasını içeren geri dönüşümü olan ya da geri dönüşümü mevcut olmayan maddeden yapılmış ürünlerdir.” tanımı yapılmaktadır.

Scarlat, Dallemand ve Fahl (2018), Avrupa’da biyogaz üretiminin mevcut durumu ve gelecekteki gelişim potansiyelini değerlendiren kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, Avrupa Birliği üyesi ülkelerde biyogaz

teknolojilerinin yaygınlık durumu, üretim kapasiteleri, uygulanan teşvik mekanizmaları ve yasal çerçeve analiz edilmiştir. Özellikle Almanya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerin öncü uygulamaları karşılaştırmalı olarak incelenmiş, biyogazın sadece enerji üretiminde değil, aynı zamanda atık yönetimi, tarımsal sürdürülebilirlik ve karbon salınımının azaltılması gibi çevresel faydaları üzerinde de durulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre biyogaz, Avrupa'da döngüsel ekonomi ilkeleriyle doğrudan ilişkili olarak planlanmakta ve çok aktörlü bir yönetim modeli ile yürütülmektedir. Bu kapsamlı analiz, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde biyogaz altyapısının oluşturulması ve yerel atıkların enerjiye dönüştürülmesine yönelik politikalara model teşkil etmektedir.

Barampouti ve ark. (2019), Avrupa Birliği ülkelerinde biyogaz üretimi için kullanılan atık kaynaklarını, üretim kapasitelerini ve karbon salımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Araştırmada 2017 yılı itibarıyla AB genelinde yıllık 18 milyar m³ biyogaz üretildiği ve bunun %57'sinin tarımsal atıklardan sağlandığı tespit edilmiştir. Çalışma, biyogaz üretiminin Avrupa'daki toplam sera gazı emisyonlarını yılda yaklaşık 60 milyon ton CO₂ eşdeğeri azalttığını göstermektedir. Özellikle Almanya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerin teşvik programları sayesinde üretim kapasitesinin son 10 yılda %80'in üzerinde arttığı vurgulanmaktadır. Barampouti ve ekibi, biyogazın sadece enerji üretimi değil, aynı zamanda karbon nötr ekonomi stratejilerinin de bir parçası olması gerektiğini savunmaktadır.

IEA (2020) tarafından yayımlanan "Outlook for Biogas and Biomethane" raporu, dünya genelinde biyogaz ve biyometan üretiminin güncel durumunu, teknolojik eğilimleri ve potansiyel büyüme senaryolarını ele almaktadır. Rapor, biyogazın sadece bir enerji kaynağı değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi, sera gazı azaltımı ve atık bertarafı gibi çok yönlü katkılar sağlayan bir sistem olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, gıda atıkları ve hayvansal dışkıları gibi organik atıkların enerjiye dönüştürülmesi, enerji arz güvenliğini destekleyici bir çözüm olarak sunulmaktadır. Rapor, politika yapıcılar ve yatırımcılar için rehber niteliğinde değerlendirmeler sunmakta; Türkiye gibi atık altyapısı gelişmekte olan ülkeler için stratejik yönlendirmelerde bulunmaktadır.

Fırat Kalkınma Ajansı (2021) tarafından hazırlanan bu ön fizibilite raporu, Elâzığ ili özelinde biyogaz tesisi kurulmasına yönelik yatırım, maliyet, kaynak ve potansiyel analizlerini kapsamaktadır. Raporda hayvansal ve tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplanmış; teknoloji seçimi, yatırım ve işletme maliyetleri, amortisman süresi gibi ekonomik parametreler ayrıntılı şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca, yerel koşullar göz önüne alınarak tesis kurulumu için uygun lokasyonlar belirlenmiş ve çeşitli senaryolarla ekonomik fizibilite test edilmiştir. Bu çalışma, Diyarbakır gibi benzer atık yapısına sahip illerde uygulanabilecek örnek bir model sunmakta ve özel sektör için yatırım rehberi niteliği taşımaktadır.

Yenigün ve ark 2021, yaptıkları bu araştırmada yenilenebilir enerji ürünlerinden biri olan biyogaz için Mardin ili hayvansal atık potansiyelini belirlemeye çalışmışlardır. Mardin il sınırları içerisindeki hayvanlardan temin edilebilecek gübrenin çürütülmesi ile yıllık 177823801 m³ biyogaz ve bu biyogazdan yaklaşık 404600 GJ enerji üretim potansiyeli olduğunu ve elektrik enerjisi eşdeğeri ise günde 229512 kWh olabileceğini belirlemişlerdir.

ÇŞİDB'nin (2022) yayımladığı “Biyogaz Kılavuzu”, Türkiye'de biyogaz sistemlerinin kurulumu, işletilmesi ve denetlenmesi konusunda temel bilgi sunmayı amaçlayan teknik ve idari bir rehberdir. Kılavuzda biyogaz üretim süreci, kullanılabilir atık türleri, tesis tasarımı, çevresel etkiler, mevzuat ve ruhsatlandırma prosedürleri kapsamlı şekilde açıklanmıştır. Ayrıca küçük ölçekli çiftlik tipi sistemlerden büyük ölçekli bütünleşmiş tesislere kadar çeşitli örnekler üzerinden teknolojik ve ekonomik analizler yapılmıştır. Diyarbakır gibi şehirlerde bu kılavuz, yerel yönetimler, yatırımcılar ve araştırmacılar için hem teknik bir başvuru kaynağı hem de politika geliştirme sürecinde yol gösterici bir belge niteliğindedir.

GMKA'nın (2022) Balıkesir ili için hazırladığı ön fizibilite raporu, bölgenin biyogaz potansiyelini teknik ve ekonomik açılarından değerlendirmektedir. Çalışma, organik atık kaynaklarının dağılımı, biyogaz üretim kapasitesi, yatırım maliyetleri

ve enerji satış gelirleri gibi başlıkları kapsamaktadır. Ayrıca mevzuat, izin süreçleri ve yatırımcıya yönelik teşvik mekanizmaları da detaylandırılmıştır. Rapor, kamu-özel iş birliği modeline dayalı tesis kurulumlarının, kırsal kalkınmayı ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyeceğini vurgulamaktadır. Diyarbakır için benzer bir ön fizibilite raporunun hazırlanması, potansiyelin sayısal verilere dayalı ortaya konması ve yatırımcıların yönlendirilmesi açısından kritik önemdedir.

Öztürk ve Özgüven 2022, yapmış oldukları bu çalışmada kentsel katı atık (KKA) bertaraf yöntemleri ve yenilenebilir enerji üretimi için Van ili KKA depolama alanında bulunan atıklardan enerjiye (WTE) dönüşüm teknolojilerinin durumunu yerinde incelemişlerdir. Ayrıca oluşan depo gazını etkileyen parametreleri ortaya koymak amacıyla katı atık karakterizasyonu da yapmışlardır. Atığın %34,34 'ünün organik, %42,41'inin ise sabit madde içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca atığın C/N oranının %31,67 olduğu ve biyogaz üretimi için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Depo gazı analiz sonuçlarına göre depo gazının yaklaşık %50-60'ı Metan (CH₄)' dan oluşmakta olduğunu bildirmişlerdir.

Efe 2022, Yapmış olduğu bu çalışmada kentsel katı atıkların biyolojik bozunma süreçleri, bu süreçlere etki eden parametreleri incelemiş ve 7 farklı bölgeye, 81 şehre sahip olan Türkiye'nin, güncel katı atık potansiyeli 2020 yılı verilerini kullanarak araştırmıştır. 78,2 milyon nüfusa sahip Türkiye'de, kişi başı günlük ortalama 1.13 kg atık üretildiğini ve Belediyeler tarafından bir yılda toplam 32,3 milyon ton yıllık kentsel katı atık toplandığını tespit etmiştir. Bölgesel dağılımları incelediğinde nüfus yoğunluğu en fazla olan Marmara Bölgesinin katı atık miktarının diğer bölgeler arasında en fazla olduğu ve kişi başı ortalama katı atık tüketim oranının da Türkiye ortalamasının üzerinde olduğunu tespit etmiştir.

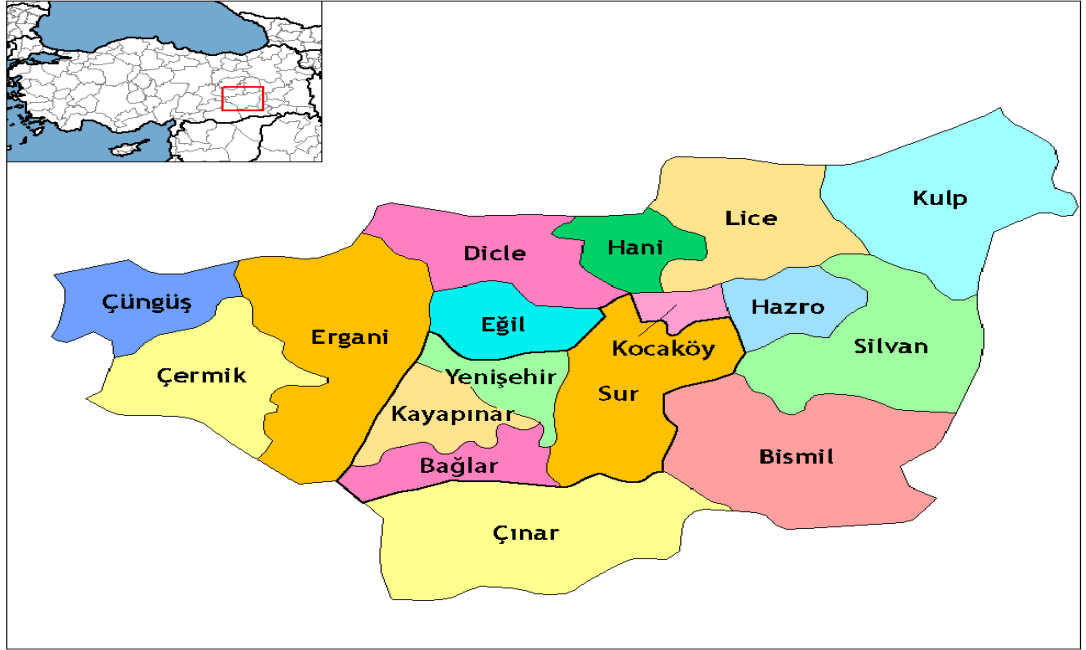
Tunç ve Yıldız (2024), Türkiye'de atık yönetimi uygulamaları kapsamında kullanılan mali teşvik ve düzenlemeleri değerlendirdikleri çalışmalarında, doğrudan mali tedbirlerin sürdürülebilir atık yönetimi üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışma, belediyelere sağlanan bütçeler, atık vergileri, geri kazanım destekleme oranları gibi finansal mekanizmaların etkinliğini değerlendirmiş; özellikle büyükşehir belediyelerinin bu politikaları nasıl uyguladığını karşılaştırmalı olarak

ele almıştır. Yazarlar, mali teşviklerin doğru planlandığında atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri kazanım oranlarının artırılması ve yenilenebilir enerji üretimi gibi hedeflere katkı sunduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın önerdiği finansal modeller, Diyarbakır’da bütünleşmiş atık yönetimi ve biyogaz sistemleri gibi yatırımların hayata geçirilmesi için önemli bir destek mekanizması sağlayabilir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan ve büyükşehir statüsüne sahip olan Diyarbakır ilinin dört merkez ilçesi olan Kayapınar, Bağlar, Yenişehir ve Sur ilçelerini kapsamaktadır. 2024 yılı itibarıyla bu dört ilçede toplam yaklaşık 1.190.000 kişi yaşamaktadır. Diyarbakır'da evsel katı atıkların yönetimi, ilgili ilçe belediyeleri ve Büyükşehir Belediyesi koordinasyonunda yürütülmekte olup, atıklar Diyarbakır Entegre Katı Atık Yönetim Tesisinde toplanmakta, ayrıştırılmakta ve nihai bertaraf işlemlerine tabi tutulmaktadır.



Şekil 3.1 Diyarbakır ilinin mevcut ilçelerini gösterir harita (Wikipedia,2025)

Çalışma kapsamında, söz konusu merkez ilçelerde oluşan evsel atık miktarları dikkate alınarak, bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli ve buna karşılık gelen enerji miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca, biyogaz üretimi sayesinde sağlanabilecek çevresel faydalar, özellikle karbon emisyonlarının azaltılması açısından analiz edilmiştir.

Araştırmada kullanılan sabit katsayılar aşağıdaki gibidir:

Tablo 3.1 Araştırmalarda kullanılan sabit katsayılar

Parametre	Değer
Günlük kişi başı atık üretimi	1,03 kg/kişi/gün
1 kg atıktan elde edilen biyogaz	0,4 m ³
1 m ³ biyogazdan elde edilen enerji	6 kWh
1 kWh enerji karşılığı CO ₂ salımı	0,5 kg CO ₂

Kaynak: TÜİK, 2024

Biyogaz üretimiyle ilgili hesaplamalar, her ilçe için ayrı ayrı yapılmıştır. Günlük toplam atık miktarları üzerinden yıllık biyogaz üretim potansiyeli belirlenmiş ve enerji karşılığı kilovat-saat (kWh) cinsinden ifade edilmiştir. Buna ek olarak, biyogaz kullanımının fosil yakıt yerine geçmesiyle sağlanacak karbon emisyonu tasarrufu da ton cinsinden hesaplanmıştır.

3.1 Merkez İlçe Nüfus ve Çıkan Atık Miktarları

Diyarbakır ilinin merkez ilçeleri olan Kayapınar, Bağlar, Yenişehir ve Sur, hem nüfus yoğunluğu hem de atık üretim potansiyeli açısından bölgesel ölçekte önemli bir atık kaynağı oluşturmaktadır. 2024 yılı TÜİK verilerine göre söz konusu ilçelerin nüfusları sırasıyla Kayapınar’da 440.886 kişi, Bağlar ’da 409.230 kişi, Yenişehir’de 219.759 kişi ve Sur ’da 120.604 kişi olarak kaydedilmiştir. Bu nüfus değerlerine dayalı olarak evsel atık üretim miktarları günlük bazda hesaplanmış ve buradan hareketle yıllık toplam atık miktarları belirlenmiştir.

Atık üretimi hesaplamalarında kullanılan sabit, Türkiye ortalamasına dayanan kişi başı günlük evsel atık üretim miktarı olup 1,03 kg/kişi/gün olarak alınmıştır. Buna göre her bir ilçede oluşan günlük toplam atık miktarları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Tablo 3.2 Diyarbakır merkez ilçeleri nüfus, günlük atık (kg) ve yıllık atık (ton) verileri

İlçe	Nüfus	Günlük Atık (kg)	Yıllık Atık (ton)
Kayapınar	440.886	454.1132,58	165.250,1
Bağlar	409.230	421.506,90	153.849,0
Yenişehir	219.759	226.351,77	82.614,4
Sur	120.604	124.222,12	45.337,1
Toplam	1.190.479	1.226.193,37	446.054,6

Kaynak: TÜİK, 2024

Tablo 3.3 Kayapınar ilçesi için evsel atıktan biyogaz üretimi hesabının yapılmasına bir örnek;

Günlük toplam atık miktarı (kg)	$440.886 \times 1.03 = 454.113 \text{ kg}$
Günlük biyogaz üretimi (m³)	$454.113 \times 0,4 = 181.645 \text{ m}^3$
Yıllık biyogaz üretimi (m³)	$181.645 \times 365 = 66.300,425 \text{ m}^3$
Yıllık enerji karşılığı (kWh)	$66.300,425 \times 6 = 397.802,55 \text{ kWh}$

Hesaplamalara göre dört merkez ilçede toplamda günlük yaklaşık 1.226 ton, yıllık ise 446 bin tonun üzerinde evsel katı atık oluşmaktadır. Bu atıkların %45'inin organik içerik taşıdığı varsayımı ile biyogaz üretimi açısından ciddi bir potansiyele sahip oldukları söylenebilir.

Bu veriler ışığında, sonraki bölümde bu atık miktarlarından üretililecek biyogaz hacmi ve karşılık gelen enerji miktarı hesaplanmakta, elde edilecek enerjiyle sağlanacak çevresel tasarruflar ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir.

3.2 Evsel Atıkların Kompozisyonları

Evsel katı atıklar; organik (biyobozunur) ve inorganik bileşenlerden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Biyogaz üretimi açısından özellikle organik fraksiyon içeren atıklar değerlidir çünkü bu atıklar anaerobik koşullarda parçalanarak metan (CH₄) gazına dönüştürülebilir. Evsel atıkların bileşimi; toplumun tüketim alışkanlıkları, gelir düzeyi, kentleşme oranı, mevsimsel değişimler ve geri dönüşüm uygulamalarına göre farklılık gösterebilir.



Şekil 3.2 Evsel atık kompozisyonları (Gebze gazetesi,2025)

Türkiye genelinde yapılan çalışmalarda, evsel katı atıkların ortalama bileşimi yaklaşık olarak aşağıdaki şekildedir (ÇŞİDB, 2022):

Tablo 3.4 Türkiye’de atık bileşimi ve miktara bağlı oranları (%)

Atık Bileşeni	Ortalama Oran (%)
Organik atıklar (gıda, sebze-meyve)	45-50
Kâğıt-karton	10-15
Plastik	10-12
Cam	4-6
Metal	2-3
Tekstil, kauçuk, diğer	10-15

Tablo 3.4’te Türkiye genel ortalamaları temel alınmıştır. Bu kapsamda, çalışmada evsel atıkların yaklaşık %45’inin organik fraksiyondan oluştuğu kabul edilmiştir.

Organik içerikli atıkların başlıca bileşenleri; yemek artıkları, sebze-meyve kalıntıları, çay-posası, ekmek kırıntıları ve evsel kaynaklı hayvansal atıklardır. Bu tür atıklar biyokimyasal olarak kolayca çözünebilen karbon içeriğine sahip olmaları sayesinde biyometanizasyon süreci için yüksek verimlilik sağlar. Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddenin türü ve kalitesi, elde edilecek gaz hacmi ve içeriği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Evsel atık kompozisyonlarının doğru şekilde belirlenmesi, biyogaz tesisi tasarımında reaktör hacminin, işlem süresinin ve gaz temizleme sistemlerinin doğru planlanması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ileride yapılacak yerel bazlı detaylı atık karakterizasyon çalışmaları, Diyarbakır gibi şehirlerde daha isabetli biyogaz projeleri geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

3.2.1 Evsel atıkların kalorifik değerleri

Katı atıkların enerji potansiyeli, içerdiği yanabilir maddelerin ısı değerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu değer, kalorifik değer (ısı değer) olarak adlandırılmakta ve genellikle kcal/kg ya da MJ/kg cinsinden ifade edilmektedir. Enerji geri kazanımı sistemlerinin etkin bir şekilde planlanabilmesi için, atıkların

hem brüt kalorifik değeri (üst ısı değeri) hem de net kalorifik değeri (alt ısı değeri) bilinmelidir.

Üst ısı değeri (H_{üst}), yakma sonrası açığa çıkan toplam enerjiyi içerirken, alt ısı değeri (H_{alt}), su buharlaşması sonucu kaybedilen enerji miktarını düşülmüş haliyle net enerji kazanımını gösterir. Nem içeriği yüksek olan atıklarda alt ısı değeri, sistem performansı açısından daha gerçekçi bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Evsel atıklarda kalorifik değeri, atığın içerdiği organik madde, kâğıt, plastik ve diğer yanıcı materyal oranlarıyla doğrudan ilişkilidir. Organik madde oranı arttıkça biyolojik ayrılabilirlik yükselmekte; bu durum özellikle biyogaz üretimi için enerji potansiyelini artırmaktadır.

Bu bağlamda Diyarbakır ili özelinde yapılan bu çalışmada, biyogaz üretimi odaklı hesaplamalarda, evsel atıkların ortalama alt ısı değeri temel alınarak enerji dönüşüm potansiyeli analiz edilmiştir. İlgili katsayılar sonraki başlık altında yapılan biyogaz potansiyeli hesaplamalarında kullanılmıştır.

Evsel atıklarda net kalorifik değeri, Denklem (3.1)'de verilen formüle göre hesaplanmıştır:

$$H_{alt} = (H_{üst} \times (100-W)/100) - (5.85 \times W) \quad (3.1)$$

Burada:

- H_{üst}: Brüt kalorifik değeri (kcal/kg)
- W: Atığın nem oranı (%)
- H_{alt}: Net kalorifik değeri (kcal/kg)

Tablo 3.5 Avrupa’da Oluşan Atıkların Kalorifik Değerleri (Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration,2006)

Atık Türü	Net kalorifik değer (kcal/kg)	
	Aralık	Ortalama
Karışık Evsel Atık	1500-2500	2150
Ambalaj atığı	4050-5950	4760
Tehlikeli Atık	120-4790	2320

Tablo 3.6 Türkiye’de kentsel katı atıkların ortalama kalorifik değeri, nem oranı ve organik içerikleri. (Vision 2023,Melikoglu,2013)

Parametre	Aralık
Kalorifik Değer (MJ/kg)	2-6
Nem oranı (%)	%65-%80
Organik içeriği (Kuru madde %)	%50-%95

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Diyarbakır Nüfus Tahmin Analizleri

Katı atık yönetimi ve biyogaz üretimi potansiyelinin doğru şekilde değerlendirilebilmesi, mevcut nüfus verilerinin yanı sıra gelecekteki demografik değişimlerin de dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Zira evsel atık miktarları doğrudan doğruya nüfus büyüklüğüyle ilişkili olduğundan, nüfus artış oranları, atık oluşum projeksiyonlarının ve buna bağlı olarak biyogaz üretim kapasitesinin tahmin edilmesinde temel belirleyicilerdendir.

Bu doğrultuda, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan geçmiş dönem nüfus verileri ve nüfus projeksiyonları incelenerek, Diyarbakır ilinin dört merkez ilçesi olan Kayapınar, Bağlar, Yenişehir ve Sur için orta vadeli (2030 yılına kadar) nüfus tahminleri yapılmıştır. Yapılan analizde, son beş yıllık nüfus artış hızları temel alınarak doğrusal artış modeli kullanılmış; elde edilen tahmin değerleri, katı atık miktarlarının ve buna bağlı biyogaz üretim kapasitesinin gelecekteki potansiyelini ortaya koymaya yönelik bir temel oluşturmuştur.

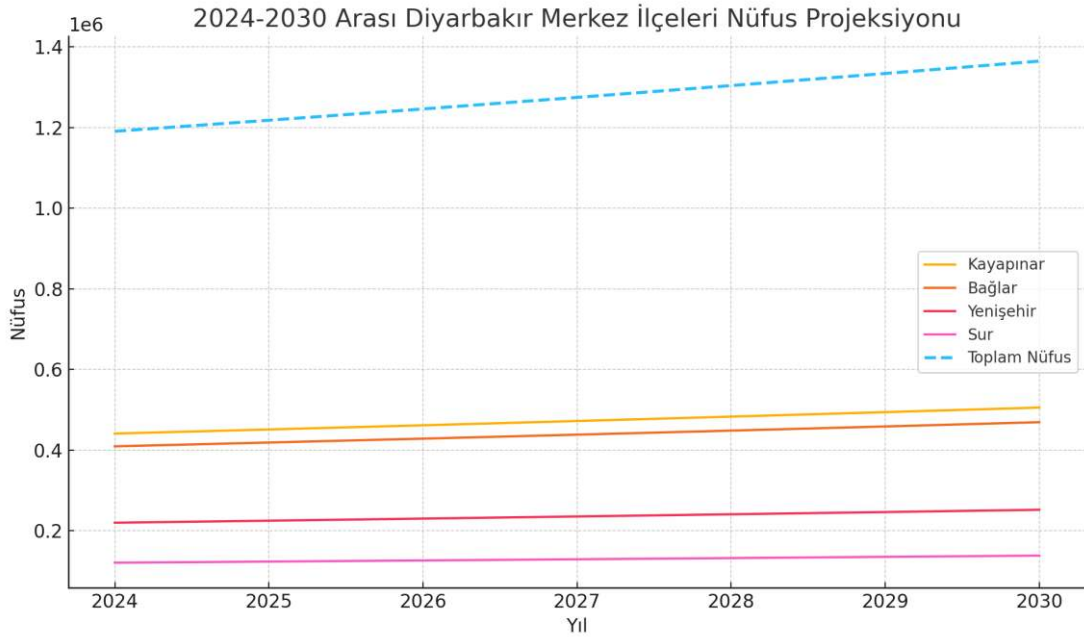
Örneğin, 2024 yılı itibarıyla 1.190.000 civarında olan toplam merkez ilçe nüfusunun, mevcut yıllık ortalama %2,3'lük artış oranı devam ettiği takdirde 2030 yılına kadar yaklaşık 1.350.000 kişiye ulaşması beklenmektedir. Bu artış, mevcut atık üretim katsayısı olan kişi başı günlük 1,03 kg atık üretim oranı ile değerlendirildiğinde, günlük toplam atık miktarının yaklaşık 1.390 ton düzeyine ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum, yıllık bazda yaklaşık 507.000 ton evsel atık üretimi anlamına gelmekte ve bu atıkların %45'inin organik içerikli olduğu varsayıldığında, yıllık 228.000 tonluk biyolojik olarak dönüştürülebilir atık potansiyelini işaret etmektedir.

Bu tür projeksiyonlar, atık yönetim altyapısının ve biyogaz üretim tesislerinin uzun vadeli planlamalarında kritik rol oynamaktadır. Artan nüfusa paralel olarak oluşacak atık miktarına karşılık gelecek şekilde kapasite artırımı, teknolojik iyileştirme ve kaynak tahsisi yapılması gerekliliği, bu analizlerin önemini daha da artırmaktadır. Ayrıca, kentleşme hızındaki değişiklikler, göç hareketleri ve

sosyoekonomik dönüşümler de dikkate alınarak ileriye dönük esnek planlama yaklaşımlarının benimsenmesi önerilmektedir.

Tablo 4.1 2024-2030 yılları arasında Diyarbakır'ın merkez ilçeleri öngörülen nüfus projeksiyonu

Yıl	Kayapınar	Bağlar	Yenişehir	Sur	Toplam Nüfus
2024	440886	409230	219759	120604	1190479
2025	451026	418642	224813	123377	1217858
2026	461399	428271	229984	126215	1245869
2027	472012	438121	235273	129118	1274524
2028	482868	448198	240685	132088	1303839
2029	493974	458506	246220	135126	1333826
2030	505335	469052	251883	138234	1364504



Şekil 4.1 2025-2030 arası Diyarbakır merkez ilçeleri nüfus projeksiyonu

4.2 Diyarbakır Kentsel Katı Atık Üretim Tahminleri

Kentsel katı atık üretimi, şehirleşmenin hız kazanması, nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte çevresel sürdürülebilirlik açısından giderek daha kritik bir mesele haline gelmektedir. Diyarbakır ili özelinde değerlendirildiğinde, son yıllarda hem nüfus yoğunluğundaki artış hem de

ekonomik ve sosyal dönüşüm süreci, katı atık üretim miktarlarının sistematik biçimde incelenmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda yapılan projeksiyonlar, kentin gelecekteki atık yönetimi altyapılarına duyacağı ihtiyacın daha net bir şekilde öngörülmesini sağlamaktadır.

2023 yılı itibarıyla Diyarbakır ilinde günlük kişi başı katı atık üretiminin ortalama 1,09 kg olduğu tespit edilmiştir. Bu değerden hareketle, ilin toplam yıllık atık üretiminin yaklaşık 293.488 ton olduğu hesaplanmaktadır. Nüfus artış hızının sabit kalması durumunda, 2040 yılına kadar bu miktarın 400.000 ton/yıl seviyelerine ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Bu öngörü, atık bertaraf altyapısında kapasite artırımı, yeni geri dönüşüm tesislerinin planlanması ve kaynakta ayrıştırma gibi önleyici çevre stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yapılan projeksiyon analizlerinde nüfus artış oranı %1,5 olarak varsayılmış; kişi başı atık üretim miktarının ise sosyal refah düzeyiyle paralel olarak yıllık %0,5 oranında artacağı öngörülmüştür. Bu doğrultuda, 2030 yılı için Diyarbakır ilinde toplam atık üretiminin yaklaşık 340.000 ton/yıl, 2040 yılı için ise 400.000 ton/yıl düzeyine ulaşması beklenmektedir. Söz konusu artış, yalnızca atık miktarındaki nicel büyümeyi değil; aynı zamanda atık bileşiminin değişimini de beraberinde getirmektedir. Özellikle tek kullanımlık ambalajlar, plastik ve elektronik atıklar gibi inorganik içerikli atıkların oranının artması, bütünleşmiş atık yönetimi yaklaşımlarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Bu tahminler doğrultusunda, kentsel katı atık üretiminin yönetimi sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve teknik açıdan da bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Özellikle biyogaz gibi enerji geri kazanım yöntemleri, artan atık hacmi karşısında hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de yerel ekonomiye katkı sağlamaktadır. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi için atıkların türüne ve kompozisyonuna ilişkin düzenli veri toplanması, istatistiksel modellemelerin yapılması ve politika yapıcılar tarafından bu veriler ışığında stratejik planların geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, Diyarbakır ilinde kentsel katı atık üretiminin önümüzdeki yıllarda artmaya devam edeceği ve bu artışın etkili bir şekilde yönetilebilmesi için sistematik planlamaya dayalı bir atık yönetim politikası geliştirilmesinin zorunlu olduğu görülmektedir. Bu süreçte hem teknik altyapı yatırımları hem de toplumsal bilinçlendirme çalışmaları eş zamanlı olarak yürütülmelidir.

Tablo 4.2 Diyarbakır ili kentsel katı atık üretim tahminleri (2025-2040) (Nüfus artış oranı %1,5; kişi başı atık artışı %0,5 olarak alınmıştır.) (ÇŞİDB,2022)

Yıl	Tahmini Nüfus	Kişi Başına Günlük Atık (kg/kişi/gün)	Yıllık Toplam Atık (ton)
2025	1.230.000	1,09	489.440
2030	1.325.000	1,12	541.880
2035	1.430.000	1,15	599.048
2040	1.545.000	1,18	665.277

4.3 Diyarbakır için Kentsel Katı Atık Yönetim Senaryoları

Diyarbakır ili, hızlı nüfus artışı, kentleşme ve değişen tüketim alışkanlıkları nedeniyle artan evsel katı atık üretimi ile karşı karşıyadır. Bu durum, mevcut atık yönetimi altyapısının kapasitesini zorlamakta ve il genelinde çevresel riskleri artırmaktadır. 2019-2040 dönemine ilişkin atık üretimi projeksiyonları doğrultusunda, Diyarbakır için farklı kentsel katı atık yönetim senaryolarının değerlendirilmesi; sürdürülebilirlik, ekonomik verimlilik ve çevresel koruma açısından stratejik bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu çalışmada üç temel senaryo üzerinden değerlendirme yapılmıştır:

- (1) Mevcut Durumun Sürdürülmesi,
- (2) Geri Dönüşüm Odaklı Yönetim ve
- (3) Entegre Atık Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı senaryoları.

Mevcut Durumun Sürdürülmesi Senaryosu: Bu senaryo, Diyarbakır'daki atık toplama, taşıma ve düzenli depolama uygulamalarının aynı şekilde devam ettirilmesini öngörmektedir. 2023 yılı itibarıyla Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi'nin resmi kaynaklarında, günlük yaklaşık 1.400 ton katı atığın

toplandığı ifade edilmektedir. Bu miktar üzerinden değerlendirme yapıldığında, teorik olarak günlük yaklaşık 350–400 ton civarında geri kazanılabilir atık elde edilebileceği öngörülmektedir. Ancak fiili geri dönüşüm oranının %15 civarında seyrettiği, yani günde yaklaşık 200 ton atığın geri dönüşüm sistemine girebildiği tahmin edilmektedir (Diyarbakır BB, 2023).

Geri dönüşüm performansındaki bu düşük oran, büyük ölçüde kaynağında ayrıştırma sistemlerinin yetersizliği, halkın bilinç düzeyinin sınırlı olması ve mevcut geri kazanım tesislerinin kapasite kısıtlarıyla ilişkilidir. Nitekim, Türkiye genelinde geri dönüşüm oranı %25–30 seviyelerine yaklaşırken, Diyarbakır gibi büyükşehirlerde bu oranın %15–20 düzeyinde kalması dikkat çekicidir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

Atıkların büyük çoğunluğu kaynağında ayrıştırılmadan toplanmakta, yalnızca küçük bir kısmı mekanik olarak ayrıştırılmakta ve geri kalan atıklar depolama alanlarına yönlendirilmektedir. Bu yaklaşım, artan atık miktarı karşısında depolama alanlarının hızla dolmasına, çevresel kirliliğin artmasına ve sera gazı salımlarının yükselmesine neden olacaktır. Ayrıca enerji geri kazanımı sağlanmadığı için ekonomik getirilerden faydalanılamayacaktır. Bu bağlamda mevcut durumun sürdürülmesi hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından riskli bir senaryodur.

Geri Dönüşüm Odaklı Yönetim Senaryosu: Bu senaryoda, atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve toplumsal farkındalığın yükseltilmesi hedeflenmektedir. Özellikle kâğıt, plastik, cam ve metal gibi geri dönüştürülebilir atıkların toplanması ve geri kazanım tesislerine yönlendirilmesiyle, düzenli depolama alanlarına giden atık miktarında azalma sağlanabilecektir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2040 yılı için öngördüğü %35-40 geri dönüşüm hedeflerine ulaşılması halinde, Diyarbakır'da yıllık yaklaşık 300 bin ton atığın yeniden ekonomiye kazandırılması mümkün olacaktır. Bu senaryo, çevresel yükleri azaltmakla birlikte, ekonomiye hammadde sağlama ve istihdam yaratma açısından da olumlu sonuçlar doğurabilir.

Entegre Atık Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı Senaryosu: Bu senaryo, atık yönetiminde bütüncül bir yaklaşımı benimsemekte hem geri dönüşüm hem de organik atıkların enerjiye dönüştürülmesi süreçlerini içermektedir. Özellikle organik içerikli atıkların biyogaz üretimi yoluyla değerlendirilmesi, hem düzenli depolama sahalarının yükünü azaltmakta hem de enerji ihtiyacına katkı sağlamaktadır. Diyarbakır için yapılan projeksiyonlara göre, yılda yaklaşık 340 bin ton organik atık biyogaz üretimine uygun olup, bu atıklardan yılda yaklaşık 138 milyon m³ biyogaz ve 830 milyon kWh elektrik enerjisi üretilebilecektir. Bu enerji üretimi, yıllık yaklaşık 415 bin ton CO₂ eşdeğeri sera gazı salımını önleme potansiyeline sahiptir. Ayrıca elde edilen digestat gübre olarak değerlendirilebilmekte, böylece tarımsal döngüye de katkı sağlanmaktadır. Bu senaryo, uzun vadeli çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, Diyarbakır ilinde kentsel katı atık yönetiminin etkinliği, seçilecek stratejilere ve uygulama kabiliyetine doğrudan bağlıdır. Mevcut durumun korunması, artan çevresel ve ekonomik baskılar nedeniyle sürdürülebilir değildir. Geri dönüşüm odaklı uygulamalar ise atık hacmini azaltma ve kaynak verimliliğini artırma açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Ancak en yüksek faydanın, entegre yönetim modelleri ve biyogaz gibi enerji geri kazanım teknolojilerinin yaygınlaştırılmasıyla elde edileceği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, yerel yönetimlerin yatırım, planlama ve halkla ilişkiler boyutunda eşgüdümlü politikalar geliştirmesi kritik önem taşımaktadır.

Senaryo Bazlı Özgün Tablo ve Değerlendirmeler;

Tablo 4.3 Senaryo bazlı projeksiyon tablosu

Yıl	Geri Dönüşüm Senaryosu Atık (ton)	Entegre Yönetimle Enerji Üretimi (kWh)	CO ₂ Azalımı (ton)
2025	500,000	320,000,000	160,000
2030	580,000	500,000,000	250,000
2035	650,000	680,000,000	340,000
2040	720,000	830,000,000	415,000

Tablo 4.4 Senaryolar için SWOT analizi

Senaryo	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
Mevcut Durum	Düşük ilk yatırım	Yüksek çevresel risk	Kısa vadeli çözüm	Yasal yaptırımlar
Geri Dönüşüm	Kamu farkındalığı	Toplama altyapısı eksik	Yeşil istihdam	Pazar dalgalanmaları
Entegre Yönetim	Enerji ve CO ₂ kazanımı	Yatırım maliyeti yüksek	Karbon kredisi fırsatı	Teknolojik sürdürülebilirlik

Politika Önerileri (Senaryo Bazlı)

Mevcut Durum:

- Kısa vadeli yönetmelik güncellemeleri
- Depolama alanlarının izlenmesi

Geri Dönüşüm:

- Kaynağında ayrıştırma zorunluluğu
- Belediyelere teşvik sistemi

Entegre Sistem:

- Biyogaz ve enerji yatırımlarına özel finansman
- Karbon ticareti entegrasyonu

4.4 Kentsel Katı Atık Üretiminin 2019-2040 Yılları Arasındaki Tahmini

Kentsel katı atık yönetimi, sürdürülebilir kentleşme stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olarak hem çevresel hem de ekonomik boyutlarıyla kapsamlı analizler gerektirmektedir. Artan nüfus, kentleşme hızı, tüketim alışkanlıklarındaki değişim ve teknolojik gelişmeler, kentsel katı atık üretim miktarlarında belirgin artışlara neden olmaktadır. Bu çerçevede, 2019-2040 yılları arasında Türkiye'de kentsel katı atık üretiminin nasıl bir seyir izleyeceği, çevresel planlama ve altyapı yatırımlarının yönlendirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

2019 yılında Türkiye genelinde kişi başına düşen günlük katı atık miktarı yaklaşık 1,17 kg olarak belirlenmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, bu değer 2010'lu yıllardan itibaren istikrarlı bir artış eğilimi göstermekte olup, kentleşme oranındaki yükselişe paralel olarak önümüzdeki yıllarda da bu trendin

devam etmesi beklenmektedir. Yapılan projeksiyon çalışmaları, 2040 yılına kadar Türkiye’de toplam kentsel nüfusun %20 oranında artacağına işaret etmektedir. Bu artışın doğal bir sonucu olarak, toplam katı atık üretiminde de yaklaşık %30-35’lik bir yükseliş öngörülmektedir.

Buna göre, 2019 yılında yaklaşık 32 milyon ton olan yıllık kentsel katı atık üretiminin, 2040 yılına gelindiğinde 43-45 milyon ton civarına ulaşması muhtemeldir. Bu tahminler, atık üretiminde hem nüfus artışının hem de kişi başı tüketim düzeyinin etkili olduğunu göstermektedir. Nitekim gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ile hane halkı tüketiminde de artış gözlenmekte; bu durum, özellikle ambalaj atıkları ve elektronik atıklar gibi katı atıkların miktarını daha da artırmaktadır.

Atık üretimi tahminlerinin bir diğer önemli parametresi ise atık ayrıştırma ve geri dönüşüm oranlarının gelişimidir. Türkiye’de bu oran 2020 itibarıyla yaklaşık %13 seviyesindedir. Ancak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın “Sıfır Atık” politikası doğrultusunda bu oranın 2040 yılına kadar %35-40 seviyelerine çıkarılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, entegre atık yönetim tesislerinin sayısında ve kapasitesinde artış beklenmektedir. Bu gelişme, toplam atık üretimi artsa dahi, düzenli depolama sahalarına giden atık miktarında kısmi bir azalma sağlayabilecektir.

Ayrıca, teknolojik gelişmelerin de atık üretim projeksiyonlarına etkisi bulunmaktadır. Akıllı şehir uygulamaları kapsamında geliştirilen sensörlü atık toplama sistemleri, atık yönetiminde daha etkin ve verimli çözümler sunarak atık birikim oranlarını düşürmeye katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, toplumsal farkındalık kampanyaları, çevre eğitimi programları ve yerel yönetimlerin katı atık politikaları, bireysel atık üretim davranışlarını olumlu yönde etkileyebilir.

Sonuç olarak, 2019-2040 dönemine ilişkin kentsel katı atık üretimi tahminleri, yalnızca niceliksel değil, niteliksel değişimlerin de dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Artan nüfus ve kentleşmeye paralel olarak katı atık üretiminde artış kaçınılmaz görünse de bu artışın etkilerinin azaltılması için geri dönüşüm

kapasitesinin artırılması, atık oluşumunun kaynağında azaltılması ve bütünleşmiş atık yönetim sistemlerinin yaygınlaştırılması gereklidir. Sürdürülebilir bir çevre politikası açısından bu tahminler, karar alıcılara uzun vadeli stratejilerin oluşturulmasında rehberlik etme potansiyeline sahiptir.

Diyarbakır ili, Türkiye'nin en hızlı kentleşen şehirlerinden biri olup, son yıllarda artan nüfusu, değişen tüketim alışkanlıkları ve gelişen kentsel yaşam biçimi ile önemli miktarda kentsel katı atık üretmektedir. 2019 yılı itibarıyla yaklaşık 1,7 milyonluk nüfusa sahip olan Diyarbakır'da, TÜİK (2020) verilerine göre günlük kişi başı evsel atık üretimi ortalama 1,03 kg olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda il genelinde günlük yaklaşık 1.750 ton evsel katı atık oluştuğu tespit edilmiştir. Bu miktar yıllık bazda yaklaşık 638 bin tonluk bir atık hacmine tekabül etmektedir. Yapılan projeksiyonlara göre, Diyarbakır'ın nüfusunun 2040 yılına kadar %25 oranında artarak 2,1 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Bu artış, atık üretim miktarının da benzer oranda yükseleceğini göstermektedir.

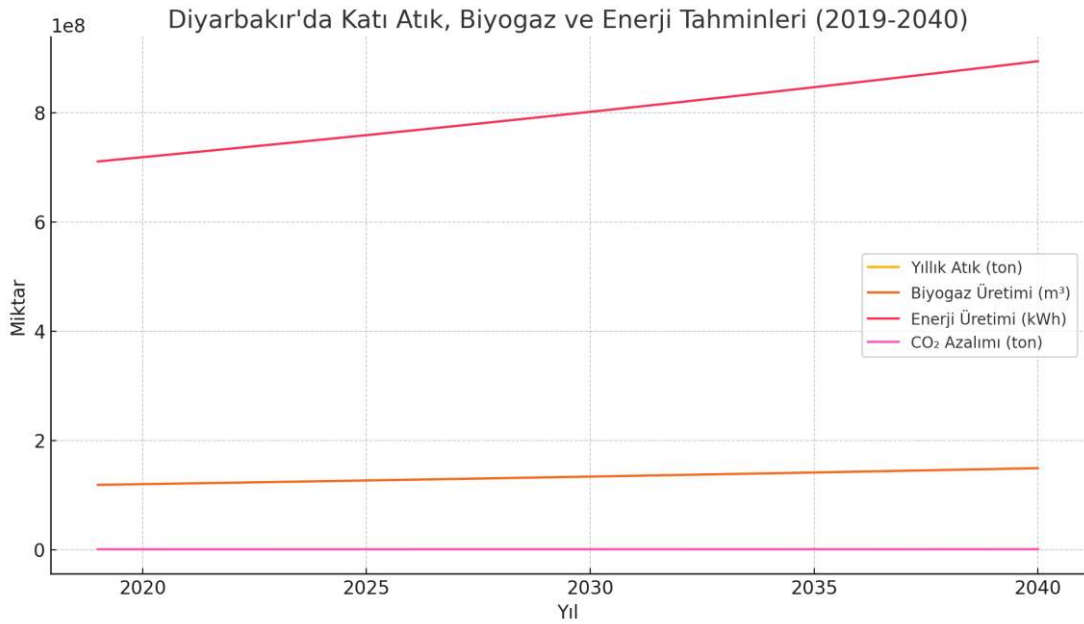
Yukarıda belirtilen demografik gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda, Diyarbakır ilinde 2040 yılı itibarıyla günlük kentsel katı atık üretiminin 2.100 ton, yıllık atık miktarının ise yaklaşık 766 bin tona ulaşacağı öngörülmektedir. Bu değerler, ildeki atık yönetim altyapısının geliştirilmemesi durumunda hem çevresel hem de halk sağlığı açısından ciddi riskler doğurabileceğine işaret etmektedir. Özellikle organik içerikli atıkların toplam atık içindeki payının yüksek olması (yaklaşık %45), bu atıkların uygun şekilde yönetilmemesi halinde metan salınımı başta olmak üzere sera gazı emisyonlarının artmasına yol açacaktır.

Atık miktarındaki bu artış, yalnızca niceliksel bir sorun değil; aynı zamanda niteliksel olarak da değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir meseledir. 2024 itibarıyla Diyarbakır'da atıkların büyük bir bölümü kaynağında ayrıştırılmadan toplanmakta ve bütünleşmiş atık yönetim tesislerine yönlendirilmektedir. Ancak bu tesislerin mevcut kapasitesi, 2040'a kadar beklenen atık artışını karşılamaktan uzak kalabilir. Bu nedenle, Diyarbakır özelinde ileriye dönük kentsel atık projeksiyonları, sadece toplam hacim üzerinden değil; aynı zamanda geri dönüşüm

potansiyeli, biyogaz üretim kapasitesi ve çevresel etkiler açısından da analiz edilmelidir.

Öte yandan, Diyarbakır'ın sahip olduğu biyolojik olarak parçalanabilir atık potansiyeli, enerji geri kazanımı açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre, 2024 yılı itibarıyla yıllık atığın %45'inin organik içerikli olması dikkate alındığında, yaklaşık 130 milyon m³ biyogaz üretimi potansiyeli mevcuttur. 2040 yılında bu değerin 150 milyon m³'ün üzerine çıkması beklenmektedir. Bu miktar, yaklaşık 900 milyon kWh elektrik enerjisi üretimi anlamına gelmekte ve fosil yakıtlardan kaynaklı yaklaşık 450 bin ton CO₂ salımının önüne geçilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak, 2019-2040 dönemine ilişkin Diyarbakır ili için yapılan kentsel katı atık üretimi tahminleri, il genelinde sürdürülebilir bir atık yönetimi planlamasının kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır. Nüfus artışı ve tüketim dinamiklerinin doğrudan etkilediği bu üretim eğilimi, yalnızca bertaraf odaklı değil; aynı zamanda enerji geri kazanımı, geri dönüşüm ve kaynakta ayrıştırma temelli entegre bir yaklaşımla yönetilmelidir. Bu kapsamda, yerel yönetimlerin teknik kapasitesinin artırılması, toplumsal farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması ve çevre dostu teknolojilere dayalı yeni atık işleme tesislerinin kurulması büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4.2 Diyarbakır'da katı atık, biyogaz ve enerji tahminleri (2019-2040)

Tablo 4.5 Diyarbakır yıllık bazda atık, biyogaz, enerji ve CO₂ tahminleri

Yıl	Nüfus	Yıllık Atık (ton)	Organik Atık (ton)	Biyogaz Üretimi (m ³)	Enerji Üretimi (kWh)	CO ₂ Azalımı (ton)
2019	1,750,000.00	657,912.50	296,060.62	118,424,250.00	710,545,500.00	355,272.75
2020	1,769,250.00	665,149.54	299,317.29	119,726,916.75	718,361,500.50	359,180.75
2021	1,788,711.75	672,466.18	302,609.78	121,043,912.83	726,263,477.01	363,131.74
2022	1,808,387.58	679,863.31	305,938.49	122,375,395.88	734,252,375.25	367,126.19
2023	1,828,279.84	687,341.81	309,303.81	123,721,525.23	742,329,151.38	371,164.58
2024	1,848,390.92	694,902.57	312,706.16	125,082,462.01	750,494,772.05	375,247.39
2025	1,868,723.22	702,546.49	316,145.92	126,458,369.09	758,750,214.54	379,375.11
2026	1,889,279.18	710,274.51	319,623.53	127,849,411.15	767,096,466.90	383,548.23
2027	1,910,061.25	718,087.53	323,139.39	129,255,754.67	775,534,528.03	387,767.26
2028	1,931,071.92	725,986.49	326,693.92	130,677,567.97	784,065,407.84	392,032.70
2029	1,952,313.71	733,972.34	330,287.55	132,115,021.22	792,690,127.33	396,345.06
2030	1,973,789	742,046	333,920	133,568	801,409	400,704
2031	1,995,500.84	750,208.54	337,593.84	135,037,537.61	810,225,225.64	405,112.61
2032	2,017,451	758,460	341,307	136,522	819,137	409,568
2033	2,039,643.32	766,803.91	345,061.76	138,024,702.98	828,148,217.85	414,074.11
2034	2,062,079.39	775,238.75	348,857.44	139,542,974.71	837,257,848.25	418,628.92
2035	2,084,762.27	783,766.37	352,694.87	141,077,947.43	846,467,684.58	423,233.84
2036	2,107,694.65	792,387.80	356,574.51	142,629,804.85	855,778,829.11	427,889.41
2037	2,130,879.29	801,104.07	360,496.83	144,198,732.70	865,192,396.23	432,596.20
2038	2,154,318.97	809,916.22	364,462.30	145,784,918.76	874,709,512.59	437,354.76
2039	2,178,016.47	818,825.29	368,471.38	147,388,552.87	884,331,317.23	442,165.66
2040	2,201,974.66	827,832.37	372,524.57	149,009,826.95	894,058,961.72	447,029.48

Yukarıda, 2019-2040 yılları arasında Diyarbakır ilinde tahmini nüfus artışına bağlı olarak:

- Yıllık toplam atık üretimi (ton),
- Organik atık miktarı (ton),
- Üretilebilecek biyogaz hacmi (m³),
- Elde edilebilecek elektrik enerjisi (kWh),

4.5 Enerji ve Çevresel Kazançlar

Kentsel katı atık yönetimi sadece bertaraf ve depolama süreçlerini değil, aynı zamanda enerji geri kazanımı ve çevresel sürdürülebilirliği de kapsayan çok boyutlu bir alan olarak değerlendirilmektedir. Diyarbakır ili özelinde yapılan projeksiyon çalışması, 2019-2040 yılları arasında organik atıkların değerlendirilmesiyle sağlanabilecek enerji üretimi ve karbon salımındaki azalma gibi önemli kazanımları ortaya koymaktadır.

TÜİK verileri ve sabit katsayılar kullanılarak yapılan hesaplamalara göre, 2019 yılında Diyarbakır'da yıllık yaklaşık 658 bin ton evsel atık oluşmuş ve bu atığın yaklaşık %45'inin organik içerikli olduğu varsayılmıştır. Bu durumda, biyogaz üretimine uygun organik atık miktarı yaklaşık 296 bin ton olarak hesaplanmıştır. Organik atıklardan biyogaz üretiminde 1 kg atıktan ortalama 0,4 m³ biyogaz elde edildiği kabul edilirse, 2019 yılı için potansiyel biyogaz hacmi 118 milyon m³ düzeyindedir. Bu biyogaz miktarı, 6 kWh/m³ dönüşüm oranı esas alındığında yaklaşık 711 milyon kWh elektrik enerjisine eşdeğer bir potansiyel sunmaktadır.

2040 yılına gelindiğinde ise, Diyarbakır'da nüfusun yaklaşık 2,1 milyona ulaşacağı ve buna bağlı olarak yıllık atık miktarının 766 bin tonun üzerine çıkacağı öngörülmektedir. Bu miktarın 345 bin tonluk kısmının organik içerikli olacağı varsayımıyla yıllık biyogaz üretimi 138 milyon m³'ü aşacak ve bu gazdan yaklaşık 830 milyon kWh düzeyinde elektrik enerjisi üretilebilecektir. Bu enerji üretimi, Diyarbakır gibi enerji ihtiyacı yüksek bir kentte hem yerel enerji arzına katkı sunacak hem de dışa bağımlılığı azaltacaktır.

Biyogazın enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen kazançlar yalnızca elektrik üretimi ile sınırlı değildir. Fosil yakıtlara kıyasla biyogazdan elde edilen her birim enerji için daha az karbon salımı gerçekleşmekte olup, 1 kWh elektrik üretiminde ortalama 0,5 kg CO₂ emisyonunun önlenebileceği kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, 2019 yılı itibarıyla yaklaşık 355 bin ton CO₂ eşdeğeri sera gazı salımı engellenebilirken; 2040 yılında bu tasarruf miktarının 415 bin tonun üzerine çıkması beklenmektedir. Bu durum, iklim değişikliğiyle mücadelede yerel düzeyde önemli bir katkı anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, Diyarbakır özelinde yürütülen atık projeksiyonuna dayalı bu analizler göstermektedir ki, biyogaz teknolojilerinin yaygınlaştırılması hem enerji üretimi hem de çevresel koruma açısından stratejik faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda, mevcut bütünleşmiş atık yönetim tesislerinin kapasitesinin artırılması, yeni biyogaz üretim tesislerinin kurulması ve kaynakta ayrıştırma oranlarının yükseltilmesi, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılması açısından büyük önem arz etmektedir.

4.6 Evsel Atıktan Biyogaz Üretim Potansiyeli

Evsel katı atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesi hem atıkların çevresel etkilerinin azaltılması hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması açısından stratejik bir uygulamadır. Biyogaz, organik atıkların anaerobik ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanmasıyla oluşan metan (CH₄) ağırlıklı bir gaz karışımıdır. Evsel atıklarda özellikle gıda artıkları, sebze-meyve kalıntıları ve organik mutfak atıkları gibi biyobozunur bileşenler, biyogaz üretimi için uygun substrat oluşturmaktadır.

Biyogaz üretimiyle elde edilen bu enerji, yalnızca ekonomik bir kaynak değil, aynı zamanda çevresel bir fayda da sağlamaktadır. Fosil yakıtların yerine biyogazın kullanılması ile CO₂ salımında önemli ölçüde tasarruf elde edilmektedir. Bu çalışmada, her 1 kWh enerji için 0,5 kg CO₂ salımı varsayımıyla, yıllık yaklaşık 390.000 ton CO₂ eşdeğeri emisyonun önlenebileceği öngörülmüştür.

Sonuç olarak, Diyarbakır ili ölçeğinde evsel atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı ve buna karşılık gelen enerji üretimi potansiyeli oldukça yüksektir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi, hem şehir ölçeğinde sürdürülebilir atık yönetimi hedeflerine katkı sağlayacak hem de Türkiye'nin yenilenebilir enerji stratejileriyle uyumlu olacaktır.

4.6.1 Evsel atıktan biyogaz üretimi hesabının yapılması

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinin dört merkez ilçesi olan Kayapınar, Bağlar, Yenişehir ve Sur'da oluşan evsel atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Türkiye ortalamasına uygun olarak, kişi başı günlük evsel atık üretimi 1,03 kg; bu atığın yaklaşık %45'inin organik fraksiyon olduğu ve 1 kg organik atıktan ortalama 0,4 m³ biyogaz elde edilebileceği kabul edilmiştir. Ayrıca biyogazın enerji içeriği ortalama 6 kWh/m³ olarak alınmıştır.

Buna göre, her bir ilçe için biyogaz üretim potansiyeli şu adımlar izlenerek belirlenmiştir:

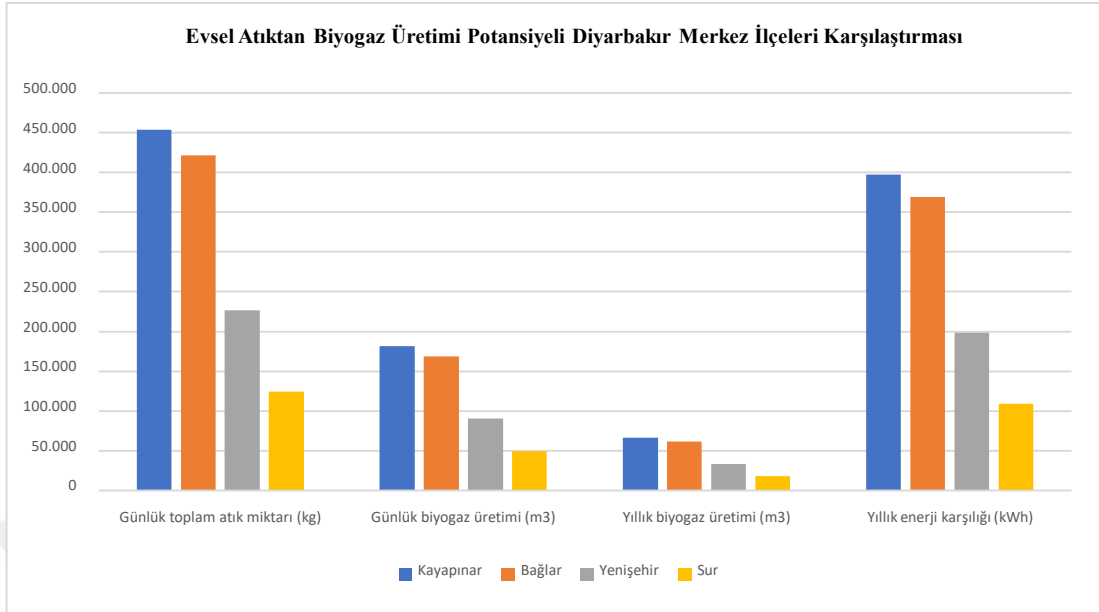
Tablo 4.6 Biyogaz Üretim Potansiyeli Hesaplanması

Üretim potansiyeli	Hesaplama
Günlük toplam atık miktarı (kg)	Nüfus x 1,03
Günlük biyogaz üretimi (m ³)	Atık miktarı x 0,4
Yıllık biyogaz üretimi (m ³)	Günlük biyogaz x 365
Yıllık enerji karşılığı (kWh)	Yıllık biyogaz x 6 kWh

Bu adımlar sonucunda Diyarbakır'ın merkez ilçelerinde yalnızca evsel atıklardan yılda toplam yaklaşık 130 milyon m³ biyogaz üretebileceği ve bunun karşılığında 780 milyon kWh elektrik enerjisi sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu enerji miktarı, on binlerce hanenin yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir.

Tablo 4.7. Diyarbakır merkez ilçeleri biyogaz potansiyeli hesaplaması.

İlçeler	Parametre	Hesaplamalar
Kayapınar	Günlük toplam atık miktarı (kg)	$440.886 \times 1.03 = 454.113 \text{ kg}$
	Günlük biyogaz üretimi (m ³)	$454.113 \times 0,4 = 181.645 \text{ m}^3$
	Yıllık biyogaz üretimi (m ³)	$181.645 \times 365 = 66.300,425 \text{ m}^3$
	Yıllık enerji karşılığı (kWh)	$66.300,425 \times 6 = 397.802,55 \text{ kWh}$
Bağlar	Günlük toplam atık miktarı (kg)	$409.230 \times 1.03 = 421.507 \text{ kg}$
	Günlük biyogaz üretimi (m ³)	$421.507 \times 0,4 = 168.603 \text{ m}^3$
	Yıllık biyogaz üretimi (m ³)	$168.603 \times 365 = 61.540,007 \text{ m}^3$
	Yıllık enerji karşılığı (kWh)	$61.540,007 \times 6 = 369.240,044 \text{ kWh}$
Yenişehir	Günlük toplam atık miktarı (kg)	$219.759 \times 1.03 = 226.352 \text{ kg}$
	Günlük biyogaz üretimi (m ³)	$226.352 \times 0,4 = 90.541 \text{ m}^3$
	Yıllık biyogaz üretimi (m ³)	$90.541 \times 365 = 33.047,465 \text{ m}^3$
	Yıllık enerji karşılığı (kWh)	$33.047,465 \times 6 = 198.284,79 \text{ kWh}$
Sur	Günlük toplam atık miktarı (kg)	$120.604 \times 1.03 = 124.223 \text{ kg}$
	Günlük biyogaz üretimi (m ³)	$124.223 \times 0.4 = 49.689 \text{ m}^3$
	Yıllık biyogaz üretimi (m ³)	$49.689 \times 365 = 18.136,558 \text{ m}^3$
	Yıllık enerji karşılığı (kWh)	$18.136,558 \times 6 = 108.819,348 \text{ kWh}$



Şekil 4.3 Evsel atıktan biyogaz üretimi potansiyeli Diyarbakır merkez ilçeleri karşılaştırması

4.7 Evsel Atıktan Elde Edilecek Biyogazın Kullanım Alanları

Diyarbakır ili merkez ilçelerinde oluşan evsel atıklardan yıllık yaklaşık 179 milyon m³ biyogaz elde edilebileceği hesaplanmıştır. Bu biyogaz, enerji dönüşümü açısından önemli bir potansiyel oluşturmakta ve farklı alanlarda kullanılabilirliğiyle çok yönlü katkılar sunmaktadır. Elde edilen biyogazın yaklaşık enerji içeriği 6 kWh/m³ olup, toplam enerji üretimi 1,07 milyar kWh/yıl seviyesindedir. Bu enerji miktarı, aşağıda açıklanan sektörlerde etkin biçimde değerlendirilebilir.

4.7.1 Elektrik enerjisi üretimi

Biyogaz, kojenerasyon sistemleri ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Kojenerasyon; aynı yakıt kaynağından hem elektrik hem de ısı enerjisinin eşzamanlı olarak üretilmesini sağlayan bütünleşmiş bir enerji üretim sistemidir. Bu sistemler, özellikle fosil yakıtların ve biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek verimlilikle değerlendirilmesine olanak tanıyarak, klasik enerji üretim yöntemlerine kıyasla toplam enerji verimliliğini %80'in üzerine çıkarabilmektedir (Şahin ve Demirbaş, 2016). Kojenerasyon sistemleri, sanayi tesisleri, hastaneler ve üniversite kampüsleri gibi sürekli enerji talebi bulunan alanlarda yaygın olarak kullanılmakta; böylece hem enerji maliyetlerinin azaltılmasına hem de sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Yılmaz ve Demirel, 2013).

Türkiye’de bu amaçla çalışan birçok tesis örneği mevcuttur. Hesaplamalara göre Diyarbakır’daki biyogaz potansiyeliyle yılda 1,07 milyar kWh elektrik üretilebilir. Bu miktar, yaklaşık 357.000 hanenin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayacak düzeydedir (ortalama 3000 kWh/konut/yıl varsayımıyla). Böyle bir sistem, şehir şebekesine entegre edilerek yenilenebilir kaynaklı enerji arzını artırabilir.



Şekil 4.4 Kojenerasyon şemasına ait bir şekil (Electricistanbul,2025)

4.7.2 Isı ve sıcak su üretimi

Kojenerasyon tesislerinde elektrik üretimi sırasında açığa çıkan ısı, yerleşim birimlerinde ısınma ve sıcak su ihtiyacında kullanılabilir. Özellikle toplu konut projelerinde veya organize sanayi bölgelerinde biyogaz bazlı ısıtma sistemleri hem enerji maliyetlerini düşürmekte hem de fosil yakıt bağımlılığını azaltmaktadır.

4.7.3 Ulaşım sektöründe kullanım

Biyogaz, uygun arıtma ve sıkıştırma işlemlerinden sonra biyometan formuna dönüştürülebilir ve doğalgazlı araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. Biyometan, organik atıkların anaerobik fermentasyonu sonucu oluşan biyogazın, içeriğindeki karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve diğer kirleticilerden arındırılmasıyla elde edilen, yüksek oranda metan (CH_4) içeren bir yenilenebilir enerji taşıyıcısıdır. Doğal gazla benzer kimyasal özelliklere sahip olması sayesinde, biyometan hem mevcut doğalgaz altyapılarında hem de alternatif yakıtlı araç motorlarında doğrudan kullanılabilir (IEA, 2020). Özellikle ulaşım sektöründe,

sıkıştırılmış biyometan (CBG) ve sıvılaştırılmış biyometan (LBG) biçimlerinde kullanılabilen bu yakıt, dizel ve benzinli araçlara kıyasla daha düşük sera gazı emisyonu, daha az partikül madde salımı ve daha temiz yanma avantajları sunmaktadır.

Avrupa Birliği ülkelerinde karbonsuz ulaşım hedefleri doğrultusunda biyometanla çalışan otobüsler, atık toplama araçları ve ticari taşıtlar yaygınlaşmakta; bu durum biyometanın sadece enerji üretimi değil, aynı zamanda kent içi sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin temel bileşeni olarak değerlendirildiğini göstermektedir (Scarlat vd., 2018).

Türkiye gibi yüksek biyogaz potansiyeline sahip ülkelerde biyometanın ulaşım sektörüne entegrasyonu, fosil yakıt ithalatını azaltma, karbon ayak izini düşürme ve kırsal kalkınmayı destekleme gibi çok yönlü faydalar sağlayabilir.

4.7.4 Gübre olarak kullanım

Biyogaz üretimi sonrasında reaktörlerde geriye kalan çamur, digestat olarak adlandırılmakta ve organik gübre olarak tarımda değerlendirilebilmektedir. Digestat, organik atıkların anaerobik fermantasyonu sonucunda biyogaz üretimi tamamlandıktan sonra geriye kalan yarı sıvı ya da katı formdaki artık maddedir. Bu madde, biyokimyasal bozunma sürecinden geçmiş olmasına rağmen hâlâ yüksek oranda besin elementi (özellikle azot, fosfor ve potasyum) içermesi nedeniyle, tarımsal uygulamalarda organik gübre olarak değerlendirilebilmektedir (Möller ve Müller, 2012). Digestat, toprak yapısını iyileştirici, humus içeriğini artırıcı ve su tutma kapasitesini geliştirici özellikleriyle çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlar.

Ayrıca, biyogaz tesislerinden çıkan digestatın kontrollü biçimde kurutulması, separasyonu ve stabilizasyonu ile hem katı hem de sıvı fraksiyonlar halinde piyasaya arzı mümkündür. Özellikle Avrupa ülkelerinde digestat, sertifikalı organik gübre olarak pazarlanmakta ve kimyasal gübre kullanımına sürdürülebilir bir alternatif oluşturmaktadır (Al Seadi vd., 2013). Türkiye’de de digestatın

değerlendirilmesi, atık yönetimi döngüsünü kapatmak ve tarımsal üretimde dışa bağımlılığı azaltmak açısından stratejik bir fırsat olarak görülmelidir.

Diyarbakır'ın toplam tarıma elverişli arazi varlığı 683 437 ha olup, bu alan Türkiye'deki işlemeye uygun tarım arazilerinin %2,4'ünü kapsamaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi içinde en fazla ekim alanına sahip il Şanlıurfa iken, Diyarbakır bu alanda 2. sırada yer almaktadır.

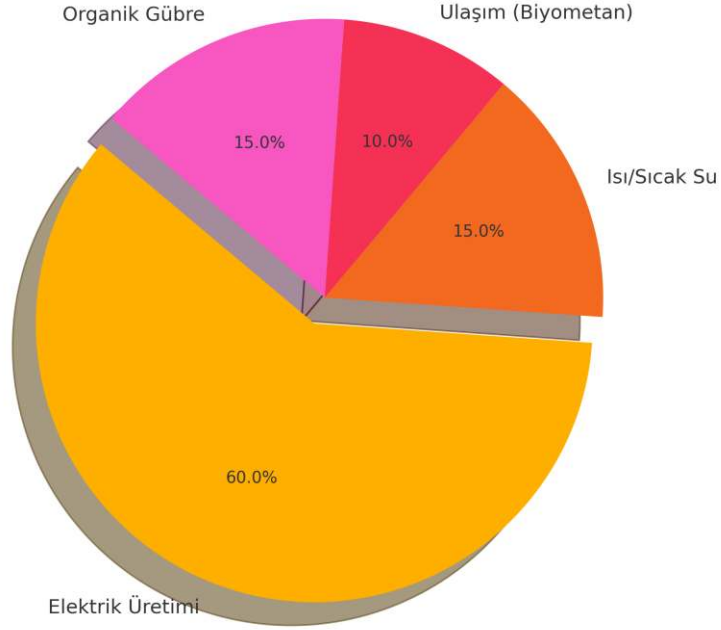
Diyarbakır gibi tarım potansiyeli yüksek bir ilde digestat, kimyasal gübre kullanımını azaltarak toprak sağlığını iyileştirmeye katkı sağlayabilir. Bu yönüyle biyogaz üretimi, sadece enerji değil aynı zamanda tarımsal verimlilik açısından da önemli bir girdi üretmektedir.

Evsel atık bazlı biyogaz üretimi, yalnızca atık bertarafını sağlamakla kalmayıp; elektrik, ısı, ulaşım ve gübre üretimi gibi çok sayıda sektöre katkı sunabilecek bir sistemdir. Diyarbakır'ın mevcut potansiyeli dikkate alındığında, sürdürülebilir enerji politikaları ve altyapı yatırımlarıyla bu potansiyelin hayata geçirilmesi mümkündür. Bu sayede şehir ölçeğinde hem çevresel sürdürülebilirlik sağlanacak hem de ekonomik fayda yaratılacaktır.

Tablo 4.8 Digestatın tipik fiziksel özellikleri (Möller ve Müller ,2012 ; Al Seadi vd.,2013)

Özellik	Tipik Değer Aralığı	Açıklama
pH	7 – 8,5	Hafif alkali; mikrobiyal denge açısından uygundur
Kuru Madde (KM)	%5- %15	Katı digestatta bu oran %20'ye kadar çıkabilir
Organik Madde (OM)	%60- %80 (KM bazında)	Toprakta humus oluşumuna katkı sağlar
Elektriksel İletkenlik (EC)	2 – 6 mS/cm	Topraktaki tuz dengesine etki edebilir
Yoğunluk	1.000 – 1.050 kg/m ³	Sıvı digestatlar için suya yakın
Koku	Orta – Belirgin	Fermantasyon yan ürünlerinden kaynaklı; iyi yönetilmelidir
Renk	Koyu kahverengi / Siyah	Organik içerikten dolayı

Biyogazın Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (Tahmini)



Şekil 4.5 Biyogazın kullanım alanlarına göre dağılımı

4.8 Biyogazın Elektrik Enerjisi Cinsinden Hesaplanması

Biyogazın enerji potansiyelini sayısal olarak ortaya koyabilmek için, elde edilen gaz miktarının elektrik enerjisine dönüşüm katsayısı üzerinden değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde yaygın olarak kabul edilen değerler doğrultusunda, 1 m³ biyogaz ortalama 6 kWh enerji içermektedir (IEA, 2020). Bu enerji doğrudan kojenerasyon sistemlerinde elektriğe dönüştürülebilmekte, ayrıca ısı enerjisi olarak da kullanılabilir.

Bu çalışmada Diyarbakır'ın merkez ilçelerinden elde edilen toplam biyogaz miktarı yaklaşık 179.024.232 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hacimdeki biyogazdan elde edilebilecek yıllık toplam enerji miktarı Denklem (4.1)'de verilen formül üzerinden hesaplanmıştır:

$$\text{Yıllık Enerji} = \text{Toplam Biyogaz (m}^3/\text{yıl)} \times 6 \text{ kWh/ m}^3 \quad (4.1)$$

$$\text{Yıllık Enerji} = 179.024.232 \times 6 = 1.074.145.392 \text{ (kWh/yıl)} \quad (4.1)$$

Bu enerji miktarı, Türkiye’de bir hanenin yıllık ortalama elektrik tüketimi olan yaklaşık 3000 kWh referans alınarak Denklem (4.2)’ye göre hesaplandığında, yaklaşık olarak:

$$\text{Hane Sayısı} = \text{Yıllık Enerji Tüketimi} / \text{Yıllık Elektrik Tüketimi} \quad (4.2)$$

$$\text{Hane Sayısı} = 1.074.145.392 / 3000 \approx 358.048 \text{ hane} \quad (4.2)$$

Yani yaklaşık 358 bin hanenin yıllık elektrik ihtiyacı bu biyogazdan sağlanabilir.

Buna ek olarak, bu çalışmada, her 1 kWh enerji için 0,5 kg CO₂ salımı varsayımıyla, Denklem (4.3)’e göre bu miktardaki enerji fosil yakıtlardan üretilmiş olsaydı yaklaşık olarak:

$$\text{CO}_2 \text{ salımı} = \text{Yıllık Enerji Tüketimi} \times 0,5 \text{ kg CO}_2 \quad (4.3)$$

$$\text{CO}_2 \text{ salımı} = 1.074.145.392 \times 0,5 = 537.072.696 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Biyogaz kullanımı sayesinde atmosfere salınması önlenen 537 bin ton CO₂ eşdeğeri sera gazı, çevresel sürdürülebilirliğe önemli bir katkı sağlamaktadır. Biyogaz üretimi ve kullanımı, fosil yakıtların yerine geçerek ve organik atıkların uygun şekilde değerlendirilmesini sağlayarak atmosfere salınan sera gazı miktarını azaltmaktadır. Bu bağlamda, biyogaz sistemlerinin yaygınlaştırılması, iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

4.9 Tartışma

Çalışmada elde edilen bulgular, evsel katı atıkların yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir yük değil, aynı zamanda ciddi bir enerji kaynağı potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır. Diyarbakır ili özelinde gerçekleştirilen hesaplamalar, özellikle organik fraksiyonu yüksek olan atıkların biyogaz üretimi açısından önemli miktarda metan gazı (CH₄) üretebildiğini göstermektedir. Bu bulgu, literatürde yer alan benzer araştırmalarla örtüşmektedir. Örneğin, Demirbaş (2011), Türkiye genelinde atık kaynaklarının enerjiye dönüştürülmesinde organik içerikli fraksiyonların öncelikli değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Yıllık yaklaşık 130 milyon m³ biyogaz üretim potansiyeli, 780 milyon kWh enerji karşılığına denk gelmektedir. Bu değer, Türkiye’de yaklaşık 358 bin hanenin yıllık elektrik tüketimini karşılayabilecek düzeydedir. Bu enerji yalnızca ekonomik bir kazanç olarak değil, aynı zamanda karbon salımının azaltılması açısından da çevresel bir fayda sağlamaktadır. Biyogazın fosil yakıtlar yerine kullanılması, yıllık yaklaşık 390 bin ton CO₂ eşdeğeri emisyonun önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu sonuçlar, biyogaz teknolojilerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir çözüm olduğunu ortaya koymaktadır.

Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan atık yönetimi hiyerarşisinde enerji geri kazanımı öncelikli sıralarda yer almakta olup, Türkiye'nin de bu doğrultuda biyogaz yatırımlarına yönelmesi önerilmektedir.

Bulgular, mevcut altyapının söz konusu potansiyeli karşılamakta yetersiz kaldığını ve özellikle kaynağında ayrıştırmanın yaygınlaştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin kapasite artırıcı yatırımlar yapması ve kamu-özel sektör iş birliğini teşvik etmesi önem arz etmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışma, Diyarbakır ilinde oluşan evsel katı atıkların yönetimi sürecini çevresel, ekonomik ve enerji potansiyeli açısından çok yönlü olarak değerlendirmiş ve özellikle biyogaz üretimi bağlamında önemli bulgular ortaya koymuştur. Yapılan hesaplamalar, dört merkez ilçede yıllık yaklaşık 446 bin ton evsel atık üretildiğini ve bu atıkların %45'inin organik içerikli olduğunu göstermiştir. Bu verilere dayanarak, yılda yaklaşık 130 milyon m³ biyogaz elde edilebileceği ve bunun da yaklaşık 780 milyon kWh enerjiye dönüştürülebileceği belirlenmiştir. Bu miktar, önemli bir enerji kaynağı olmakla kalmayıp aynı zamanda yaklaşık 390 bin ton CO₂ salımının da önüne geçilmesi anlamına gelmektedir.

Araştırma, atıkların yalnızca bertaraf edilmesi gereken çevresel bir yük değil, aynı zamanda enerjiye dönüştürülebilecek ekonomik bir kaynak olduğunu ortaya koymuştur. Mevcut altyapının bu potansiyeli karşılamakta yetersiz kalması ise, yeni biyogaz tesislerinin kurulmasının ve mevcut tesislerin kapasitesinin artırılmasının gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Literatürle karşılaştırıldığında bu çalışma, Diyarbakır özelinde yerel verilere dayalı hesaplamalarla bölgenin biyogaz potansiyelini somutlaştırmakta ve Türkiye genelinde benzer demografik ve sosyoekonomik özellikler taşıyan şehirler için örnek bir model sunmaktadır. Gerek Avrupa Birliği uygulamaları gerekse Türkiye'deki biyogaz yatırımlarının gelişim seyriyle paralel biçimde, çalışmanın bulguları, yerel yönetimlere ve karar vericilere stratejik veri sağlamaktadır.

5.2 Öneriler

Kaynağında Ayrıştırma ve Halk Eğitimi: Evsel atıkların biyogaz üretimine uygun şekilde ayrıştırılması için toplumsal bilinçlendirme çalışmaları artırılmalı, eğitim kampanyaları ile bireysel sorumluluk teşvik edilmelidir.

Veri Tabanlı İzleme Sistemi: Diyarbakır özelinde organik atık bileşimi ve üretim verileri periyodik olarak güncellenmeli, atık karakterizasyonuna dair ayrıntılı saha çalışmaları yapılmalıdır.

Teşvik ve Mevzuat Desteği: Biyogaz yatırımlarının yaygınlaşması için finansal destek mekanizmaları genişletilmeli; enerji üretimi, gübre kullanımı ve karbon kredileri gibi konularda yasal altyapı güçlendirilmelidir.

Bölgesel Yaygınlaştırma: Bu model, Mardin, Şanlıurfa gibi çevre illerde de uygulanabilirliğe sahiptir. Bölgesel biyogaz projeleri için ortak kalkınma ajansları ile koordineli çalışmalar yürütülmelidir.

Yerel Yönetimlerin Teknik ve İdari Kapasitesinin Güçlendirilmesi
Atık yönetimi konusunda yerel yönetimlerin uzman personel, ekipman ve bütçe yönünden desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile iş birliği içinde kapasite geliştirme programları uygulanmalıdır.

Mevcut Mevzuatın Güncellenmesi ve Uygulamanın Etkinleştirilmesi
Türkiye'nin atık yönetimi ve yenilenebilir enerjiye dair mevcut mevzuatları, uygulamada karşılaşılan sorunlar doğrultusunda güncellenmeli; biyogaz üretimini teşvik eden açık ve uygulanabilir yasal çerçeveler oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Al Seadi, T., Drosch, B., Fuchs, W., Rutz, D., ve Janssen, R. (2013). *Biogas digestate quality and utilization*.
- Anadolu Ajansı. (2019, Haziran 11). Gaziantep'teki biyogaz tesisi Güneydoğu'nun cazibe merkezi oldu [Fotoğraf]. <https://www.aa.com.tr/tr/temiz-cevre-temiz-su/gaziantepteki-biyogaz-tesisi-guneydogunun-cazibe-merkezi-oldu/1499025>
- Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D. P., ve Lyczko, N. (2017). A review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(2), 267–283. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9649-0>
- Barampouti, E. M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K., ve Loizidou, M. (2019). Biogas production from municipal solid waste: A review on European waste-to-energy policies and practices. *Waste Management*, 95, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.038>
- Bayram, A. (2017). Katı atıkların geri kazanımı ve çevresel etkileri: Ulusal ve uluslararası yaklaşım. *Journal of Environmental Sciences Research*, 10(2), 45–58.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2022). 2021 yılı belediye atık istatistikleri raporu. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/belediye-at-k-istatistikleri-2021-20220418115602.pdf>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2022). Biyogaz Kılavuzu. Ankara: T.C. ÇŞİDB Yayınları.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). 2021 yılı çevre istatistikleri. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/belediye-at-k-istatistikleri-2021-20220418115602.pdf>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Belediye atık yönetimi istatistikleri. <https://cevresele rapor.gov.tr/>
- Demirbas, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357–1378. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0)
- Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi (2023). *Katı Atık Yönetim Faaliyetleri Raporu*.
- El-Haggar, S. M. (2007). Sustainable industrial design and waste management: Cradle-to-cradle for sustainable development. Academic Press.
- Electricistanbul. (2025). <https://www.electricistanbul.com/2024/02/11/kojenerasyon-ve-trijenerasyon-sistemi-nasil-calisir/>

- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2023). Elektrik üretim lisansları listesi. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-99/elektrik-uretim-lisanslari>
- European Comission. (2006). Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”.
- European Commission. (2008). Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive).
- Fırat Kalkınma Ajansı. (2021). Elâzığ ili biyogaz tesisi ön fizibilite raporu. <https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/fizibilite/Elazig-ili-biyogaz-tesisi-on-fizibilite-raporu2021.pdf>
- Gebze Gazetesi (2025). Evsel atıkların %80’i geri dönüştürülebilir. <https://www.gebzegazetesi.com/yasam/evsel-atiklarin-80i-geri-donusturulebilir-h47588.html>
- Güney Marmara Kalkınma Ajansı. (2022). Balıkesir ili biyogaz tesisi ön fizibilite raporu. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/balikesir-ili-biyogaz-tesisi-on-fizibilite-raporu2022.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2020). Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). Biogas for road vehicles: Technology brief. <https://www.irena.org/publications/2016/Mar/Biogas-for-Road-Vehicles-Technology-Brief>
- Johansson, N. (2016). Waste management in Sweden: A historical and comparative analysis. *Journal Cleaner Production*, 134, 324–335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.108>
- Kavurmacı, M., ve Demir, M. (2015). Türkiye’de biyogaz tesislerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesi. *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 12–21.
- Koca, A. (2007). Yenilenebilir bir enerji kaynağı: Biyogaz. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 5(3), 32–35.
- Mohan, S. V., Amulya, K., ve Chatterjee, S. (2016). Organics to energy: Biogas from different organic wastes and effect of substrate composition. *Renewable Energy*, 93, 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.003>
- Möller, K., ve Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242–257. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>

- Pichtel, J. (2014). *Waste management practices: Municipal, hazardous, and industrial* (2nd ed.). CRC Press.
- Sayar, Ş. (2012). Sakarya ili entegre atık yönetimi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümü [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/80105>
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., ve Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G., ve Trivedi, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities – A review. *Waste Management*, 28(2), 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.008>
- Şahin, E., ve Demirbaş, A. (2016). Kojenerasyon sistemlerinin enerji verimliliğine etkileri. *Enerji ve Çevre Dergisi*, 25(3), 112–120.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., ve Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., ve Vigil, S. (2002). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 02.04.2015, Sayı: 29314.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). Türkiye Çevre Durum Raporu 2022. Ankara: ÇŞİDB Yayınları.
- Tunç, M., ve Yıldız, B. (2024). Türkiye’de atık yönetiminde uygulanan doğrudan mali tedbirlerin analizi. *The Journal of International Scientific Researches*, 9(1), 14–34. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/isrjournal/issue/83444/1381831>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2022). Belediye atık istatistikleri 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Atik-Istatistikleri-2021-45641>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). Belediye atık istatistikleri 2022. <https://data.tuik.gov.tr/>
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2011). *Waste – Investing in Energy and Resource Efficiency*.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>

- Wilson, D. C., Velis, C., ve Cheeseman, C. (2012). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International*, 30(4), 797–808. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.09.005>
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., ve Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques A review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010>
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T., ve Koçer, A. (2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. *NWSA-Technological Applied Sciences*, 12(4), 218-232.
- Yılmaz, E., ve Demirer, G. N. (2013). Türkiye’de biyogaz teknolojilerinin mevcut durumu ve potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 507–514. <https://doi.org/10.17341/gummfd.17249>
- Yılmaz, İ., ve Demirer, G. N. (2013). Türkiye’de biyogaz teknolojilerinin mevcut durumu ve potansiyeli. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dergisi*, 9(2), 65–74.
- Zaman, A. U., ve Lehmann, S. (2011). Challenges and opportunities in transforming a city into a “zero waste city.” *Challenges*, 2(4), 73–93. <https://doi.org/10.3390/challe2040073>
- Zhang, L., Wang, C., ve Liu, H. (2013). Review of policy incentives for biogas development in rural China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.005>
- Zaman, A. U. (2013). Identification and evaluation of critical factors of sustainable waste management in megacities: the case of Dhaka, Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 40, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.022>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

AZİZOĞLU, NEDRET
BERFİN

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2025
Lisans	Bahçeşehir Üniversitesi	2013
Lise	Özel Amid Lisesi	2007

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2022- HALEN	DİYARBAKIR KAYAPINAR BELEDİYESİ	ÇEVRE MÜHENDİSİ
2018-2020	AGE İNŞAAT	ÇEVRE MÜHENDİSİ
2017-2018	AZİZOĞLU MÜHENDİSLİK	ÇEVRE MÜHENDİSİ
2015-2017	DÖNÜŞÜM ÇEVRE DANIŞMANLIK	ÇEVRE MÜHENDİSİ
2014-2015	SUEZ CONSULTING	TEKNİK TERCÜMAN

Yabancı Dil

İngilizce- İleri Seviye

Yayınlar

1.Nedret Berfin Azizoğlu (2025). Examination of Household Waste Management in Türkiye and European Union (EU) Countries. 6. BİLSEL International Efes Scientific Researches and Innovation Congress Proceedings, 22–23 Şubat 2025, İzmir, Türkiye, ss. 628–639.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Nedret Berfin AZİZOĞLU		
Öğrenci No	22828008		
Ana Bilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Kaynakları		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	DİYARBAKIR İLİ KATI ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRESEL, EKONOMİK VE BİYOGAZ POTANSİYELİ AÇISINDAN ANALİZİ		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	72		
Raporlama Tarihi	24.06.2025		
Benzerlik Oranı (%)	%11		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 24/06/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından TURNİTİN isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 11 Olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☒ Kaynaklar hariç

☐ Alıntılar hariç/dâhil

☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, Gereğini arz ederim.

Öğrencinin Nedret Berfin AZİZOĞLU

Tarih: 24.06.2025

İmza:

Danışman : Prof. Dr. Vedat Veli ÇAY

İmza:

Tarih: 24.06.2025

Ana Bilim Dalı Başkanı : Doç. Dr. Fatih KOÇYİĞİT

İmza:

Tarih: 24.06.2025
