



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

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KESİKLİ BESLEMELİ ANAEROBİK REAKTÖRLERDE  
ÇEŞİTLİ GIDA ATIKLARINDAN METAN ELDESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Saadet ÖZEN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Melayib BİLGİN**

**AKSARAY, 2019**

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142301407 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Saadet ÖZEN** tarafından hazırlanan “**KESİKLİ BESLEMELİ ANAEROBİK REAKTÖRLERDE ÇEŞİTLİ GIDA ATIKLARINDAN METAN ELDESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman: Doç. Dr. Melayib BİLGİN**

Aksaray Üniversitesi

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

**Üye: Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**

Necmettin Erbakan Üniversitesi

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

**Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şevket TULUN**

Aksaray Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2019

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

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## DOĞRULUK BEYANI

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

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



Saadet ÖZEN

## TEŞEKKÜR

Kesikli Beslemeli Anaerobik Reaktörlerde Çeşitli Gıda Atıklarından Metan Eldesi adında ki tezimi seçme nedenlerimden ilk olarak; yenilenebilir enerjiye ve anaerobik sistemlere olan ilgimin büyük etkisi olmuştur. Organik atıkların (hayvan, bitki, gıda ,vb.) elektrik enerjisine dönüşümü ve yan ürün olarak sıcak su, organik gübre oluşumu

Çevreyi kirletmediği gibi katkı sağlamaktadır. Tez konum ile ilgili ayrıntılı bilgi sahibi olmama ve organik atıklardan biyogaz elde edilmesinde rol oynayan tüm etkenleri ve elektrik enerjisi elde edilme sürecini uygulamalı olarak öğrenmemi sağlayan Organize Sanayi Bölgesi Biyogaz Tesisi Yöneticisi Mehmet KONUKÇU' ya sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Yüksek Lisans ve Lisans dönemi boyunca bilgisini ve ilgisini bizlere tam anlamıyla gösteren, yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Melayib BİLGİN' e sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Başarı hayatımda emeklerini benden esirgemeyen her zaman yanımda olan başta annem Ayşe ÖZEN, babam Erdal ÖZEN, Eşim Seyfi TOHUMCU ve aileme sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Saadet ÖZEN  
AKSARAY, 2019

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	viii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Organik Katı Atıklar .....	4
1.2 Anaerobik Parçalanma .....	5
1.2.1 Anaerobik işlemin aşamaları.....	6
1.2.1.1 Hidroliz basamağı .....	7
1.2.1.2 Asit üretimi.....	7
1.2.1.3 Metan üretimi .....	8
1.2.2 Anaerobik parçalanmayı etkileyen faktörler.....	8
1.2.2.1 Reaktör sıcaklığı.....	8
1.2.2.2 Hidrolik bekleme süresi .....	10
1.2.2.3 pH etkisi .....	11
1.2.2.4 C/N oranı.....	11
1.2.2.5 Toksikite .....	12
1.2.2.6 Alkalinite.....	12
1.2.2.7 Nütrientler ve uçucu asitler .....	13
1.2.3 Anaerobik parçalanmanın mikrobiyolojisi.....	15
1.2.4 Katı atıklar için anaerobik parçalanma sistemleri.....	15
1.2.4.1 Sürekli ve kesik besleme .....	15
1.2.4.2 Sürekli yüklemeli sistem.....	16
1.2.4.3 Depolamalı-akışlı yöntemi .....	16
1.2.4.4 Kesik besleme (Batch –Beklemeli sistem).....	16
1.2.5 Anaerobik işlemin avantajları ve dezavantajları .....	17
1.3 Biyogaz .....	18
1.3.1 Biyogaz ve bileşimi.....	18
1.3.2 Biyogazın kullanım yerleri.....	19
1.3.3 Biyogaz üretimin çevrecilik açısından önemi .....	20
1.4 Biyogazın Yararları.....	21
1.4.1 Ekonomik yararları .....	21
1.4.2 Çevresel yararlar .....	21
1.4.3 İklim değişikliği .....	22
1.4.4 Asit yağmurları .....	22
1.4.5 Toprak erozyonu ve su kirliliği .....	22
1.4.6 Depolama hacmini azaltma .....	23
1.5 Biyogazın Ülke Ekonomisine Katkısı.....	23
1.6 Yurt Ekonomisinde Ve Tarımında Biyogazın Önemi Ve Biyogaz Potansiyeli.....	24
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>25</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>29</b>
3.1 Malzeme .....	29
3.1.1 Biyogaz üretim tesisi.....	29
3.1.2 Atık hazırlama ve besleme sistemi.....	31

3.1.3 Dengeleme (atık kabul) havuzu özellikleri .....	31
3.1.4 Anaerobik çürütme sistemi .....	33
3.1.5 Kojenerasyon sistemi .....	35
3.1.6 H <sub>2</sub> S giderim sistemi .....	37
3.1.7 Otomasyon sistemi .....	39
3.1.8 Gübre susuzlaştırma ve hijyenizasyon sistemi.....	40
3.2 Ürünün Depolanması Ve Yönetimi.....	41
3.2.1 Biyogaz depolanma ve yönetimi.....	41
3.2.2 Katı gübre depolanması ve yönetimi.....	42
3.2.3 Sıvı gübre depolanması ve yönetimi .....	42
3.3 Tesiste Kontrol Ve İzleme .....	43
3.3.1 Atık miktarı, tartım ve analizi .....	43
3.4 Türkiye’de Biyogaz Üretimi .....	43
3.5 Dünyada Biyogaz Üretimi .....	45
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>46</b>
<b>5.SONUÇ ÖNERİLER .....</b>	<b>49</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>56</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>60</b>

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### KESİKLİ BESLEMELİ ANAEROBİK REAKTÖRLERDE ÇEŞİTLİ GIDA ATIKLARINDAN METAN ELDESİ

Saadet ÖZEN

Aksaray Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melayib BİLGİN

#### ÖZET

Tez çalışması, Aksaray ilinde işletimde olan biyogaz tesisinde yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü biyogaz tesisine birçok farklı işletmeden organik içerikli atık gelmektedir. Tez süreci boyunca tesis bünyesine gelen farklı organik atıkların içerikleri ve metan oranları analiz ve otomasyon sisteme ile tespit edilmiştir.

Çalışmamızın ilk bölümünde Biyogaz ile ilgili tanımlamalara ve anaerobik arıtmanın avantajlarına yer verilmiş, biyogazın ekonomi için öneminden, biyogazın kullanım alanlarından ve çevreye olan önemli katkılarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde Biyogaz üretim esaslarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise tezin ana konusu olan Biyogaz üretiminde kullanılan malzemelerden ve metottan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise yapılan analizlerde ve elimizdeki mevcut malzemelerden elde edilen metan miktarları verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Metan, Anaerobik arıtma, yenilenebilir enerji, organik gübre, Ürün, Ekonomi

**Mayıs, 2019; 60 sayfa**

**M.Sc. THESIS**

**SCREENING OF DIFFERENT FOOD WASTES IN MAINOPHETIC  
REACTORS WITH NUTRED FEEDING**

**Saadet ÖZEN**

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

**Advisor: Assoc. Dr. Melayib BİLGİN**

**ABSTRACT**

The thesis study was carried out in the biogas plant operating in Aksaray province. The biogas plant, where the study is carried out, is composed of organic waste from many different enterprises. The contents of the different organic wastes and methane ratios that have been acquired during the thesis process have been determined by the analysis and automation system.

In the first part of our study, the biogas-related definitions and the advantages of anaerobic treatment are mentioned. In the second chapter, biogas production principles are mentioned. In the third chapter, the main subject of the thesis is the materials used in biogas production and the method is mentioned. In the fourth section, the amounts of methane obtained from the available materials and the analyzes are given.

**Keywords:** Biogas, Methane, Anaerobic treatment, renewable energy, organic fertilizer, Product, Economy

**May, 2019; 60 pages**



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Anaerobik çürümenin safhaları.....	7
Şekil 1.2. Psikofilik, mezofilik, termofilik sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızı üzerinde etkisi.....	9
Şekil 3.1. Atık hazırlama ve besleme ünitesi, iş akım şeması.....	31
Şekil 3.2. Kojenerasyon sistemine ait görünüm.....	36
Şekil 3.3. Biyoscrubber çalışma prensibi.....	38
Şekil 3.4. Türkiye hayvansal kaynaklı atıkların enerji potansiyellerinin illere göre dağılımı (TEP).....	51
Şekil 5.1. Organik atıkların metan oranları.....	51
Şekil 5.2. Organik atıkların metan oranları.....	51
Şekil 5.3. Organik atıkların biyogaz verimleri.....	52
Şekil 5.4. Organik atıkların biyogaz verimleri.....	53
Şekil 5.5. Biyogaz verimi yüksek olan atıkların metan verimi.....	54
Şekil 5.6. Biyogaz verimi yüksek olan atıklar.....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çeşitli atıklardan metan eldesi.....	5
Çizelge 1.2. Anaerobik arıtmada metan gazı oluşum süreci.....	6
Çizelge 1.3. Anaerobik arıtmada bazı iz elementlerin istenen konsantrasyonları.....	13
Çizelge 1.4. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	19
Çizelge 1.5. Pis ortamda gelişen bazı hastalık etkeni mikroorganizmalar.....	20
Çizelge 3.1. Dengeleme (atık kabul) havuzu özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. Anaerobik reaktörlere ait özellikleri.....	33
Çizelge 3.3. Elektrik enerjisi üretimi için kullanılan ekipmanlar.....	37
Çizelge 3.4. Susuzlaştırma ve kurutma üniteleri.....	40
Çizelge 3.5. Membran özellikleri.....	42
Çizelge 3.6. Biyogaz tesisinde yapılan analizler.....	43
Çizelge 4.1. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	46
Çizelge 4.2. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	47
Çizelge 4.3. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	47
Çizelge 4.4. Çeşitli yakıtların ısı değerleri.....	48
Çizelge 5.1. Biyogaz tesisine beslenen organik atıkların metan değerleri.....	52
Çizelge 5.2. Biyogaz tesisine beslenen organik atıkların metan değerleri.....	53

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>B</b>	Biyokütle
<b>BG</b>	Beygir Gücü
<b>C</b>	Karbon
<b>C/N</b>	Karbon ve azot oranı
<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metan
<b>CO</b>	Karbonmonoksit
<b>Co</b>	Kobalt
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit
<b>Cr</b>	Krom
<b>Cu</b>	Bakır
<b>EJ</b>	Egzajoule
<b>Fe</b>	Demir
<b>GAP</b>	Güneydoğu Anadolu Projesi
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrojen
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Hidrojen sülfür
<b>HBS</b>	Hidrolik bekletme süresi
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Bikarbonat
<b>K</b>	Potasyum
<b>KM</b>	Katı Madde
<b>KOİ</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>kWh</b>	Kilowatt-saat (1x10 <sup>3</sup> W)
<b>L</b>	Litre
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>MJ</b>	Miligram
<b>MTEP</b>	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
<b>N</b>	Azot
<b>Na</b>	Sodyum
<b>NH<sub>2</sub></b>	Amino grubu
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amonyak
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	Amonyak azotu
<b>NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub></b>	Amonyum bikarbonat
<b>Ni</b>	Nikel
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrat
<b>P</b>	Fosfor
<b>S</b>	Kükürt
<b>SBR</b>	Megajoule
<b>Se</b>	Selenyum
<b>TA</b>	Toplam Asit
<b>TEP</b>	Ton Eşdeğer Petrol
<b>TUA</b>	Toplam Uçucu Asit
<b>TÜİK</b>	Türkiye İstatistik Kurumu
<b>UA</b>	Uçucu Asit

## 1. GİRİŞ

Enerjimiz oldukça büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların oldukça fazla kullanılması ile çevresel sorunların ortaya çıkması, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların tükenmesi nedeni ile ilerleyen yıllarda bu yakıtların tamamen yok olacağı bilinmektedir. Dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 2376 kWh/kişi/yıl iken, Türkiye ortalaması, kaçak ve kayıplar dışında net 1281 kWh/kişi/yıl düzeyindedir [31].

Ülkemizde senede 50-65 MTEP (milyon ton eş-değer petrol) organik atık ve 11,05 MTEP hayvansal atık oluşmasına rağmen, üretilen bu atıkların sadece % 60'ı enerji üretimi için kullanılabilir niteliktedir. Bu atıklardan elde edilebilecek enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27'sine denk olduğu bilinmektedir. Bu duruma rağmen ülkemizde enerji politikalarında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu konularda teknolojileri yaygınlaştırmak yerine, enerji ihtiyacını karşılamak için ithalat yoluna gidilmektedir [26].

Avrupa Birliği 2020 yılında tüketiminin % 20'sini tasarruf etmeyi hedeflemektedir. Öngörülen hedefin başarılması, 390 MTEP enerji tasarrufuna, yıllık 780 milyon ton CO<sub>2</sub> azaltımına, hane başına yıllık 200–1000 € arasında tasarrufa imkân sağlamaktadır [14].

Dünya enerji tüketiminin ortalama % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin ortalama % 43'ünü biyokütleden elde etmektedir [5].

Zaman ilerledikçe çoğalan nüfusun hayvansal kaynaklı ürün ihtiyacını gidermek amacıyla, hayvancılığın devamlılık haline gelmiştir. Fakat hızla yayılan hayvancılık işletmelerindeki yoğun işletmecilik, birçok çevresel ve ekonomik sorunları da beraberinde getirmiştir. Alınması gereken önlemler alınmadığı durumda, hayvancılık sektörü işletmelerinde ortaya çıkan sıvı ve katı atıklar birçok kirleticileri karşımıza çıkarmaktadır.

Hayvancılık sektöründe oluşan gübre atıklarının ve diğer organik atıkları biyogaz tesislerinde fermante olması sonucu atıkların çevre üzerinde oluşturacak olumsuz etki-

lerinin giderilmesi ve oluşan biyogazın yakılması ile elektrik ve ısı enerjisi elde edilmesi, fosil yakıtların yer değişikliği yoluyla çevrenin korunması ve biyogaz tesisinden çıkan atıkların tarım uygulamalarında kullanılması tamamen bir atık yönetim sistemi olarak görülecektir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sanayi atıkları, hayvan atıkları ve tarımsal kaynaklı atıklar yenilenebilir enerji üretiminde hammadde olarak yaygın kullanılmaktadır. Ülkemizde hammadde olarak öncelikli gıda sektörü olmak üzere, endüstriyel atıkların anaerobik arıtımına ilgi mevcuttur.

Fakat organik kökenli atıkların biyogaza dönüştürülmesi aşamasında fazla uygulama bulmamıştır. Türkiye yenilenebilir enerji üretiminde büyük bir potansiyele sahiptir.

Biyogaz tesisi kurulumu maliyeti fazla ve işletimi zor olduğundan dolayı kurulmadan önce detaylı bir araştırılma yapılmalıdır. Yapılacak fizibilite çalışması ile ekonomik ve çevre dostu olup olmadığına karar verilmelidir.

Enerji günümüzde kamuoyunun en çok konusunu olan maddelerden biridir. Dünya çapında toplumun enerji ihtiyacı fazlalaşarak artmaktadır. Bazı uluslararası kurumlar ve şirketler, 2050 ve 2100 yılına kadar küresel enerji ihtiyacının 3 ile 7 kat artacağını ve en fazla artışın gelişmekte olan ekonomilerden beklendiğini öngörmektedir [34].

En önemli yakıt kaynağı günümüzde fosil yakıtlardır. Atmosferdeki CO<sub>2</sub> artışı ve artışın oluşturduğu iklim değişikliği problemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebi artırmıştır. Biyokütle, piroliz, gazlaştırma anaerobik çürütme yoluyla biyoyakıtlara dönüşür.

Gün geçtikçe artan nüfus artışı ile beraber, enerjinin temel insan ihtiyaçlarına yetecek şekilde ve nitelikli düzeyde üretilmesi gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesi toplum yaşamını basitleştirirken ortalama enerji tüketimi de artırmaktadır. Bu durum orantılı olarak dünyada enerji üretiminin ve tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Toplumumuzda küresel çaplı enerji ihtiyacının her geçen gün artması sınırlı olan fosil kökenli yakıtların tükenmesine sebep olacaktır. Ayrıca fosil yakıtların kullanılmasıyla beraber birçok çevre ve ekonomik problemi beraberinde getirmektedir.

Yenilenebilir enerji kullanımının artması ile hem fosil yakıtların daha verimli olarak kullanılması sağlanacak hem de çevreyle dostu yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması konusunda çalışmalar yaygınlaşacaktır.

Özellikle biyogaz teknolojisi gaz motorlarından elektrik enerjisi üretilmesi bu teknolojinin kullanımını yaygınlaştırmıştır [42].

Günümüzde dünyanın en önemli problemlerinden birisi çevre kirlenmesi ve bununla beraber gelecek olan ekonomik sıkıntılardır. Biyogaz teknolojisinin artması ve teknolojinin yayılması fosil enerji kaynağı gereksinimini azaltacaktır.

Giriş Bölümünde; Biyokütle enerjisi konusunda genel açıklamalar yapılarak tez çalışmasının amacı, önemi ve kapsamından söz edilmiştir.

Kaynak Özetleri Bölümünde; Tez çalışmasına dayanak olan kuramsal temeller ile ilgili kriterler ve yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Diğer başlıklarda ise biyogazın biyolojisi, biyogaz üretimini etkileyen faktörler ve optimum çalışma koşulları, biyogaz üretiminde kullanılan atık türleri, biyogaz üretiminin avantaj ve dezavantajları, biyogaz üretiminde kullanılan prosesler ve fermantasyon şekilleri, biyogaz üretim tesisleri ve biyogaz kullanım alanları gibi biyogaz konusunda genel bilgilere yer verilmiştir.

Malzeme ve Yöntem Bölümünde; araştırma kapsamında mevcut kurulu olan biyogazdan elektrik enerjisi elde eden işletmenin özellikleri, günlük atık miktarı ve kapasitesi ortaya konulmuştur. Bu çerçevede mevcut kurulu olan biyogaz tesisi verileri araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur. Yöntemde ise; tesisin biyogaz üretim potansiyelini ortaya koyabilmek için tesise gelen atık miktarlarına bağlı olarak elde edilebilecek metan değerleri dikkate alınmıştır.

Araştırma Bulguları Bölümünde; günlük taze organik atık miktarları, kullanılabilir atık miktarı ve atıkların katı madde oranları kullanılarak atıklardan elde edilebilecek katı atık miktarları hesaplanarak organik atıkların biyogaz potansiyel değerleri ve eşdeğer enerji karşılıkları verilmiştir.

Sonuç ve Öneriler Bölümünde; Atıkların biyogaz verimliliğinde ve biyogaz teknolojisinin sağlayacağı faydalardan söz edilmiştir.

### **1.1 Organik Katı Atıklar**

Biyogaz elde edilmesinde kullanılan biyokütle; hayvansal gübreler, organik atıklar ve endüstriyel atıklar olarak üç başlık altında incelenebilir:

#### **Hayvansal atıklar**

- Tavuk gübreleri,
- Büyükbaş hayvan gübreleri,
- Küçükbaş hayvan gübresi.

#### **Bitkisel atıklar**

- Yeşil atıklar,
- Yemek atıkları,

#### **Endüstriyel atıklar**

- Meyve suyu fabrikasından elde edilen atıklar,
- Gıda sektörü atıkları,
- Sebze, orman, deri, tekstil tahıl, meyve, yağ, şeker ve gıda endüstrisinden elde edilen atıklar,
- Atık su arıtma tesisi atıkları,
- Peynir altı suyu.

Çizelge 1.1’de çeşitli biyokütleden elde edilebilecek biyogaz aminoasitlere dönüşür. Sonraki aşamada asit oluşturucu verimi ve gazdaki metan miktarı verilmektedir [19].

Çeşitli atıklardan metan eldesi Çizelge 1.1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Çeşitli atıklardan metan eldesi [19].

Materyal	KM [%]	OKM [km'de %]	Biyogaz verimi [Nm <sup>3</sup> /t Substrat]	Metan verimi [Nm <sup>3</sup> /t Substrat]
Tahıl şilempesi	6	94	39	22
Patates şilempesi	6	85	34	18
Meyve şilempesi	2.5	95	15	9
Şekerpancarı dilimleri	24	95	68	49
Melas	85	87.5	315	229
Elma tortusu	35	87.5	148	100
Üzüm posası	45	85	260	176

## 1.2 Anaerobik Parçalanma

Mikroorganizmalar tarafından organik kökenli materyalden anaerobik ortamda başka ürün ve diğer ürünlere dönüşmesidir.

Anaerobik işlemler, yüksek oranda kirlenmiş atık su arıtımı esnasında ve biyokütleden enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde daha çok enerji üretiminde fosil yakıtları kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkeler ise enerji ihtiyacının büyük bir kısmını merkezi biyogaz tesislerinde organik atıkları fermente ederek sağlamaktadır. Anaerobik arıtmada metan gazı oluşum süreci Çizelge 1.2'de verilmiştir.



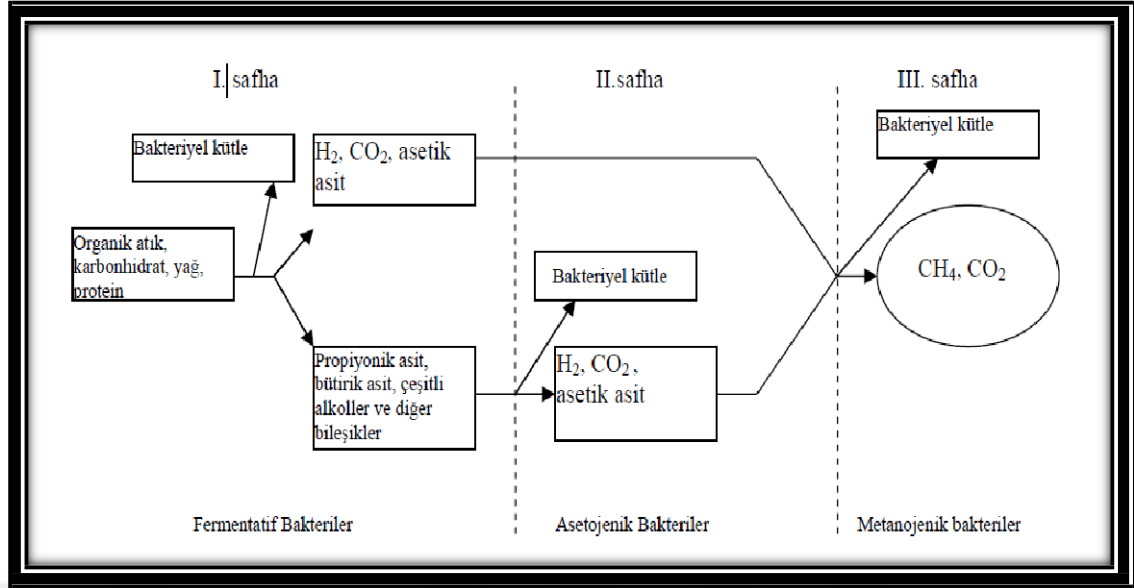
**Çizelge 1.2.** Anaerobik arıtmada metan gazı oluşum süreci [22,33,24].

<b>Reaksiyona giren ürünler</b>	<b>Mikroorganizmalar</b>	<b>Reaksiyon sonucu oluşan ürünler</b>
Proteinler Yağlar Nişasta Selüloz	Hidrolizi gerçekleştiren mikro organizmalar	Aminoasitler Yağ asitleri, Gliserin Glükoz Dextroz
Karbonhidratlar Aminoasitler Yağ asitleri Alkoller	Asit oluşturan mikroorganizmalar	Valerik asit Bütirik asit Propiyonik asit Laktik asit Etanol
Valerik asit Bütirik asit Propiyonik asit Laktik asit Etanol	Asetik asit oluşturan mikroorganizmalar	Asetik asit CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Asetik asit Organik asitler Alkoller Karbondiyoksit Hidojen	Metan oluşturan mikroorganizmalar	CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>

Anaerobik parçalanma sonucunda metan gazı elde edilir [33].

### 1.2.1 Anaerobik işlemin aşamaları

Üç aşamadan gerçekleşen anaerobik arıtmanın temel başlıkları; Hidroliz, asit oluşum ve metan oluşum aşamalarıdır. Şekil 1.1.'de biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki aşamalar ve mikroorganizma grupları verilmiştir.



Şekil 1.1. Anaerobik çürümenin safhaları [30].

### 1.2.1.1 Hidroliz basamağı

Büyük moleküllü organik maddelerin küçük moleküllü organik maddelere dönüşümünü hücre dışı enzimler sağlarlar. Bu aşamada asıl olarak hücrelerin dış enzimleri tarafından gerçekleştirilir.

Hidroliz aşaması hücre dışı enzimlerin gerçekleştirdiği bir aşama olduğundan enzimlerin çalışma şartlarını etkileyen durumlar hidroliz aşamasının hızını etkiler. Hidroliz aşamasının hızını etkileyen faktörler ortam pH'ı, sıcaklığı ve en önemlisi hidrolik bekleme süresidir. Hidrolik bekleme az bir süre olduğunda organik maddeler tam olarak hidroliz olamaz. Bu nedenle bir sonraki aşamada asit bakterilerinin uçucu asitlere dönüştürmek üzere ihtiyaç duyduğu organik maddelerin miktarı yetersiz olur. Bu da tüm süreci yavaşlatarak daha az organik madde arıtımına ve daha az metan gazı üretimine neden olur. Bu aşama anaerobik sistemlerde kısıtlayıcı bir aşama değildir. Fakat aşamanın yavaş olması ve buna bağlı olarak organik maddelerin yavaş arıtılması anaerobik arıtma proseslerinde sınırlayıcı aşama olabilir.

### 1.2.1.2 Asit üretimi

Bu aşamada hidroliz ürünleri asetik asit veya reaktördeki işletim şartlarının kararlı olmaması halinde ise propiyonik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürülür. Kararlı havasız süreçlerde yağ asitleri konsantrasyonu düşük seviyelerde bulunur (100-300 mg/L). İşletmeye alma

safhasında ise uçucu asit konsantrasyonunun 1000-1500 mg /L'yi geçmemesi istenir. Bu aşamada iki ayrı asit grubu görev yapar. İlk grup organik maddeyi belli bir seviyeye kadar oksitler, elde ettiği enerjiyi yaşamak ve çoğalmak için kullanır, ikinci grup organik maddeyi bu aşamadan alarak asetik asit, karbondioksit ve hidrojene oksitler.

### **1.2.1.3 Metan üretimi**

Metan üretim aşaması yavaş bir süreçtir. Bu nedenden dolayı genellikle anaerobik arıtmada hız sınırlayıcı aşama olarak kabul edilir. Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya CO<sub>2</sub> ile H<sub>2</sub>'nin sentezi sonucunda üretilir. Anaerobik reaktörlerde meydana gelen CH<sub>4</sub>'ün ortalama %30'u H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den metan üreten bakteriler, asetik asit kullanan bakterilere oranla daha hızlı çoğalmaktadırlar. Bun durumdan dolayı ortamda yeteri kadar H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> olduğu ve H<sub>2</sub> kısmi basıncı da uygun olduğu sürece CH<sub>4</sub> üretimi devam eder. Metan bakterileri fizyolojik yapıları gereği pH=6.7-8.0 aralığında en maksimum faaliyeti gösterirler. Topluca metan bakterilerinin kullanabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlı olup bunlar asetik asit, H<sub>2</sub> ve tek karbonlu bileşiklerdir.

## **1.2.2 Anaerobik parçalanmayı etkileyen faktörler**

### **1.2.2.1 Reaktör sıcaklığı**

Çok yüksek ve çok düşük sıcaklık şartlarında Metanojenik bakteriler aktif olamazlar. Mikroorganizmaların gelişmesi ve Biyokimyasal reaksiyonlar sıcaklık artışı ile artar. Metan oluşumunda rol alan bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar [38].

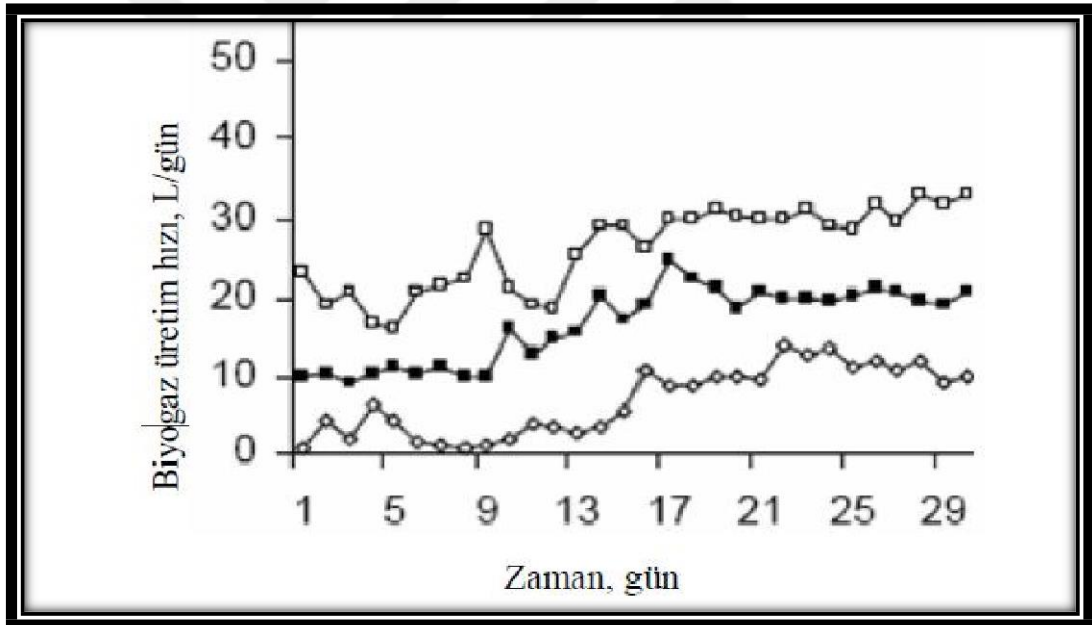
Anaerobik reaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında aşağıda belirtilen sıcaklık aralıkları korunmalıdır. Bunlar:

- Psikofilik sıcaklık aralığı : 5-25 °C,
- Mezofilik sıcaklık aralığı : 25-38 °C
- Termofilik sıcaklık aralığı 50-60 °C

Mikroorganizmaların yapılarına uygun olan sıcaklık seviyesinde optimum büyüme sağlarlar. Anaerobik reaksiyonlarda metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar. Biyokimyasal reaksiyonların hızı termofilik sıcaklık şartlarında daha hızlı gerçekleşir.

Bu durumdan dolayı reaktör hacmi mezofilik şartlara göre daha küçüktür. Termofilik sıcaklık şartlarında reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşeceği için mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha fazla miktarda organik madde yüklemesi yapılabilir. Sistemin termofilik şartları yakalaması için ek olarak ısıya ihtiyacı vardır. Fakat Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarının sıcaklık artışı ile doğru orantılı bir artış gösterdiğini unutmamalıyız. Bu durum biyoreaktör verimini olumsuz yönde etkileyebilir [38].

Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C'nin üzerinde olduğu zaman performansın daha yüksek olması sağlanabilir. Sıcaklığı 22 °C'nin altına düştüğü zaman biyogaz üretimi düşer. Bu sıcaklıkta şartlarında biyogaz tesisinin işletilmesi hiç ekonomik değildir. Çevre sıcaklığı 10 °C'nin altına düştüğünde gaz üretimi durur. Sıcaklık koşullarının biyogaz üzerinde olumsuz etkisi Şekil 1.2'de verilmiştir.



**Şekil 1.2.** Psikofilik (◇), mezofilik (■), termofilik (□) sıcaklık koşullarının biyogaz üzerinde etkisi [7].

Sıcaklığın biyoreaktörlerde ani olarak değişmesi bakterilerin faaliyetleri üzerinde olumsuz yönde etki yapar. Bu durum biyokimyasal reaksiyonu yavaşlatır. Biyogaz elektrik enerjisi üretim tesislerinde yan ürün olarak çıkan ısıdan faydalanılarak reaktörün sıcaklığı sabit tutulabilir [39].

Yer altında kurulu olan biyoreaktörlerde zaman diliminden oluşan sıcaklık dalgalanması büyük ölçüde önlenir. Kısa süreli sıcaklık değişikliğine karşı mikroorganizmalar dayanıklıdırlar. Tesisler yerden bir metre derinliğe kurulması sıcaklık farkını büyük ölçüde önleyecektir. Küçük reaktörler büyük bir kısmı mezofilik şartlarda çalıştırılmaktadır. Buradaki optimum sıcaklık 35 °C'dir [39].

Anaerobik çürütücünün optimum işletme sıcaklığı tank içine yerleştirilen ısıtma sistemleri ile sağlanabilir. Çürütücü sıcaklığı sağlamak için tesiste üretilen biyogazdan ve güneş enerjisinden faydalanılabilir. Ayrıca tesisin izolasyonun sağlayacak yöntemler de kullanılabilir. Isı izolasyonu çürütücüler için iyi bir şekilde yapılmalıdır.

### **1.2.2.2 Hidrolik bekleme süresi**

Gübre içindeki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz elde edilmesi için gereken bekleme süresine Hidrolik bekleme süresi(HBS) denir [39].

Bazı organik maddelerin reaktör içindeki tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmalar başlar. Tercih ettiğimiz bekleme süresi içinde biyokütlenin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği kabul edilir. Biyogaz tesisleri için belirlenen hidrolik bekleme süresi işletme sıcaklığına bağlı olarak 20 ile 120 gün arasında değişir. Sıcak iklimin yer aldığı bölgelerde HBS 40-50 gündür. Soğuk bölgelerinde bu süre yaklaşık olarak 100 gündür.

Bakterilerin sürekli beslemeli sistemlerde reaktörlerden kaçmasını önlemek için HBS daha uzun seçilir. Çürütülecek malzemeye bağlı olarak HBS düşürülür. Hayvan gübresi daha fazla miktarda selüloz içerdiğinden dolayı HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar içerikli atıklar daha zor hidrolize olurlar. Hidrolik bekleme süresi yeterli olmaması biyogaz üretiminin düşmesine neden olur ve fermentasyon tamamlanamaz. Bu olumsuzluk tarımsal ürünlerin olduğu biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Reaktör sıcaklığı ile hidrolik bekleme süresi ters orantılıdır yani sıcaklık arttıkça hidrolik bekleme süresi azalır. biyokimyasal reaksiyonlar yüksek sıcaklığın yer aldığı

bir reaktörde kısa sürede gerçekleşir. Bu sebepten dolayı hidrolik bekleme süresini belirlerken uygulanacak sıcaklık kriterine göre seçmek oldukça önemlidir [38].

### **1.2.2.3 pH etkisi**

Mikroorganizmalar, büyüyecekleri farklı pH değerlerine ihtiyaç duyarlar. Misal hidrolize eden ve asit üreten bakteriler için pH optimum düzeyi 5.2 ile 6.3 arasında olmalıdır. Fakat bu değerlere çoğu bakterinin bağlı kalmak zorunda olmayıp, az daha yüksek pH değerlerinde de materyalleri dönüştürebilirler ve faaliyetleri bundan ötürü biraz azalır. Bu durumun aksine Asetik asit oluşturan bakteriler ve metanojenik arkeler mutlaka 6.5 ila 8 arasındaki nötral alanda bulunan bir pH değerine ihtiyaç duyarlar. Fermantasyon prosesi sadece bir fermentörde gerçekleşiyorsa, buna uygun olarak pH alanına uyulması gerekir [19].

### **1.2.2.4 C/N oranı**

Biyogaz enerjisi üretilen biyokütlelerin tümü belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddeden enerji elde edilmesi için içindeki karbon gereklidir. Enerji üretimi için en önemli besi maddesi karbon, azot ve fosfordur.

Parçalanmanın verimli olabilmesi için azot, fosfor ve iz elementlere ihtiyaç vardır. En iyi C/N/P oranı 100/28/6'dır [6].

Anaerobik çürütme prosesinde karbon ve azot oranı performansın anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Mikroorganizmaların faaliyetlerini yerine getirebilmesi için karbon besi kaynağını oluşturur azot ise mikroorganizmaların büyüme ve çoğalma hızını çoğaltır. Sınırlı sayıda olan karbon mikroorganizma miktarını azalır ve karbonun ayrışması oldukça uzun bir süreç alır. Reaktörde yer alan bakteriler karbonu azota göre 30–35 kat daha fazla parçalarlar. Siste içerisinde yer alan materyalde karbon azot oranı 30/1'dir [21].

Biyogaz üretiminde kullanılacak olan biyokütle içerisinde azot olmasının yararı aminoasitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlaması ve amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önlemesidir. Sistem içerisindeki pH şartlarının sağlanması metan oluşturucu

bakterilerin büyümesi için uygun oldukça önemlidir. Bakterilerin metabolik işlemlerini gerçekleştirebilmeleri için C/N oranı için uygun olmalıdır olmaması durumunda proses verimi düşmektedir. Biyokütlede optimim çürümenin gerçekleşmesi için C/N oranı 23/1'den büyük olmaması gereklidir eğer bu oran 10/1'den küçük ise mikroorganizma büyümesini engellemektedir.

#### **1.2.2.5 Toksikite**

Bakterilerin büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Proses verimi yavaşlamış ve durmuş ise bu durumun birçok nedeni olabilir. Bu durumun bir kısmı işletimsel hatalar olabilirken diğer yandan sistem içerisine zararlı maddelerin girişi prosesi yavaşlatabilmektedir. Bu zararlı maddeler az miktarda olsa bile belirli sistem koşulların prosesi durduran maddelerdir. Fermantöre giren ürün için zararlı maddelerin ayrımlarının iyi yapılması gerekir. Her bir ürün içeriği bakteriler üzerine olumsuz etki yapabilir. Bu ürünler ağırlıklı olarak antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar veya ağır metaller gibi, çok düşük miktarlarda bile bozunma prosesini durdurabilecek ve engelleyecek bileşenler için geçerlidir.

Zararlı ürünlerden grubunda yer alan antibiyotik sisteme hayvan gübresi ve hayvani yağlar yoluyla giriş yapar. Her antibiyotiğin zararlı etkisi çok farklıdır. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir Sistem içerisinde yüksek konsantrasyonlarda esansiyel mikro elementler de mikroorganizmalar için toksik etkiye sebep olabilir. Bu tür maddelere belli bir ölçüde uyum sağlayan mikroorganizmalar için, bir maddenin hangi konsantrasyondan itibaren zarar vermeye başlayacağını tespit etmek çok zordur. Eser miktarda mineral iyonlar bakterilerin büyümesini sağlarken ağır metaller toksik etki yaparlar. Ayrıca bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken, yüksek miktarlarda zararlı etki yaparlar.

#### **1.2.2.6 Alkalinite**

CO<sub>2</sub> muhtevası fazla olduğu anaerobik arıtmada üretilen biyogazdaki pH'ı nötr seviyesinde tutmak için gereken alkalinite miktarı 1000 – 4000 mg/L civarındadır. Atıksularda alkalinite değeri nadiren yeterli miktarda olur. Bu nedenle atıksuya ilave alkalinite vermek gerekir ki bu da ilave bir masraftır.

Anaerobik sistemlerde alkalinite ihtiyacını azaltmak üzere:

- Geri Devri yapılan arıtılmış su,
- Üretilen biyogazın bünyesindeki CO<sub>2</sub>' in alkali sıvı çözeltilerde absorblandıktan sonra reaktör tabanından geri beslenmesi,
- Termofilik şartlarda işletme [19].

### 1.2.2.7 Nütrientler ve uçucu asitler

Sisteme arıtılmak için beslenen atığın KOİ/N/P bakımından dengeli olması çok önemlidir. Eğer sistem içerisinde böyle bir denge yoksa üre, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> veya amonyum gibi bazı kimyasal madde ilavesi ile denge sağlanmalıdır. Biyokütle oluşumunun hızlı olduğu işletmeye alma dönemlerinde KOİ/N/P oranı 300/5/1~500/5/1 aralığında tutulur. Kararlı işletme hallerinde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir.

Anaerobik arıtma şartı için N ve P gibi makro nütrientler yanında Na, K, Mg, Fe, Ni, Co, Se gibi iz elementlerinin için gerekli olduğu tespit edilmiştir. Özellikle diğer çevre şartları optimum olduğu halde yeterli düşük miktarda KOİ giderimi nedeni iz elementlerin eksikliği nedeni ile olabilir. Böyle bir durumda Fe, Co ve Ni gibi üç önemli iz elementinin reaktörde 0,1 mg/L elde edilecek miktarda özel bir formül halinde dozlanması gerekir [11].

Bazı iz elementlerin anaerobik arıtmada istenen miktarları Çizelge 1.3'de verilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Anaerobik arıtmada bazı iz elementlerin istenen konsantrasyonları [11].

İz Elementler	Reaktördeki Konsantrasyonları(mg/L)
S	4
Ca	3
Mg	3
Fe	0,5
Ni	< 0,01
K	555
Zn	0,05

Anaerobik reaktörlerde UA birikiminin muhtemel sebepleri aşağıda izah edilmiştir:

- İz elementi eksik olması,



- Zehirlilik etkisi,
- Fazla organik madde yükleme,
- Hidrolik kısa devre,
- N veya P miktarlarının yetersizliği,
- H<sub>2</sub> kısmi basıncının yüksek olması.

Daha önce de ifade edildiği gibi anaerobik arıtmada asetik asitin parçalanması sonucu CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'nin sentezi sonucunda CH<sub>4</sub> üretilmiş olur. Sistem şartları uygun iken basit organik maddelerin büyük çoğunluğu direkt olarak asetik asit, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'ye dönüşür. Ancak özellikle metan bakterilerinin çalışmasında bir aksama olduğunda basit organik maddeler asetik asit yerine propiyonat ve bütirat gibi daha kompleks uçucu asitlere dönüşür. Oluşan uçucu asitlerin metan bakterileri tarafından metana dönüşüm oranı daha düşüktür. Bu durumdan dolayı arıtma çıkışında su içerisinde metana dönüşemeyen asitler bulunur.

Aynı zamandan sisteme fazla organik madde yüklemesi olduğu durumda bakteriler asetik asiti de yeteri kadar parçalayamazlar. Dolayısıyla parçalanamayan asitler çıkış suyunda uçucu yağ asiti miktarını artırır. UA konsantrasyonunun artması pH'ın azalmasına neden olur. Bu durum ise sistem içerisinde çalışma gösteren metan bakterileri için olumsuz etki yapar. pH düşüşü sürekli devam gösterirse metanojenik faaliyet tamamen durur. Sistem içerisinde oluşturabileceği olumsuz durumlardan dolayı anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu yağ asiti konsantrasyonu, sürekli izlenmesi gereken çok önemli bir parametredir. Uçucu yağ asiti konsantrasyonu arttığında pH'ın düşüşünü engellemek için alkalinitenin artırılması ve yağ asiti konsantrasyonundaki bu artışın nedenlerinin araştırılması gerekli olup oldukça önemli bir işletme problemidir. Bu durum da etkili olmadığında organik yük azaltılır hatta gerektiğinde durdurulur. Anaerobik sistemlerde uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının 1000-1500 mg/L'yi aşması önemli problemlerin başladığını göstermektedir. Düşük alkalinite değerlerinde Uçucu yağ asidi daha tehlikeli olmaktadır.

Herhangi bir problemle karşılaşmamak için uçucu yağ asidi konsantrasyonları incelenirken, alkalinite değerleri de dikkate alınır ve uçucu yağ asidik/alkalinite oranına göre de yorum yapılır. Emniyetli bir işletme için mümkünse yükleme stratejisi, TUA/Alkalinite oranı 0,1'i geçmeyecek şekilde ayarlanmalıdır. TUA/TA oranı 0,3'e

yaklaştığında durumun sebebi araştırılmalı ve gerekli kontrol önlemleri alınmalıdır [19].

### **1.2.3 Anaerobik parçalanmanın mikrobiyolojisi**

Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki temel mikroorganizma grupları şunlardır.

1. Hidrojen kullanan metan bakterileri,
2. Asetat kullanan metan bakterileri,
3. Homoasetojen bakteriler,
4. Asit üreten bakteriler ve
5. Hidrolitik-asit bakterileridir.

Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakteriler dönüştürdükleri maddelere göre aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

Gruplarda görüldüğü gibi her madde, o maddeyi parçalayabilen mikroorganizmalar tarafından parçalanabilmektedir [23].

### **1.2.4 Katı atıklar için anaerobik parçalanma sistemleri**

Katı atıkların arıtımı için en yaygın olan anaerobik çürütücüler, biyolojik, teknik performansı ve dayanıklılığına dayanılarak karşılaştırılır. Anaerobik çürütücüler;

- Sürekli ve kesik besleme
- Sürekli yüklemeli sistem
- Depolamalı-akışlı yöntemi
- Kesik besleme (Batch –Beklemeli sistem)

Reaktör tasarımının yapılması, karar verilmesi ve yenilenmesi biyolojik, teknik, ekonomik ve çevresel bakış açısına bağlıdır.

#### **1.2.4.1 Sürekli ve kesik besleme**

Biyokütle ihtiyacının sürekli ve kesik besleme ile karşılanmasında sürekli yüklemeli yöntem ile depolamalı akışlı yöntem söz konusudur. Birçok kaynakta halen kısmen anılan beklemeli yöntem burada ele alınmayacaktır, çünkü bu yöntem ekonomik ve

teknik nedenlerden ötürü pratikte yok denecek kadar az uygulanmaktadır. Sürekli besleme yönteminin aksine, kesikli besleme yönteminde fermentöre günde en az bir kez taze malzeme şarjı yapılmaktadır. Günde birkaç kez küçük miktarlarda malzeme şarjının daha avantajlı olduğu görülmüştü [19].

#### **1.2.4.2 Sürekli yüklemeli sistem**

Birçok biyogaz tesisi geçmiş yıllarda sürekli yükleme sistemiyle çalışacak şekilde tasarlanarak kuruluyordu. Bu sistemde dengeleme tankına beslenen malzeme anaerobik faaliyetin gerçekleşeceği fermentöre günde birkaç kere pompalanır. Pompalanan taze malzeme miktarı ile aynı miktarda malzeme fermentasyon atığı deposuna aktarılır. Aktarım işlemi yeni yüklenen malzemenin basınç etkisiyle gerçekleşir, ya da bir pompa düzeneği aracılığı ile fermentörden alınır. Fermentör tankı bu sistem ile daima doludur. Herhangi bir bakım ve tamirat çalışmaları için boşaltılır. Bu yöntem dengeli bir gaz üretimini ve fermentörden optimum gaz üretimi konusunda faydalanmayı sağlar. Fakat fermentörde bypass akımı, yani yeni ilave edilen malzemenin derhal yeniden tankı terk etme tehlikesi söz konusudur [19].

#### **1.2.4.3 Depolamalı-akışlı yöntemi**

Depolamalı-akışlı sistemine göre çalışan biyogaz tesislerinde fermentasyon artığı deposunun üzeri diğerlerinde olduğu gibi örtülüdür. Bu şekilde biyogaz oluşmakta ve değerlendirilmektedir. Yani fermentasyon artığı deposu bir tür “depolama tesisi” görevi görmektedir. Bu sistemin önünde fermente atığına ihtiyaç olması halinde akış fermentörü devreye sokulmuştur. Akış fermentöründen ihtiyaç halinde materyal alınabilir. Bu yöntem düzenli bir gaz üretimi sağlamaktadır. Hidrolik bekleme süresi tam olarak hesaplanamamıştır, çünkü akış fermentöründe bypas akımları söz konusu olabilir. Bu sistem teknolojinin son durumuna uygundur. Fermentasyon artığı deposunun üzerinin örtülmesiyle elde edilen gaz miktarı yatırım maliyetini kesin olarak karşılar [19].

#### **1.2.4.4 Kesik besleme (Batch –Beklemeli sistem)**

Kesik beslemeli sistemde fermentör tümüyle taze ürün ile doldurularak ağzı hava almayacak şekilde kapatılır. Fermentör tankına beslenen ürün belirlenen hidrolik

bekleme süresi sonuna kadar tank içerisinde kalır. Tank içerisinde yer alan materyal içerisine ekleme yapmaya gerek yoktur. Hidrolik bekleme süresinin tamamlanması ile birlikte gazı alınmış olan ürün boşaltılarak yerine taze ürün doldurulur. Bu sırada bozunmuş materyalin küçük bir kısmı yeni ilave edilen malzemenin aşılmasını için tankta bırakılabilir. Kesik besleme kabının hızlı bir şekilde doldurulması ve boşaltılması için, ilave taze malzeme ve depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Zamana bağlı olarak beklemeli sistemde gaz üretim miktarı değişmektedir. Örneğin materyal ilk doluş aşamasında gaz üretimi yavaşça artmaktadır bir süre sonra üretim değeri azami seviyeye ulaşır, sonra da sürekli olarak düşer.

Bu durumdan dolayı tek bir fermentörde sabit bir gaz üretim ve kalitesi söz konusu değildir. Tam tersi olarak birden fazla fermentörün değişik zamanlarda doldurulmasıyla dengelenmelidir. Bu sayede asgari bekleme süresine tam olarak uyulabilir [19].

### **1.2.5 Anaeroik işlemin avantajları ve dezavantajları**

Oksijenli ve oksijensiz sistemleri karşılaştırdığımız zaman, anaerobik sistemlerin düşük enerji gereksinimi, kullanılabilir ürünler ve düşük atık miktarı avantaj olarak görülmektedir. Diğer avantajlar ise şunlardır:

- Proseste stabilizasyonun sağlanması,
- Biyokütle bertarafında daha düşük maliyet,
- Besi maddesi sağlamada daha düşük maliyet,
- Düşük hacimli inşaat alanı gereksinimi,
- Daha az işletme kontrolü,
- Düşük atık biyokütle üretimi,
- Azot ve fosfor ihtiyacının düşük olması,
- Reaktör hacminin fazla yer kaplamaması,
- Enerji tasarrufu sağlanması ve değerli kullanılabilir yan ürünler,
- Basit ve anlaşılır işletim süreci,
- Atık gaz arıtımı gereksiniminin azalması hatta tamamen yok olması,
- Köpüklenme problemleriyle neredeyse hiç karşılaşılması,
- Oksijenli sistemde giderilemeyen bazı maddelerin anaerobik arıtım ile giderimi,

- Düşük klorlu organik toksisite düzeyleri,
- Mevsimsel arıtım mümkündür.

Hava ve çevre koşullarında olumsuzlukta, sistemde biyokütle azalması gerçekleştiği takdirde sistemin tekrar eski haline dönmesi uzun bir zaman kaybına neden oluyor. Bu da arıtmada önemli bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Diğer dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

- HBS evresinin uzun sürmesi,
- Seyreltik atıksularda alkalinite yetersizliğinin fazla olması,
- Nitrifikasyonun mümkün olmaması,
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması,
- Biyokütlenin maksimum aktivitesi için daha fazla azot konsantrasyonunun olması,
- Metanojenlerin toksik maddelere, ısı, pH ve çevre şartlarına hassas duyarlılıkta olması,
- Oluşan gazın kontrol edilebilirliğinin mümkün olması,
- Biyokütle büyümesi ve gelişmesi için uzun süre gereksinimi,
- Bazı atıksular için yoğun alkalinite gereksinimi ihtiyacı olması,
- Yetersiz çıkış kalitesi yetersiz metan üretimi kaynaklı ısıtma gereksinimi koku problemidir.

### **1.3 Biyogaz**

Ana madde olarak karbondioksit ve metandan oluşan ve içeriğine bağlı olarak ayrıca amonyak, hidrojen, hidrojen sülfür, su buharı ve diğer gaz halindeki veya buharlaştırılabilir bileşenleri içerebilen, gaz halindeki fermantasyon ürünüdür. Aynı zamanda biyogaz üretimi için kurulan sistemlerde biyogaz üretimi sonrasında ortaya çıkan organik açıdan zengin gübre tarımsal arazilerde kullanılabilir.

#### **1.3.1 Biyogaz ve bileşimi**

Biyogaz, organik materyallerin anaerobik koşullarda biyokimyasal fermentasyonu ve mikrobiyolojik faaliyetler sonucu parçalanması ile elde edilen, havadan % 20 daha hafif olan yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz, % 40-70 CH<sub>4</sub>, % 60-30 CO<sub>2</sub> ve diğer

gazlardan ( $H_2S$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ) oluşmaktadır. İçerisinde bulunan metan, biyogazın yakıt olarak kullanılmasını sağlamaktadır [37].

Biyogazın diğer isimleri arasında global gaz, gübre gazı ve bataklık gazıda denilmektedir. Çizelge 1.4' de çeşitli yakıtların ısı değerleri verilmektedir.

**Çizelge 1.4.** Çeşitli yakıtların ısı değerleri [23].

Yakıt türü	Isıl Değeri	
	MJ/L	MJ/kg
Propan	25.5	50.2
Bütan	28.7	49.6
Gazolin	34.8	47.1
Doğalgaz (%99 $CH_4$ )	37.3*	52.0
Biyogaz (%65 $CH_4$ )	24*	33.5
Elektrik	3.6\$	

\*MJ/m<sup>3</sup> ; MJ/kW

Biyogaz, işletme ve konutlarda enerji ve yakıt olarak kullanılabilir [23].

### 1.3.2 Biyogazın kullanım yerleri

Biyogazın yemek pişirme ocaklarında ve aydınlanmada kullanımı çok kolay olup spesifik herhangi bir materyale ihtiyaçları bulunmamaktadır. Piyasada bulunan gaz ocakları ile lambalar ufak bir düzenleme ile rahat bir şekilde kullanılmak üzere değerlendirilebilirler. Örneğin 8 kişiden meydana gelen bir aile bu gaz ile her öğünde ocak kullanmak koşulu ile 1 gün karnını doyurabilir ya da bir gün boyunca buzdolaplarını bu enerjiyle çalıştırabilir. Son olarak ise aydınlatma maksatlı kullanılan ortalama bir lamba en az 3 saat boyunca yanabilecektir. 3 kwh gücünde bir jeneratör motorunun 1 saat çalıştırılması bu sayede mümkün olacaktır. Biyogaz doğalgazın eşdeğeri olarak doğalgazın kullanıldığı hemen her alanda çok rahatlıkla kullanılabilir. Biyogaz kullanımına aşağıdaki gibi bazı örnekler vermemiz mümkündür;

- Isınma ve ısıtma,
- Yakıt kullanarak ulaşım,
- Türbin sistemine beslenerek elektrik üretimi,
- Maliyetlerin düşürülmesi amacıyla mevcut doğalgaza katılması

- Kimyasalların üretiminde kullanımı.

Bunların dışında biyogaz çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden kullanımı oldukça önemlidir.

### 1.3.3 Biyogaz üretimin çevrecilik açısından önemi

Hayvanların besin olarak kullandıkları yem kaynakları, hayvansal atıklar ve çeşitli ürünlerin işlenmesiyle çevre üzerinde birtakım olumsuzluklara neden olurlar. Bu ürünleri iyi değerlendirmek, gerekli analizini ve ar-ge çalışmalarını yapıp bu ürünleri biyogaz üretiminde kullanmak hem enerji kazanımı sağlayacak hem de ister istemez atık oranını, çevre kirliliğini ve bunların zararlı etkilerini azaltmış olacaktır. Bu atıklar değerlendirilmemiş olsa onlarca gün etrafta kalacak; kokacak, böcek oluşturacak, böcek ve sineklere bağlı hastalıklar ortaya çıkacaktır. Bu ortamda oluşan bakteriler ve canlı kalma süreleri özetlenmiştir. Pis ortamda gelişen bazı hastalık etkeni mikroorganizmalar Çizelge 1.5’de verilmiştir.

**Çizelge 1.5.** Pis ortamda gelişen bazı hastalık etkeni mikroorganizmalar [12].

Etken	Ortam	Canlı Kalma Müddeti
Salmonella	Toprak	150 gün
Salmonella	Atık su	21-28 gün
S.enteridis	Toprak (yazın)	72 gün
S.Abortus bovis	Toprak	382 gün
S. typhi	Ev atık suları	11 gün
S. paratyphi B	Ev atık suları	11 gün
S. tphimurium	Kuru gübre	930 gün
Marek virüsü	Tavuk gübresi	7 gün
Gumboro	Tavuk gübresi	122 gün
M. tuberculosis	Mer’a otu	214 gün
Mide-barsak kurtlan	Silo yemi	80- 90 gün
Tenya	Katı gübre	10 gün

Biyogaz üretimi sırasında anaerobik bakterilerin fermantasyonu sonucunda CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S gazları oluşmaktadır. Ayrıca bu işlem sonucunda gübre içerisinde hastalığa neden olan mikroorganizmalarda kontrollü bir biçimde bertarafa uğramaktadır. Aynı zamanda gazı alınmış gübrede böcek ve sinek larvalarının canlı kalması fevkalade zorlaşmaktadır. Bu sebeple üretim aşamasında enerji kaynağı elde edilirken gübre içerisindeki istenmeyen mikroorganizmaların çevre için risk oluşturması engellenmiş

olmaktadır. Biyogaz sonucu oluşan gübrenin toprağa uygulanmasından sonra bitki besin değerlerinde % 20 oranında artış sağlanmaktadır. Sıvı gübreleme işlemi yapılırken rüzgar olmaması varsa bile yerleşim yerinin tersine olmasına dikkat edilmesi sağlıksal risklerin önüne geçmek için yerinde olacaktır.

#### **1.4 Biyogazın yararları**

Organik kökenli atık/atık maddelerden biyogaz elde edilmesi ve kullanımının yaygınlaşması hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir. Biyogaz kullanımı artıkça ekonomik ve çevresel olarak önemli gelişim sağlamaktadır.

##### **1.4.1 Ekonomik yararları**

Özellik gübre atıklarının bertarafı ve yenilenebilir enerji üretimiyle biyogaz ekonomik gelişme sağlayan en önemli yararlarından biridir. Biyogazın taşınmasının zor olması ve kurulumunun pahalı olması sebebiyle biyogaz dönüşüm birimlerinin ekili ve kırsal alanlara yakın yerlerde kurulması ilişkilidir. Türkiye’de oldukça fazla petrol harcamakta aynı zamanda çevre kirliliğine sebep olmaktayız. Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz kullanımını yaygınlaştırarak daha temiz bir çevre oluşturabilir ve sınırlı olan fosil yakıtların kullanımını yarıya indirebilir. Biyogaz tesislerin kurulması ve gelişmesi pek çok iş sahası oluşturacak ve istihdam yaratacaktır. Ayrıca endüstriyel anlamda gelişmemize de yardımcı olacaktır. Biyogaz ulusal enerji güvenliği ve temiz bir hava içinde oldukça faydalıdır. Yabancılardan sağladığımız petrol hem pahalı hem çevre kirliliği unsurudur. Deniz aşırı ülkelerden gönderilmekte

Olan petrolere de sınırlama gelecektir. Kendi enerjimizi kendimiz üreterek hem tüketimimize kendi ekonomimize güç katıp, ticari dengelerimizi geliştirebiliriz daha temiz bir çevrede yaşayabiliriz.

##### **1.4.2 Çevresel yararlar**

Ülkemizde her yıl milyarlarca liralık yakıt kullanılmaktadır. Bu durum hem ekonomik krize hem de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Biyogaz projeleri çevresel olarak;



- İklim değışikliği, su kirliliği, toprak erozyonu, asit yağmurları gibi konuların azalmasını sağlamaktadır.
- Çöp depolama alanlarında basınç sıkışıklığını azaltır.
- Doğal yaşam alanların korunmasında yardımcı olur.

### **1.4.3 İklim değışikliği**

Dünyanın en önemli çevre problemlerinden birisi iklim değışikliğidir. Birçok İnsan ve sanayi faaliyeti nedeniyle fosil yakıtları tüketiyoruz. fosil yakıtların tüketimi esnasında atmosfere yüz milyonlarca atık salınmaktadır. Atmosfere salınan atık gaz GHG' ları CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> gibi gazları içerir ve bu gazların atmosfere salınımı biyosfer tabakasının bozulmasına yol açmaktadır.

Yenilenebilir enerji olan biyogaz enerjisinin kullanımı yaygınlaşarak çevresel zararlı etkilerin azalması sağlayabilmektedir. Metan ve karbondioksit ikisi önemli çevre problemlere neden olabilmektedir. Atık depolama alanlarında metan tutulup elektrik enerji üretilerek, atık sular ıslah edilerek, metanın atmosfere verilmesi önlenir. Metan gazından elektrik üretimi metan gazının güç aktaran motorlara aktarılması aracılığıyla oluşmaktadır.

### **1.4.4 Asit yağmurları**

Asit yağmurlarına yanma sonucu ortama yayılan sülfür ve nitrojen oksitler neden olmaktadır. Asit yağmurları tüm canlı ve cansız yaşamını etkilemektedir. Biyogazın sülfür içermediğinden dolayı ve ayrıca kömürle kolay karıştığından sebep asit yağmurlarını azaltıcı bir etkisi de söz konusudur.

### **1.4.5 Toprak erozyonu ve su kirliliği**

Çevre kirliliğinin azalması biyogaz kullanımı ve yaygınlaşması sayesinde olacaktır. Enerji üretimi sulak alanlarda, tarıma elverişli olmayan alanlarda yapılmalıdır. Biyogaz yaygınlaşması bu durumlarda, üretim, toprak erozyonu ve su ile sürüklenmeyi azaltarak toprağı stabilize etmektedir. Bu sayede doğadaki su sistemi ve ekosistem korunarak besin kaybı azalmaktadır. Biyogaz enerjisinin hayvan çiftliklerinden gelen sularda CH<sub>4</sub> tutularak su kirliliği ve hava kirliliğinin azaltılmasıdır.

#### **1.4.6 Depolama hacmini azaltma**

Enerji veya biyogaz eldesi için her yıl milyonlarca ton tarımsal atık kullanılmaktadır. Bu kaynakların eğer uygun ve düzenli kullanılırsa depolama alanlarında uygun boş alanların oluşması aşıkardır. Atıkların biyogaz enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerle dağ gibi atık toplama alanları oluşmayacak ve çevreye verilecek olan atık hacmi oldukça azalacaktır.

#### **1.5 Biyogazın Ülke Ekonomisine Katkısı**

Türkiye’de her yıl ortalama tezek olarak yakılan hayvan gübresi miktarı 20 milyon tondur. Yakılma sonucu hem doğa kirliliği ve hem de karbon salınımının artmasına sebep olan bu işlem yerine bu miktar biyogaz üretiminde kullanılsa ve oluşan gübre tarım alanlarında değerlendirilse çok daha faydalı bir iş yapmış oluruz. Hem ülke ekonomisi ve tarımcılığı gelişir hem de çevre kirliliği önlenmiş olunur. Bu sayede iklim değişikliğinin yanı sıra ülke ekonomisine de ciddi bir girdi sağlanmış olur.

Özellikle küçük yerleşim yerleri ve çiftliklerin elektrik ihtiyacını karşılamakta biyogaz enerjisi önemli bir değer olarak görülmektedir. Ekonominin kırsal bölgelerde gelişmesinin en önemli etkenlerinden biri olan biyogazdır.

Biyogaz, içerisindeki metan oranına göre ortalama 4700-6000 kilokalori kadardır. Isınma, su ısıtılması ve aydınlatma gibi amaçlarla kolaylıkla kullanılabilen temel enerji kaynaklarına alternatif bir enerji kaynağı olarak niteleniyor [39].

Gaz üretimi sonucunda oluşan gazı alınmış fermente gübrenin başka bir değişle ile biyo gübrenin tarım alanlarında kullanılması halinde, verim yüzde 25 dolayında artış gösteriyor.

Avantajlarından bir tanesi de, üretimde kullanılan hayvan gübresinin kokusu bertaraf edilmiş oluyor. Bu sayede insanlar ve diğer canlılara da temiz ve sağlıklı bir çevre bırakılmış oluyor.

## **1.6 Yurt Ekonomisinde Ve Tarımında Biyogazın Önemi Ve Biyogaz Potansiyeli**

Ülke nüfusumuz her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla ülke insanının genel olarak beslenebilmesi, sağlıklı bir yaşama kavuşturulması, temiz, sağlıklı ve huzurlu bir çevrede yaşaması gelişmekte olan ülkemizin en başta gelen sorunlarından.

Bu sebeple ülkemiz zirai üretimi ve hayvancılık işletmelerini artırarak biyogaz tesislerine hammadde miktarı sağlamalıdır. Biyogaz hem çevre kirliliğinin önüne geçecek hem fermantasyon sonucu oluşan metan elektrik enerjisine, ısı enerji olarak ekonomimize geri kazandırılacaktır. Anaerobik fermantasyon sonucunda gazı alınmış ürün ise analiz sonuçlarına göre katı ve sıvı gübre olarak tarımda kullanılacaktır. Zira ülkemizde yer alan tarla arazisinin daha fazla genişlemesi mümkün değildir. Bu nedenle birim alandan fazla ürün alabilmek için başvurulacak tedbirlerden biriside biyogaz sonucunda oluşan organik gübredir.

Anadolu olarak tabir edilen ülkemiz toprakları genellikle bitki besin maddesi ve organik maddece zengin değildir. Bu durumun düzeltilmesi için için biyogaz tesislerinin yaygınlaşması gerekmektedir. Ayrıca biyogaz tesislerinde fermantasyon sonucunda gazı alınmış organik içerikli ürün sıvı ve katı formda gübre olarak tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Tarımsal amaçlı toprağa uygulanan gübre oluşacak ürün verimliliği ekonomimize katkı sağlamaktadır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez konusuyla ilgili olarak biyogaz potansiyeli konusunda yapılan çalışmalar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir [40].

Trakya Bölgesi'nde biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında Devlet İstatistik Enstitüsü, Tarım İl Müdürlükleri ve Meteoroloji Müdürlüklerinin verilerini kullanmışlardır. Bu veriler çerçevesinde Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerine ait işletme sayılarını ve büyüklerini, hayvan sayılarını, yıllık tahmini gübre üretim miktarını, yıllık tahmini biyogaz üretim miktarını ve enerji değerini belirlemişlerdir [2].

Elazığ ilininin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi üzerine çalışmışlardır. Elazığ ilini 3 alt bölgeye ayırarak bu bölgelerdeki 1990 ve 2000 yılları arası hayvan sayılarını ve bitkisel üretim miktarlarını belirlemişlerdir. Bu istatistiki verileri kullanarak elde edilebilecek yaş ve kuru gübre miktarlarını, biyogaz üretim miktarlarını, elde edilebilecek enerji miktarını ve ekonomik değerini belirlemişlerdir [32].

Tayland'ın kırsal kesimlerinde sık kullanılan küçük biyogaz tesislerinde elde edilen metanın yeterli kullanılmamasından kaynaklanan sorunları çözmek amacıyla "biyogaz havuzu projesi" ile hem bu sorunları çözmek için hemde köylerdeki biyogaz potansiyelini çıkararak kurulacak tesis maliyeti üzerine çalışmıştır [26].

Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Türkiye'nin büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının yıllık elde edilebilecek atık miktarlarını belirlemişlerdir.

Üreteç sıcaklığı esas alınarak elde edilebilecek biyogaz miktarını belirlemişlerdir. Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 15 ilin Biyokütle potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Biyokütle oluşumu, biyokütle kaynakları ve özellikleri ortaya koyarak biyokütle teknolojisinin bu bölgede kullanılabilirliğini belirlemişlerdir. Ayrıca 15 ilin ekili alanlarını dikkate alarak biyokütle potansiyeli ve eşdeğer enerji tahmini yapmışlardır [25].

Rusya’da üretilen atıkların biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. Bu çerçevede Rusya’daki toplam domuz, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları sayısını belirledikten sonra toplam atık miktarı ve biyogaz üretim potansiyelini hesaplamıştır. Bunun yanında tarımsal sanayi atıkları da hesaplanarak yıllık atık, metan ve gübre potansiyelini hesaplanmıştır. Ayrıca belediye katı atıkları, atık su çamuru, çöp depolama alanlarından da elde edilebilecek potansiyeli belirlenmiştir. Son olarak biyogaz tesislerinde kullanılabilir mikrobiyel yakıt hücrelerinin ülkedeki tesislerde uygulanabilirliğini araştırmıştır [4].

GAP bölgesi çiftlik atıklarından biyogaz üretme potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Türkiye’nin hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarını ve hayvansal kaynaklı enerji potansiyelini MTEP olarak belirlemişlerdir. GAP bölgesinin Master Planı ve TÜİK verileri esas alınarak 2003, 2004, 2005, 2006 yıllarına ait Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa ve Adıyaman illerine ait hayvan sayıları çıkarılarak bu hayvanlardan elde edilebilecek gübre ve biyogaz miktarını belirlemişlerdir. Bunun yanında ihtiyaç duyulan toplam tesis sayılarını da belirlemişlerdir [10].

Bulgaristan’ın biyogaz potansiyeli üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla mevcut biyogaz tesisleri, biyogaz üretim fırsatları, hammadde imkânları belirlenmiştir. Ülke hammadde imkanları çerçevesinde 7 bölgeye ayrıldıktan sonra literatür değerleri baz alınarak büyükbaş ve domuz işletmelerinin işletme büyüklükleri dikkate alınarak biyogaz üretim potansiyeli hesaplanmıştır [13].

Letonya’nın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla öncelikle Letonya’nın enerji kaynaklarının 2004, 2005 ve 2006 yılı değişimlerini belirlemiş, yapılmış ve yapımı planlanan biyogaz tesislerinin kullanılan hammaddeye göre tipleri, günlük üretilen biyogaz, elektrik ve gübre miktarlarını belirlemiştir. Letonya’nın atık toplama sistemleri ve toplanabilecek katı atık miktarlarını belirlemiştir. Bunun yanında organik atık potansiyelin belirlemeye çalışmıştır. Bu çerçevede organik atık sağlayabilecek et, süt, fırıncılık vb. endüstride faaliyet gösteren işletmelerin atık miktarları belirlenmiştir. Daha sonra büyükbaş ve domuz işletmelerinin büyüklük ve hayvan sayılarını belirlemiştir. Tarımsal ve diğer atıkların hesaplanması çerçevesinde de birincil ve ikincil üretim olarak ülkenin tarımsal atık, belediye atıkları, kanalizasyon atıkları, yiyecek endüstrisi atıkları, haritası çıkarılarak elde edilebilecek atık ve

biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Letonya'nın mevcut doğalgaz yapısı ortaya konarak biyogaz üretiminin çevreye, sosyal yapıya ve ekonomiye olan etkisi belirlemeye çalışmıştır [27].

Yunanistan'ın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. 2007 yılından bu yana 15 tesisle çöp alanlarından biyogaz üretimi gerçekleştirmekte olan Yunanistan'da ilk önce belediye atıkları, endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar olmak üzere atık potansiyelini çıkarmaya çalışmıştır. Tarımsal yapı çerçevesinde enerji ürünlerinin ve tarımsal atıkları ton olarak, çiftlik gübresi atıklarını m<sup>3</sup>/yıl, belediye ve kanalizasyon atıklarını ton olarak hesaplayarak ülkeyi 10 bölgeye ayırarak atık potansiyelinin haritasını çıkarmıştır. Bu elde edilen atık miktarları baz alınarak biyogaz potansiyeli ve eşdeğer enerji karşılığı hesaplamaya çalışmıştır [27].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2006 yılı verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının yıllık elde edilebilecek atık miktarlarını belirlemiştir. Kullanılabilir atık miktarlarını belirledikten sonra bir ton atıktan elde edilebilecek biyogaz miktarını ve eşdeğer enerji karşılığını belirlemiştir. Ayrıca Türkiye'nin illere göre hayvansal kaynaklı kullanılabilir atıklarının ve hayvansal kaynaklı atıkların enerji potansiyeli haritalarını da çıkarmışlardır. Bunun yanında büyükbaş hayvan gübresi ile çalışan bir biyogaz tesisinin teknik özelliklerinin yanında maliyet hesaplamasını yapmışlardır [9].

Brezilya'nın 281 745 km<sup>2</sup> alanına sahip Arjantin ve Uruguay ile sınır eyaleti olan Rio Grande do Sul'ün domuz çiftliklerinin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla Rio Grande do Sul eyaletinin genel ekonomisi, öncelikli enerji üretim kaynakları ve tüketimi ortaya konmuştur. 2003 yılından 2008 yılına kadar 84 olan hem eyaletin hem de Brezilya'nın hayvan sayıları tespit edilmiştir. Rio Grande do Sul eyaleti 27 mikro bölgeye ayrılarak bölgelerdeki hayvan sayısı ve yoğunluğu özellikle domuz çiftliklerinin yoğunluğu belirlenmiştir.

Bu belirlenen değerler ışığında literatür değerleri baz alınarak günlük ve yıllık toplam elde edilebilecek gübre miktarı, toplam katı madde miktarı, uçucu katı madde miktarı, biyogaz ve metan üretim potansiyeli hesaplanmıştır [20].

Amerika Birleşik Devletleri'nin Illinois Eyaleti'nin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. Ülkenin istatistiki verilerini kullanarak süt ve et üreten işletmeleri, tavukçuluk işletmeleri, çöp depolama alanları gibi enerji üretim potansiyeli olan temel alanlar ve bunlarla ilgili işletmeleri tespit edilmiştir. Bu temel alanlardan elde edilebilecek tahmini enerji aralığı ve toplam enerji potansiyeli tespit edilmiştir. Bunun yanında eyaletin yiyecek işleme endüstrisindeki işletmelerin sayıları baz alınarak her bir alan için potansiyel biyogaz üretim haritası çıkarılmıştır [1].

Fas'ın kuzey şehirlerindeki organik atıkların biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada organik atıkların sınıflandırılmasını yaparak atık potansiyelini belirlemişlerdir. Kuzey şehirlerini 3 ayrı bölgeye ayırarak elde edilebilecek tarımsal atık, hayvansal atık, kanalizasyon atığı, organik kaynaklı belediye atıkları, mezbaha atığı potansiyelini belirlemişlerdir. Bu atıklarda elde edilebilecek enerji miktarlarını belirlemişlerdir [36].

Ankara'nın biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünü tespit etmek üzerine çalışmışlardır. TÜİK ve Ankara Tarım İl Müdürlüğü verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları üzerine işletme büyüklükleri ve hayvan sayıları belirlemişlerdir. Literatürdeki canlı ağırlık, taze atık miktarı, toplam kuru madde, uçucu kuru madde, hayvanların barınakta kalma süresi ve ortalama biyogaz verimi değerleri baz alınarak elde edilebilir katı madde miktarı, biyogaz miktarı ve ısı değerini hesaplamışlardır. Son olarak hidrolik bekletme süresini dikkate alarak % 9 katı için eklenecek su miktarını, uygun reaktör hacmini ve günlük elde edilebilecek biyogaz miktarını hesaplamışlardır [18].

Burkina Faso'nun biyogaz üretim imkanları ve potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla tarımsal ve hayvansal üretim çerçevesinde küçük işletmeler, yiyecek endüstrisi çerçevesinde küçük, orta ve büyük işletmelerin ve katı atık yönetimi çerçevesinde kırsal, kentsel, belediye ve kurumların atıkları ve biyogaz potansiyelleri belirlenmiştir. Bu potansiyelin ülkeye olan etkisi ortaya konarak 2015 yılına kadar tahmini biyogaz tesis sayısı ve tahmini tesis maliyetlerini hesaplamışlardır.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1 Malzeme**

Araştırma kapsamında mevcut kurulu olan biyogazdan elektrik enerjisi elde eden işletmenin özellikleri, günlük atık miktarı ve kapasitesi ortaya konulmuştur. Bu çerçevede mevcut kurulu olan biyogaz tesisi verileri araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur.

##### **3.1.1 Biyogaz üretim tesisi**

Tez çalışmaları süt ürünleri üretim fabrikasına entegre olan biyogaz enerjisinden elektrik üreten bir tesiste yürütülmüştür. Söz konusu tesis günlük 575 -750 ton/gün organik atık, tesise kabul ederek elektrik enerjisi üretmektedir.

Biyogaz Tesisinde hayvan besi tesislerinden kaynaklı dışkı atıkları, mısır silaj gibi organik maddeler ve süt ve süt ürünleri arıtma tesisinden kaynaklı arıtma çamurunun bertarafının sağlanması amacıyla hizmet vermektedir. Ayrıca söz konusu tesise tesis kriterlerine uygun olan organik atıklar da kabul edilerek sistem veriminin artırılması sağlanabilecektir.

Atıklar tesislerden özel vidanjörler vasıtasıyla iletileceğinden herhangi bir sızma ve kirlenme söz konusu olmayacaktır. Atıklar tamamen özel üretilen ve sızdırmaz vidanjörlerle taşındıklarından herhangi bir kokuya neden olmamaktadır.

Biyogaz tesisi tehlikesiz atık geri kazanımı, biyogaz üretimi, enerji üretimi ve organik gübre üretimi faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Tesis işleyişi hakkında bilgi aşağıda ayrıntılı olarak yer almaktadır. İşleyiş sırası ile atık hazırlama ve besleme sistemi anaerobik çürütme sistemi, biyogaz depolama, arıtma ve transfer sistemi ve gübre susuzlaştırma sistemi ünitelerinden oluşmaktadır.

- Atık Hazırlama ve Besleme Sistemi
- Anaerobik Çürütme Sistemi
  - Kojenerasyon Sistemi
  - H<sub>2</sub>S Giderim Sistemi



□ Otomasyon Sistemi

• Gübre Kurutma ve Hijyenizasyon Sistemi

Üniteler yer almaktadır. Ayrıca araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi, idari bina diğer işletme üniteleri yer almaktadır.

Tesise günlük beslenen atık miktarı ortalama olarak büyükbaş hayvan dışkısı (250-300 ton/gün), tavuk dışkısı (10-30 ton/gün) ve atıksu arıtma çamuru (75-100 ton/gün) olmaktadır. Tesise gelen organik atıklar katı madde analizi yapılarak sisteme beslenmektedir.

• Büyükbaş Hayvan Gübresi

Çiftliklerden tanker veya vidanjör ile getirilen sıvı ya da parçalama gerektirmeyen büyükbaş hayvan gübresi gibi atıklar atık kabul havuzu üzerindeki otomatik kapak açıldıktan sonra katı atık dengeleme (atık kabul) havuzuna dökülmektedir. Parçalama işlemi gerektiren organik atıklar katı atık besleme sistemi üzerinden öğütülerek dengeleme (atık kabul) havuzuna aktarılır. Bu esnada tozuma ve çevreye uçuşma olmaması için, giriş ve çıkış konveyörleri kapalı helezon yapıdadır.

• Atık Su Arıtma Çamuru

Süt ve süt ürünleri fabrikası - arıtma tesisinden kaynaklı arıtma çamurunun çökeltme havuzu dibinden pompa ile biyogaz tesisindeki katı atık dengeleme (atık kabul) havuzuna transfer edilmektedir. Hat üzerinde debi ölçümü ve tıkanmalara karşı basınç kontrolü yapılmaktadır.

• Tavuk Gübresi

Bölgede yer alan tavuk ve yumurta üretimi yapan çiftliklerden tavuk dışkısı temin edilmektedir. Çiftliklerden traktör ile getirilen sıvı ve katı gübreler otomatik kapak açıldıktan sonra katı atık dengeleme (atık kabul) havuzuna boşaltılmaktadır.

• Bitkisel Atıklar

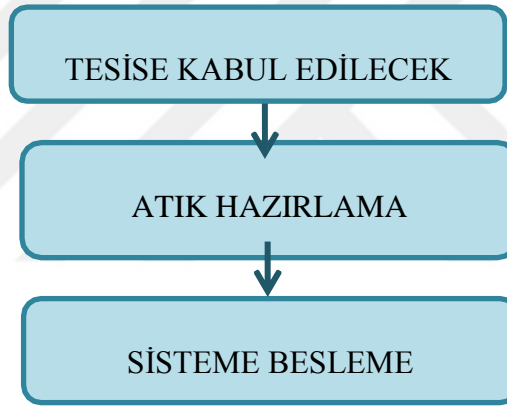
Tarımsal kaynaklı bitkisel atıklar gibi katı ve depolama gerekebilecek atıklar üzeri geçirimsiz membran örtüyle kapalı ve haftalık depolama sağlayacak atık depolama alanında depolanacaktır. Atık depolama alanı belirlenen menüye göre beslenecek

bitkisel atıkların karıştırma tanklarına alınmadan önce son bekletildiği ve hazırlandığı bekletme alanıdır.

Bölgede faaliyet gösteren çiftliklerden ve yem olarak kullanılamaz durumdaki mısır silajı ve tritikale silajı, traktör tipi taşıyıcılar ile üretim faaliyeti sonucunda üretime uygun olmayan atıklar (Patates, nar, şeker pancarı, portakal atıkları vb.) parçalama işleminden sonra atık kabul havuzlarına boşaltılacağı gibi aynı zamanda Biyogaz Tesisi besleme haznelere beslenmektedir.

### 3.1.2 Atık hazırlama ve besleme sistemi

Atık Hazırlama ve Besleme Sistemi Ünitesinde atık hazırlanması ve beslenmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Akım şeması Şekil 3.1’de sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Atık hazırlama ve besleme ünitesi, iş akım şeması [35].

### 3.1.3 Dengeleme (atık kabul) havuzu özellikleri

Tesise gelen organik atıklar için terfi havuzu ve terfi pompasından oluşan terfi sistemi ile mevcut dengeleme havuzuna transfer edilmektedir. Dengeleme havuzuna ayrıca vidanjör ile getirilen hayvan gübresi ilave edilmektedir. Atıklar dengeleme havuzunda mevcut karıştırıcılar ile karıştırılarak homejenizasyon sağlanmaktadır.

Tüm atıklar reaktöre beslenmeden önce betonarme dengeleme havuzunda karıştırılmaktadır. Havuz içerisine monte edilen dalgıç karıştırıcılar ile karışım homojen halde tutulmakta ve katı maddelerin çökmesi önlenmektedir. Havuzun iç yüzeyleri korozyon ve aşınmaya karşı epoksi koruma ile kaplanmıştır.

Betonarme havuzun üzeri kapalı tasarlanmıştır. Havuzda oluşan kokulu hava, fan vasıtası ile emilerek arıtma tesisindeki havalandırma havuzuna gönderilmekte ve bertaraf edilmektedir.

Tesiste yer alan dengeleme (atık kabul) havuzu,400 m<sup>3</sup> hacme sahiptir. Tesise gelen organik atıklar için terfi havuzu ve terfi pompasından oluşan terfi sistemi ile mevcut dengeleme havuzuna transfer edilmektedir. Dengeleme havuzuna ayrıca vidanjör ile getirilen hayvan gübresi ilave edilir. Atıklar dengeleme havuzunda mevcut karıştırıcılar ile karıştırılarak homejenizasyon sağlanmaktadır.

Tüm atıklar reaktöre beslenmeden önce betonarme dengeleme havuzunda karıştırılır. Havuz içerisine monte edilen dalgıç karıştırıcılar ile karışım homojen halde tutulmakta ve katı maddelerin çökmesi önlenmektedir.

Havuzun iç yüzeyleri korozyon ve aşınmaya karşı epoksi koruma ile kaplanmıştır. Betonarme havuzun üzeri kapalı tasarlanmıştır. Havuzda oluşan kokulu hava, fan vasıtası ile emilerek arıtma tesisindeki havalandırma havuzuna gönderilmekte ve bertaraf edilmektedir.

Reaktöre karışımın basılması dengeleme havuzunda yer alan pompa sistemi ile yapılır. Dengeleme havuzundan atıkların reaktöre beslenmesi lobe tipi pompalar yardımı ile olur.

Atık kabul havuzunda koku emici fan olduğundan dolayı koku oluşumu görülmemektedir. Atık besleme aşamasında katı madde içeriği yüksek olan organik atıklar sıvı gübre ile karıştırılarak sisteme beslenmektedir. Bu sayede su kullanımı söz konusu olmamaktadır.

Dengeleme (atık kabul) havuzu özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Dengeleme (atık kabul) havuzu özellikleri [35].

<b>İç Kaplamada Kullanılan Malzeme Türü</b>	<b>Kapasite</b>	<b>Sıcaklık</b>	<b>PH</b>	<b>C/N Oranı</b>	<b>Kullanılan Ekipmanlar</b>
Havuzun iç yüzeyi aşınma ve korozyona karşı betonarme ile kaplanmıştır.	400 m <sup>3</sup>	28 °C	7	30/1	2 adet dalgıç karıştırıcı Vent Gaz Fanı

### 3.1.4 Anaerobik çürütme sistemi

Atık hazırlama sistemine gelen organik içerikli materyal anaerobik reaktöre beslenir. Reaktör içerisine beslenen organik içerikli atıkların havasız ortamda mikroorganizmalar aracılığı ile parçalanarak karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesi sağlanır.

Tesis bünyesinde bulunan anaerobik fermantasyon reaktörü ve özelliklerini içeren tablo, aşağıda verilmiştir. Anaerobik reaktörlere ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Anaerobik reaktörlere ait özellikleri [35].

<b>ANAEROBİK REAKTÖRE AİT ÖZELLİKLER</b>							
<b>Ünite</b>	<b>Adet</b>	<b>Hacim (m<sup>3</sup>)</b>	<b>İç Kaplama Malzemesi</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>PH</b>	<b>C/N Oranı</b>	<b>HB S</b>
Çürütücü	2	4200	2 m epoksi, 6 m izolasyon	55	6.8-7.5	30/1	20
Çürütücü	3	4200	2 m epoksi, 6 m izolasyon	55	6.8-7.5	30/1	20
Son Çürütücü	1	4200	2 m epoksi, 6 m izolasyon	55	6.8-7.5	30/1	10

Mevcut kurulu tesiste 5 adet çürütücü ve 1 adet son çürütücü olmak üzere toplam 6 adet çürütücü bulunmaktadır. Çürütücüler 2 kademede atığı işleyip yapıdaki organik yükü biyolojik bir süreç sonrasında yıkarak biyogaza dönüştürmek için kullanılmaktadır. Silindirik betonarme tank yapıda olan çürütücüler, sızdırmaz yapıda inşa edilmiş olup, ısıtma ve karıştırma sistemine sahiptir.

Mevcut çürütücülerden 3 tanesinde karıştırma çürütücü içerisine konumlanmış olan 4 adet dalgıç tip karıştırıcıyla sağlanmakta olup, diğer 3 adet çürütücüde ise 2 adet pedal 2 adet dalgıç karıştırıcı ile karıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Boru tipi duvardan ısıtma sistemiyle çürütücülerin ısıtılması sağlanmaktadır. Karıştırıcılar istenilen dönme hızında ayarlanabilen yapıdadır. Sıcaklığın istenilen değerde tutulması, homojen karıştırma kontrolü, seviye takibi, basınç, pH ölçümü, köpük oluşumu kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler olup, sürekli ölçülmekte ve otomasyon sistemine aktarılmaktadır.

Anaerobik çürütücü, hava almayan sızdırmaz kapalı bir betonarme havuz olarak tasarlanmıştır. Havuzun üst kısmına yerleştirilen gaz deposu reaksiyon esnasında oluşan gazı depolamaktadır.

Reaktör içeriği dalgıç karıştırıcılar ile karışım halinde tutulmaktadır. Karıştırıcılar enerji tasarrufu amacı ile kesikli olarak çalıştırılmaktadır.

Dengeleme havuzundan çürütücülere sürekli veya kesikli besleme yapılırken, çürütücülerden de son çürütücüye aynı oranda atık aktarılmaktadır. Aktarma işlemi cazibe ile yapılabilmekte, ancak pompa sistemi de bulunmaktadır.

Çürütücülerde ve son çürütücülerde atık seviyesi ve sıcaklık değeri kontrol cihazları ile sürekli ölçülecek ve kontrol edilmektedir. Son çürütücü aynı zamanda atıkların bir süre daha bekletilmesi ile % 5'e kadar ilave biyogaz kazancı sağlamaktadır. Son çürütücünün seviyesi değişken yapıda ve separatöre esnek besleme programı uygulanabilmektedir.

Atıkların çürütücü reaktörde bekleme süresi yaklaşık 20 gün olarak gerçekleşmektedir. Son çürütücüde ise bekleme süresi 10 gün civarındadır. İşletme esnekliği açısından 6

havuz eşit hacimde tasarlanmış, atıkların toplam hidrolik bekleme süresi 30 gün olarak belirlenmiştir.

Anaerobik çürütme prosesinin çalışma sıcaklık noktaları 55°C(termofilik)'dir. Dengeleme havuzunda ön ısıtmadan geçmiş atıklar daha sonra reaktör içerisinde dahili eşanjör ile ısıtılmaktadır. Ayrıca, reaktör yüzeylerinden kaynaklanan ısı kayıpları karşılanmış olmaktadır. Mevcut çürütücülerde termofilik şartlarda çalışmaktadır.

Anaerobik reaktörlerde ısı kaybını engellemek için zemin betonu yalıtım malzemesiyle izole edilecek olup dış kısım bu izolasyonu nemden ve çevresel şartlardan korumak için trapez saç kaplamayla kaplanmıştır.

### **3.1.5 Kojenerasyon sistemi**

Sistemde üretilen biyogaz, her bir çürütücünün üzerinde bulunan çift tabaka, sızdırmaz, basınç kontrolü ve alarm sistemi ile donatılmış "Double Membran E-tip" membran sisteminde depolanmaktadır.

Üretilen biyogaz çürütücülerin üzerinde bulunan ve her çürütücüye bağlı ortak kolektör hattından H<sub>2</sub>S giderim ünitesine (Bioscrubber) gönderilmektedir.

Bioscrubber sisteminden çıkan biyogaz, blower ile kojenerasyon sistemine beslenmektedir. Kojenerasyon sistemine beslenen biyogazın nem tutucu ile nemi alınmakta ve online biyogaz analizörü ile konsantrasyonu ölçülmektedir. Motora beslenen debi, debimetre ile ölçülmektedir.

Bioscrubber'da H<sub>2</sub>S seviyesi düşürülen biyogazdan, kurulu 4 kojenerasyon ünitesi ile elektrik ve ısı enerjisi elde edilmektedir. Biyogaz besleme hattı üzerine konulan debimetre ile sisteme verilen biyogaz miktarı gözlemlenmektedir. Gaz aktarımı kapalı sistemde gerçekleştiğinden dolayı koku oluşumu söz konusu değildir.

Kojenerasyon sistemine ait görünüm Şekil 3.2' de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Kojenerasyon sistemine ait görünüm [19].

Katı atık sisteminde olabilecek arızalar göz önünde bulundurularak flare ünitesi sisteme dahil edilmiştir. Biyogazın kullanılmadığı durumlarda üretimi minimuma indirmek için atık beslemesi kesilecek ve üretilen biyogaz flare ünitesinde yakılarak atmosfere salınımı engellenecektir.

Üretilen biyogaz mevcut durumda kurulu olan 4 kojenerasyon ünitesi ile elektrik ve ısı enerjisi elde edilmektedir. Biyogaz tesisi için biyogaz enerjisini elektrik enerjisine çeviren ekipman listesi Çizelge 3.3' de detaylandırılmıştır.

**Çizelge 3.3.** Elektrik enerjisi üretimi için kullanılan ekipmanlar [35].

<b>BİYOGAZI ELEKTRİK ENERJİSİNE ÇEVİREN EKİPMAN LİSTESİ</b>	
<b>Ünite</b>	<b>Adet</b>
Gaz Motorları	6
Atık Isı Kazanı	6
OG panosu	1
AG panosu	1
İç ihtiyaç Trafosu	1
Flare	1
Atık Isı Kazanı	6
Utility Enerji Dağıtım Panosu	3
Step Up Trafo	6
Biyogaz Dağıtım Panosu	1

Üretilen Biyogaz debisi 4 ayrı kojenerasyon ünitesi girişlerinde debimetreler ile ölçülerek takip edilmektedir. Ayrıca biyogaz içeriği de sürekli olarak ölçüm cihazları ile takip edilmektedir.

### **3.1.6 H<sub>2</sub>S giderim sistemi**

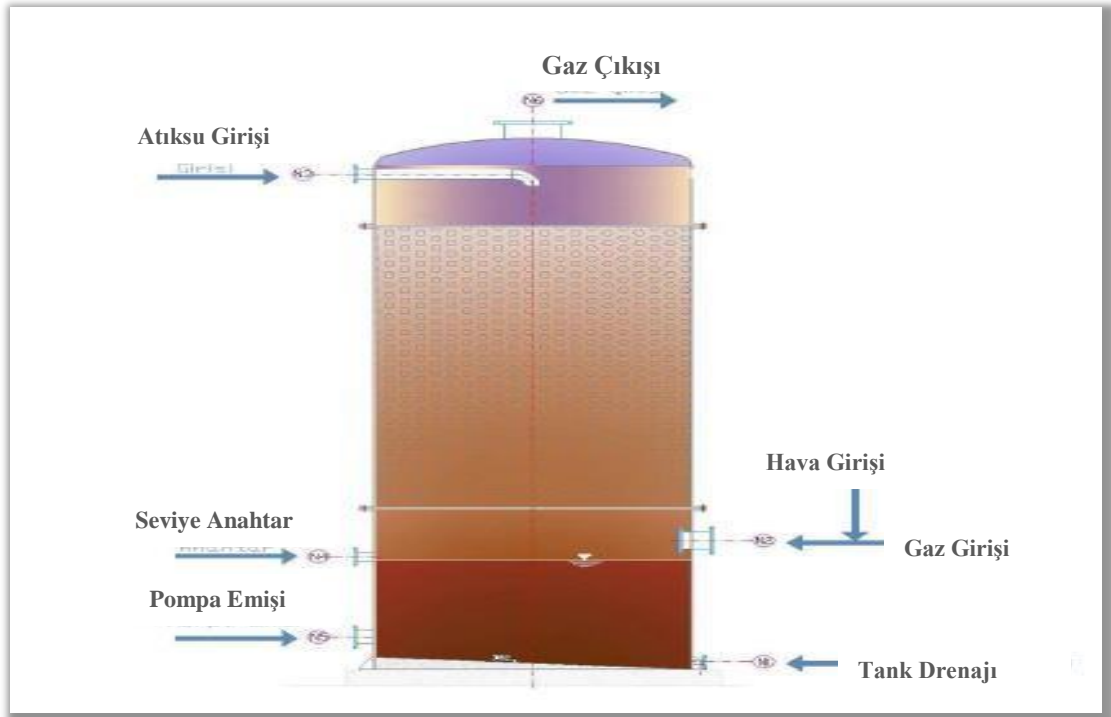
Bioscrubber filtrede anaerobik reaktörden çıkan biyogaz kimyasal scrubber'a girmeden hatta ilave edilen "bio-trickling" filtreye gelmektedir. Besleme hattı üzerinde biyogaza bir fan ile hava beslenmektedir. İlave edilen havanın miktarı debimetre ile kontrol altında tutulmaktadır. Biyogaz filtrenin alt kısmından girerek plastik dolgu malzemesinden yukarıya doğru transfer olmaktadır.



Yukarıya doğru hareket eden biyogaz, filtrenin üst kısmından aşağı doğru süzülen su ile temas etmekte ve çözünmeye başlamaktadır. Daha sonrasında plastik dolgu malzemesi üzerinde büyüyen mikroorganizmalar tarafından elimine edilmektedir.

Filtrenin üst tarafından verilen sıvı, sistem içerisinde nem, nutrient, PH kontrolü ve biyofilm tabakası oluşmasını sağlarken aynı zamanda da inhibe edici maddeler ortamdaki uzaklaştırılmaktadır. Sistemde oluşan fazla biyokütle damlayan sıvı tanecikleri ile çamur haline gelmeden sistemden uzaklaştırılabilir böylelikle elverişli şartlar sağlanmış olur. Sistemden atılan suyun bir kısmı sürekli sisteme geri devredilecek olup, bu suya bir miktar kostik (NaOH) ilave edilerek asiditesi kontrol edilmektedir. Sistemde sirküle edilen suyun miktarı düşük olduğundan ve nötralizasyon işlemi bakteri tarafından yapıldığından NaOH sarfiyatı son derece düşük olmaktadır. Sirküle edilecek atık su hidrofor ile sağlanmaktadır. Sisteme alınması gereken su miktarı  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ 'i geçmemektedir.

Sistemi terk eden biyogaz, kimyasal scrubber sonrasında tekrar mevcut biyogaz sistemine dahil olmakta ve nem tutucuda nemi alınmaktadır. Bio-trickling filtrede geri devir su debisi daha düşük olduğundan biyogazdaki nem de daha az olmaktadır. Biyoscrubber çalışma prensibi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Biyoscrubber çalışma prensibi [19].

### **3.1.7 Otomasyon sistemi**

Öncelikli anaerobik reaktörler olmak üzere toplanan bütün sinyaller mekanik odadaki kontrol panellerinde değerlendirildikten sonra kontrol odasındaki bilgisayarlardaki ara yüze aktarılır ve bütün proses bu bilgisayar ekranından takip edilir. Belirlenen set değerleri yine bu bilgisayar üzerinden sisteme girilir.

Karıştırıcılar, VPT, kapaklar ve gaz hatları gibi önemli noktalarda emniyet stopları olup gerekli zamanlarda bu ekipmanlar kendi kendini kapatabileceklerdir. Sistemde çürütücülerin taşması olasılığına karşılık, bütün çürütücüler üstten gübre taşma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılıdır.

### **3.1.8 Gübre susuzlaştırma ve hijyenizasyon sistemi**

Mevcut tesiste gaz üretimi tamamlanan ve son çürütücüden çıkan fermente ürün dekantörde sıvı ve katı faza ayrıştırıldıktan sonra sıvı faz sıvı organik gübre, katı faz ise katı organik gübre olarak proses edilmektedir. Elde edilen katı ve sıvı organik gübreler tarım ürünleri üzerinde verim ve kalite artırıcı etkileri olan kıymetli bir gübrelerdir. Gübre üretim ünitelerinde ortaya çıkabilecek olası arıza durumlarında sisteme besleme yapılmaktadır. Sisteme yükleme yapılmadığı için son çürütücüden çıkan fermente ürün ve atık niteliğinde bir ürün çıkışı olmayacaktır. Sistemde kullanılmayan katı ve sıvı fermente ürün ise atık olarak değerlendirilecektir.

#### **• İşlenmiş Fermente Ürün Kullanımı**

Anaerobik reaktörde çürütme sonucu gübre özelliği arttırılmış ürün elde edilmektedir. Bu ürün reaktör çıkışı doğrudan değerlendirileceği gibi, susuzlaştırma sistemine alınarak “katı gübre” ve “sıvı gübre” olarak da değerlendirilebilmektedir. Reaktör çıkışında katı madde içeriği yaklaşık % 4-7 arası olan gübre dekantör besleme hattına konulan branşmandan alınarak doğrudan dekantöre beslenebilmektedir.

#### **• Santrifüj Dekantör Susuzlaştırma Ünitesi**

Dekantör üniteleri yedekli olarak çalışmaktadır. Besleme hattı çalışan dekantöre göre manuel vana ile seçilmelidir. Ayrıca, çalışan dekantöre göre dekantör panosu üzerinden besleme pompası ve polimer pompası kontrolü yapılmaktadır.

Santrifüj dekantör çıkışında yaklaşık % 20-25 kuru madde içeren “kek” (katı gübre) elde edilmektedir. Elde edilen bu ürün yapılan analizler neticesinde gerekli izinler alınması durumunda doğrudan tarımda kullanılabileceği gibi, susuzlaştırma işlemine tabi tutularak gübre özellikleri arttırılabilir. Dekantör çıkışı katı gübre romörk vasıtası ile toplanacak ve son kullanım noktasına transfer edilecektir. Sıvı kısım ise süzüntü suyu havuzuna alınacaktır. Tesiste anaerobik faaliyetlerin gerçekleşmesi ve gaz oluşumu için 5 adet çürütücü ve 1 adet post çürütücü bulunmaktadır. Çürütücülerin 5 tanesi biyogaz oluşumu için kullanılmaktadır, 1 tanesi ise sistemden çıkan sıvı gübre depolanması için kullanılmaktadır. Bundan dolayı sıvı kısım süzüntü suyu havuzundan mevcut dalgıç pompalar ile anaerobik reaktöre alınacaktır. Sıvı gübre ihtiyaç halinde buradan temin edilecektir. Susuzlaştırma ve kurutma üniteleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Susuzlaştırma ve kurutma üniteleri [19].

<b>SUSUZLAŞTIRMA VE KURUTMA ÜNİTELERİ</b>	
<b>Ekipman</b>	<b>Adet</b>
Dekantör	1
Tambur Ünitesi (Hijyenizasyon)	1
Seperatör	4

Çürütücülerdeki toplam alıkonma süresi (bekletme süresi) 30 gün civarındadır. Çürütme işlemi termofilik sıcaklık bölgesinde 30 gün olarak gerçekleştiği için büyük baş hayvan dışkısı işlenmesi durumunda istenilen hijyenizasyon şartı sağlamış olacaktır.

İki kademede anaerobik çürütücülerde işlenen fermente ürün son çürütücüden alındıktan sonra sıvı ve katı formda iki işlenmiş fermente ürüne ayrılmak üzere susuzlaştırma binasında bulunan seperatör ve dekantörden geçirilir. Fermente sıvı önce 2 adet sıkma pres vidalı seperatörden geçirilir. Seperatörden alınan sıvı tekrar sıkılmak üzere santrifürüj yüksek devirli dekantöre gönderilir. Bu sayede fermente

sıvı %1-3 kuru madde içeren fermente sıvı ürün ve %30-35 kuru madde içeren fermente katı ürüne ayrıştırılır.

Katı Gübre tesis kapsamında biyogaz çıktısı katı materyalin gübre olarak değerlendirilmesi kapsamında söz konusu katı madde öncelikli olarak tamburdan geçirilmektedir.

Tesiste yer alan tamburda dekantörden çıkan katı madde 70°C'de 1 saat bekletilerek katının mikrobiyolojik olarak sterilizasyonu sağlanmaktadır. Söz konusu tambur biyogaz tesisinden sağlanan sıcak su ısı ile çalışmaktadır. Ayrıca kurutma ve hijyenizasyon faaliyetleri sonucu oluşacak olan ısı da yine tamburda değerlendirilmektedir.

Bilindiği üzere hijyenizasyon aşamasında mikroorganizmalar önemli rol oynamaktadır. Aerobik solunumun hakim olması için içeriye alınan hayvan dışıklarının nemi % 60 civarında olurken, fan sayesinde gerekli olan hava verilmektedir. Susuzlaştırma için gerekli hava ve nemin dengede olması amaçlanarak, mikroorganizma etkinliğini en üst seviyede gerçekleşmesine çalışılmaktadır.

## **3.2 Ürünün Depolanması ve Yönetimi**

### **3.2.1 Biyogaz depolanma ve yönetimi**

Tesiste üretilen biyogaz, her bir çürütücünün üzerinde bulunan çift tabaka, sızdırmaz, basınç kontrolü ve alarm sistemi ile donatılmış double membran tip membran sisteminde depolanmaktadır.

Depolanan biyogaz blowerlar vasıtası ile sızdırmaz polietilen boru hatları ile kojenerasyon motorlarına beslenir. Blower odası ve kojenerasyon binası sızıntı detektörleri ile donatılmıştır. Boru hattında sürekli online basınç ve debi takibi yapılarak olası sızıntılara kısa sürede müdahale edilmektedir.

Biyogazın kullanılmadığı durumlarda üretimi minimuma indirmek için atık beslemesi kesilecek ve üretilen biyogaz flare ünitesinde yakılarak atmosfere salınımı engellenecektir.

Biyogaz tesisinde yer alan membranlara ait özellikler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Membran özellikleri [35].

<b>BİYOGAZ DEPOLARI</b>				
<b>Ekipman</b>	<b>Adet</b>	<b>Özellik</b>	<b>Kapasite</b>	<b>Ekipmanlar</b>
Reaktör üzerine monteli double membran	6	İç ve dış membranlar PVC-kaplı poliester	1750 m <sup>3</sup>	Biyogaz seviye transmitterleri Gaz deposu destek kolonu Desülfrizasyon ağı Aşırı basınç vakum emniyet vanası Hava blowerları

### **3.2.2 Katı gübre depolanması ve yönetimi**

Tesiste yer alan tamburda dekantörden çıkan katı madde 70°C’de 1 saat bekletilerek katının mikrobiyolojik olarak sterilizasyonu sağlanmaktadır. Söz konusu tambur biyogaz tesisinden sağlanacak olan sıcak su ısıtı ile çalışmaktadır. Ayrıca işlenmiş gübre faaliyetleri sonucu oluşacak olan ısı da yine tamburda değerlendirilmektedir. Tambur tamamen kapalı bir ekipmandır. Buna bağlı olarak tesiste üretilen gübre açık ortamda uzun süre açıkta bekletilmemiş olacaktır. Proje faaliyetleri kapsamında oluşan gübre, tamburdan geçirildikten sonra kuru madde oranı %50 civarında olmaktadır.

### **3.2.3 Sıvı gübre depolanması ve yönetimi**

Anaerobik fermasyonun oluşması için 5 adet çürütücü ve 1 adet post çürütücü bulunmaktadır. Çürütücülerin 5 tanesi biyogaz oluşumu için kullanılmakta olup, 1 tanesi ise sistemden çıkan sıvı gübre depolanması için kullanılmaktadır. Sıvı gübre buradan pompalar vasıtasıyla sisteme geri besleme yapılabilir.

### 3.3 Tesiste Kontrol Ve İzleme

#### 3.3.1 Atık miktarı, tartım ve analizi

Biyogaz Tesisi kapsamında; günlük organik debi gelen atık miktarına göre 575-750 ton/gün olarak belirlenmiştir. Tesise büyükbaş hayvan gübresi, tavuk gübresi, bitkisel atık ve arıtma çamuru alınması söz konusudur.

Tesise gelecek organik içerikli atık için ilk etapta numune alınarak nem tayin cihazı ve etüvde (550 °C-3 saat) bekletilerek katı madde (KM) analizi yapılmaktadır. Sonraki aşamalarda ise tesisin bünyesinde bulunan laboratuvar ile günlük analizler yapılmaktadır.

Günlük yapılan analizlerin detayı Çizelge 3.6’te verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Biyogaz tesisinde yapılan analizler [35].

ÜNİTE	Dengeleme	Digester	Post Digester	Biyoscrubber
ANALİZ	PH	PH	PH	-
		FOS /TAC	FOS /TAC	-
	Sıcaklık	Sıcaklık	Sıcaklık	-
		Katı Madde	Katı Madde	-
	Gaz Ölçümleri	Gaz Ölçümleri	Gaz Ölçümleri	Gaz Ölçümleri

### 3.4 Türkiye’de Biyogaz Üretimi

Ülkemizde biyogaz üretimi ile alakalı araştırma ve geliştirme çalışmaları yoğunlukla 1980-1986 senelerinde Merkez Toprak su Araştırma Enstitüsünde (Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü) yürütülmüş ve biyogaz üretimi konusunda oldukça önemli bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, uygulamalar, eğitim ve yayım çalışmaları oldukça etkili sonuçlar vermiş, insanların algı seviyesi yükseltilmiş ve önemli bir bilgi birikimi sağlanmıştır. Söz konusu

Enstitü’ de sığır, koyun ve tavuk gübrelereinden elde edilen ile biyogaz, bu laboratuvarlarda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

Türkiye yüzölçümü bakımından ve ayrıca tarım ülkesi olması hasebiyle oldukça fazla biyogaz üretim potansiyeline sahip konumdadır.

Hayvan kaynaklı atıklarının biyogaz potansiyeli:  $12.728.462 \text{ GV} \times 0,3 \text{ kW/GV} \times 8000 \text{ saat max. üretim} = 30,5 \text{ TWh}$  ve toplam biyogaz’ dan enerji kazanımı =  $241,9 \text{ TWh}$ ’dir. Bu hesaplama bize gösteriyor ki, Türkiye 2005 yılı doğalgaz ithalatının yaklaşık % 88’ini kendi iç kaynaklarından karşılayabilme potansiyeline ve gücüne sahiptir.

Şekil 3.4’de Türkiye’nin hayvansal kaynaklı atıkların illere göre dağılım potansiyeli görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Türkiye hayvansal kaynaklı atıkların enerji potansiyellerinin illere göre dağılımı (TEP).

Şekil 3.3’de görüleceği gibi, 45 bin ton TEP ve daha fazla enerji potansiyeline sahip iller Bolu, Balıkesir, Erzurum, Konya, Kocaeli ve İzmir’dir. Trakya Bölgesinde ise, bumiktar Kırklareli’nde 15 bin ton TEP’den az, Edirne ve Tekirdağ illerinde ise 15-30 bin ton TEP arasındadır.

Görüldüğü gibi, Türkiye oldukça yüksek oranda organik atık potansiyeline sahip olmasına karşın, biyogaz üretimi yapan tesisler küçük kapasitelidir ve tesis sayısı oldukça sınırlıdır. Bu durum Türkiye’deki biyogaz üretimi ve üretim tesislerinin

mevcut durumunu gözler önüne sermektedir. Ancak son yıllarda Isparta, Kocaeli, Kayseri, Ankara, İstanbul, Bursa gibi Büyükşehir Belediyelerinde organik atıklardan biyogaz üretimi için projeler ön plana çıkmıştır.

### **3.5 Dünyada Biyogaz Üretimi**

Biyogaz 1682 yılında keşfedilmiş olup, 1973, 1979 ve 1980 yılları petrol krizleri, 2000'li yıllardan sonra ise küresel iklim değişikliği tartışmaları sonucunda tüm dünyada biyogaz üretimi konusu hız kazanmıştır.

Biyokütle kaynağı hayvansal gübre olan biyogaz üretimi yapan tesislere bakıldığında dünyada yer alan biyogaz tesislerinin %80'i ile Çin (7 milyon) ilk sırada gelmektedir. Çin'i takiben %10'u Hindistan'da (2,9 milyon) bulunan biyogaz tesislerini sırasıyla Nepal'da (49.500) ve Kore'de (29.000) tesis izlemektedir. Fakat bunların çoğunlukla aile tipi tesisler (6-12 m<sup>3</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Yine bu tesislerin yaklaşık 1/3'ü, bazı ülkelerde ise yüzde elliden fazlası bakımsızlık, yetersiz atık miktarı ve atık transferinin tam sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı işletilememektedir [15].

Hindistan'da biyogaz tesisleri üretimi ilk olarak ulusal düzeyde 1981 yılında gelişmeye başlamış ve günümüzde de büyük çiftliklerde biyogaz tesisi kurulum ve işletmesi halen devam etmektedir.

Avrupa ülkelerine genel olarak bakıldığında işletmelerin yüzde elliden fazlası da yine Almanya'da kurulmuş ve işletilmekte biyogaz üretiminde ilk sırayı almaktadır.

Almanya'daki biyogaz tesislerinin sayısı Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nın (EEG) yürürlüğe girmesi ile artış göstermektedir. Bu bakımdan EEG biyogaz sektörü için önemli bir enstrüman olarak görülmektedir [19].

Biyogaz tesislerinin sayısı gün geçtikçe Almanya'da 10 yıl zarfında neredeyse 5 katına çıkmıştır.

Sürdürülebilir enerji tedarikinin sağlanması ve sera gazları emisyonunun azaltılması için, biyogaz önümüzdeki yıllarda çok şey vaat eden bir seçenek olarak görülmelidir. [19].



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan deneyler sonucu elde edilen numunelerin katı madde ve organik katı madde içerikleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Bulamaç hazırlama ve karıştırma sürecinden sonra reaktöre alınan numunelerde anaerobik şartların oluşmasıyla birlikte biyogaz oluşumu başlamaktadır. Yaklaşık olarak 30 günde süreç tamamlanmaktadır. Olağan şartlarda 30 günlük sürenin sonunda biyogaz oluşumu giderek artmakta olup pik değerlere ulaşmaktadır. HBS 30 gün olan atıkların KM, OKM oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çeşitli yakıtların ısı değerleri [35].

BİYOKÜTLE	%KM	%OKM
Büyük Baş hayvan Atığı	5.7	85
AAT Çamur	2	75
Tavuk Gübresi	25	85
Şeker Pancarı Atıkları	20	95
Patates Atıkları	20	95
Nar Kabuğu Atıkları	5	95
Likit Gübre (dekantör veya seperatör çıkışı)	2	85

Organik atıkların tek başına anaerobik parçalanması sonucu elde edilen biyokimyasal metan potansiyelini belirlemek BMP testi yapılmıştır. Bitkisel ve hayvansal atıklardan oluşan metan ve biyogaz miktarları aşağıdaki tablolarda detaylandırılmıştır.

40 günlük oluşan metan ve biyogaz miktarları aşağıda yer alan 4.2 numaralı çizelgede detaylandırılmıştır.

**Çizelge 4.2.** Çeşitli yakıtların ısı değerleri [35].

BİYOKÜTLE	BMP (m <sup>3</sup> metan/ton OKM)	BMP (m <sup>3</sup> biyogaz/ton OKM)	HRT (Gün)
Ham Gübre	273	496	40
Çim	298	541	40
Tavuk Gübresi	214	389	40
İade	425	772	40
Patates	262	476	40

15 günlük oluşan metan ve biyogaz miktarları aşağıda yer alan 4.3 numaralı çizelgede detaylandırılmıştır.

**Çizelge 4.3.** Çeşitli yakıtların ısı değerleri [35].

BİYOKÜTLE	BMP (m <sup>3</sup> metan/ton OKM)	BMP (m <sup>3</sup> biyogaz /ton	HRT (Gün)
At gübresi	240	436	15
Portakal	193	351	15
Sep. Altı gübre	115	210	15
Hububat otu	153	278	15
Tavuk gübresi	169	307	15
Bezelye silajı	307	558	15
Atık yem	326	593	15

4.2 Numaralı çizelge ve 4.3 numaralı çizelge karşılaştırıldığında bitkisel atıkların ve hayvansal atıkların bekleme sürelerine göre metan miktarları artış göstermektedir.

4.2 ve 4.3 çizelgesinde yer alan tavuk gübresinin 15 günlük metan verimi 169 m<sup>3</sup> metan/ton OKM) gözlemlenirken 40 günlük metan verimi 214 m<sup>3</sup> metan/ton OKM) gözlemlenmektedir.

Biyogaz tesisinde sebze ve meyve atıklarının teorik hesaplama yöntemi ile hesaplanan günlük üretilen biyogaz miktarı ve günlük biyogaz verimleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 gösterilmektedir.

Bahse konu biyogaz tesisine günlük gelen atık miktarları ortalaması Çizelge 4.4'de verilmiştir. Tablo 4.4'de yer alan biyogaz ve metan verimleri otomasyon ve analizler neticesinde ortalama değerler alınmıştır.

Atıkların çürütücü reaktörde bekleme süresi yaklaşık 20 gün olarak gerçekleşmektedir. Son çürütücüde ise bekleme süresi 10 gün civarındadır. Atıkların toplam hidrolik bekleme süresi 30 gün olarak belirlenmiştir. Anaerobik çürütme prosesinin çalışma sıcaklık noktaları 55°C (termofilik)'dir.

**Çizelge 4.4.** Çeşitli yakıtların ısı değerleri [35].

Biyokütle	Miktar(ton/gün)	%KM	%OKM	m <sup>3</sup> Biyogaz/ ton OKM	%CH <sub>4</sub>
Büyük Baş Hayvan Atığı	250	5,7	85	350	55
AAT Çamur	100	2	75	300	55
Diğer Atıklar (Tavuk Gübresi vb)	10	25	85	350	60
Şeker Pancarı Atıkları	89	20	95	600	60
Patates vb. Atıklar	40	20	95	600	60
Nar Kabuğu	150	25	95	600	55
Sıvı gübre	279	2	85	300	55

## 5.SONUÇ ÖNERİLER

Biyogaz üretimi bilinen ve oldukça yaygınlaşan bir teknolojidir. Yenilenebilir enerji dışı bağımlılığımızın azalmasını, toplumun hayvancılık ve tarımcılığa teşvik edilmesini ve daha yaşanılır çevrenin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda gübrede açığa çıkan azotun değerlendirilmesi ve geri kazanılması veya atmosferik azota dönüşmesi hususunda maliyet düşürücü araştırmalar önem arz etmektedir.

Biyogaz üretimi sera gazı etkilerini de azalttığından atık azalmasını sağlayacak ve enerjiye dönüşümü sağlanmış olacaktır. Kyoto Protokolünde Türkiye’inde aktif rol alması; teknoloji üretimi, vasıflı personel ve mali destek problemlerini çözerek biyogaz üretimini yaygınlaştırması konusu oldukça önemlidir.

Biyogaz üretim teknolojisi konusunda Türkiye yeterli düzeyde olmayıp ülkemizin bu alanda başarılı olabilmesi ve kendini ileri seviyelere taşıyabilmesi için araştırma ve geliştirmeye önem verilmelidir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar belirli bir bilgi birikimi ve tesis maliyetlerinin karşılanması ile sağlamıştır. Ancak bunlarda gerekli seviyelerde değildir. Yapılması gerekenler kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Biyogaz tesislerinin inşaat tipleri ve kapasite güçlerinin kurulacağı bölge koşullarına göre belirlenmesi ve geliştirilmesi,
- Maliyeti düşük ve yöresel izolasyon malzemelerinin saptanması,
- Organik atıklardan gaz oluşum imkanlarının analiz edilerek gaz verimliliğine göre tarımsal alanlarda bu ürünlerin yaygınlaşmasının sağlanması,
- Biyogaz tesislerinden elde edilen likit gübrenin tarımsal faaliyetlerin etkilerinin değerlendirilmesi örnek projelerde çıkan gübrenin analiz sonuçlarının incelenmesi,
- Biyogaz tesislerinden elde edilen gübrenin kullanım alanına transferi ve dağıtım sisteminin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Biyogazın çevre sağlığına olan artılarının değerlendirilmesi,
- Kırsal kesimde biyogaz üretiminin yaratacağı sosyo-ekonomik durumların araştırılması.

1980-1986 Seneleri arasında biyogaz üretimi hususunda; TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından her il merkezinde üç adet, bölge merkezlerinde beş adet biyogaz tesisinin inşası konusu değerlendirilmiş ve bu tesislerin çoğu işletmeye açılmıştır. Aynı zamanda, kendi imkânları ile biyogaz tesisi kurmak ve işletmek isteyen şahıs ve kuruluşlara kredi ve teknik yardım imkanı sunulmuştur. Bu imkan sayesinde işletmeye alınan tesislerinin büyük kısmı aşağıda belirtilen sebeplerden ötürü işletilemediği tespit edilmiştir.

Tesis inşaatı hususunda eğitim konusundaki eksiklikler nedeniyle inşaat hataları meydana gelmiştir. İşletme sahipleri teknik bilgi eksikliği sebebiyle tesisleri işletme konusunda yeterli olamamışlardır. Konu hakkında danışman bir kuruluşa bulamamışlardır. Avcıoğlu ve Türker ülkenin hayvansal atıklardan sağlanacak biyogaz enerji potansiyelini araştırmıştır ve Türkiye biyogaz potansiyeli 2.18 Gm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

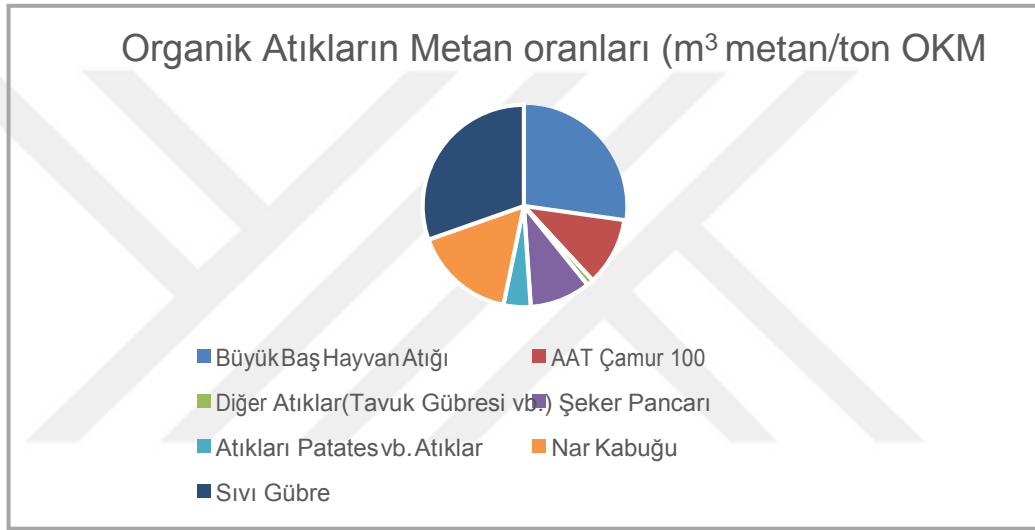
Toplam biyogaz potansiyeli % 5 küçükbaş, % 17 kümes hayvanı ve % 68 sığır artıklarından sağlanmıştır. Ülkemizde daha çok biyogaz enerji potansiyeline sahip olan yerler Bolu, Ankara, Balıkesir, Erzurum , Sakarya, Kars , Manisa, Afyon, Konya ve İzmir'dir.

Bu çalışma Aksaray Biyogaz tesisinde organik atıklardan metan eldesi potansiyelini belirlemek için yapılmıştır. Araştırma sürecinde biyogaz tesisine gelen organik atıklar kullanılmıştır. Numuneler biyogaz sistemine beslenmeden önce BMP cihazı ile metan ölçümü yapılarak sisteme beslenmektedir. Sisteme beslenen atıklar daha sonra otomasyon sisteminde takip edilerek ortalama metan oranı belirlenmektedir.

(BMP) testleri, Biyolojik veya biyokimyasal metan potansiyelini belirlemek için kullanılır. Bu testte amaç laboratuvar koşullarında biyobozunurluk ve atıkların biyolojik bozulma oranı veya biyokütlenin nihai metan potansiyelini belirlemektir. Geleneksel bir BMP testi, bir ürünün biyobozunurluğunun bir ön göstergesidir. Yani substrattan anaerobik sindirim yoluyla metan üretme potansiyeli. Numunenin anaerobik ortamda kontrollü sıcaklıkta parçalanması sonucunda salınan gazın hacmi ve gaz kromatografisi kullanılarak gaz bileşimi analiz edilmektedir.

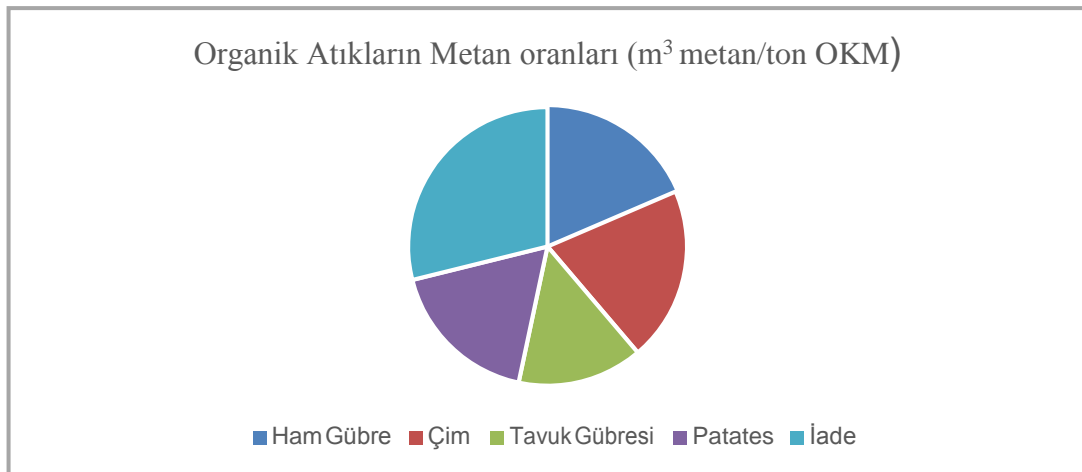
Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) BMP testi verilen metan üretimini belirlemek için geliştirilen basit bir toplu testtir. Test boyunca anaerobik bakteri ile aşılansmış bir substratın 30 ila 60 günlük bir süre boyunca inkübe edilmesi ile birlikte biyogaz üretiminin izlenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.

Organik atıkların metan verimi sisteme beslendiği süreçte sürekli otomasyon sistemi ile takip edilmiştir. Organik atıklarından alınan numunelerden BMP cihazı ile metan analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında 15 günlük bekleme süresi ile elde edilen veriler Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Organik atıkların metan oranları.

Çalışma kapsamında 40 günlük bekleme süresi ile elde edilen Şekil 5.2' de verilmiştir.



Şekil 5.2. Organik atıkların metan oranları.

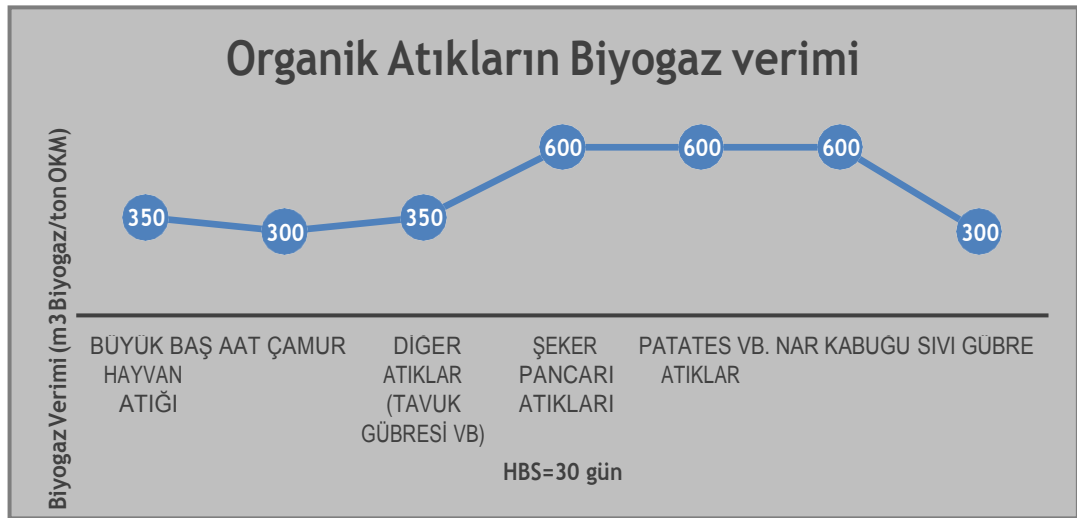
Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) BMP testi farklı HBS için değişik organik atıklar için metan verimi verilmiştir.

BMP cihazı haricinde otomasyon sistemi ile sistem içerisinde gaz oluşumu takip edilmiştir. Anaerobik çürütme prosesin çalışma sıcaklık noktaları 55°C, hidrolik bekleme süresi 30 gündür. Bu şartlarda biyogaz tesisinde oluşan Biyogaz verimi ve metan oranı Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Biyogaz tesisine beslenen organik atıkların metan değerleri.

Biyokütle	Miktar(ton/gün)	%KM	%OKM	m <sup>3</sup> Biyogaz/ ton OKM	%CH <sub>4</sub>
Büyük Baş Hayvan Atığı	250	5,7	85	350	55
AAT Çamur	100	2	75	300	55
Diğer Atıklar	10	25	85	350	60
Şeker Pancarı Atıkları	89	20	95	600	60
Patates vb. Atıklar	40	20	95	600	60
Nar Kabuğu	150	25	95	600	55
Sıvı gübre	279	2	85	300	55

Çizelge 5.1’de yer alan verilere göre biyogaz verimi Şekil 5.3’de verilmiştir.



**Şekil 5.3.** Organik atıkların biyogaz verimleri.

Biyogaz tesisine farklı işletmeden gelen atıkların KM, OKM, CH<sub>4</sub> ve biyogaz verimi Çizelge 5.2’de verilmiştir. Değerler otomasyon sisteminde takip edilirken süreç çalışma sıcaklığı ve HBS aynıdır.

**Çizelge 5.2.** Biyogaz tesisine beslenen organik atıkların metan değerleri.

Atık Adı	Günlük Atık Miktarı ton/gün	%KM	% OKM	m <sup>3</sup> Biyogaz/ ton OKM	m <sup>3</sup> Biyogaz/ ton OKM
Büyük Baş Hayvan Atığı	450	7	85	350	55
AAT Çamur	50	2	75	300	55
Diğer Atıklar (Tavuk Gübresi vb)	80	25	85	350	55
Şeker Pancarı Atıkları	40	25	95	600	65
Patates vb. Atıklar	100	25	95	600	65

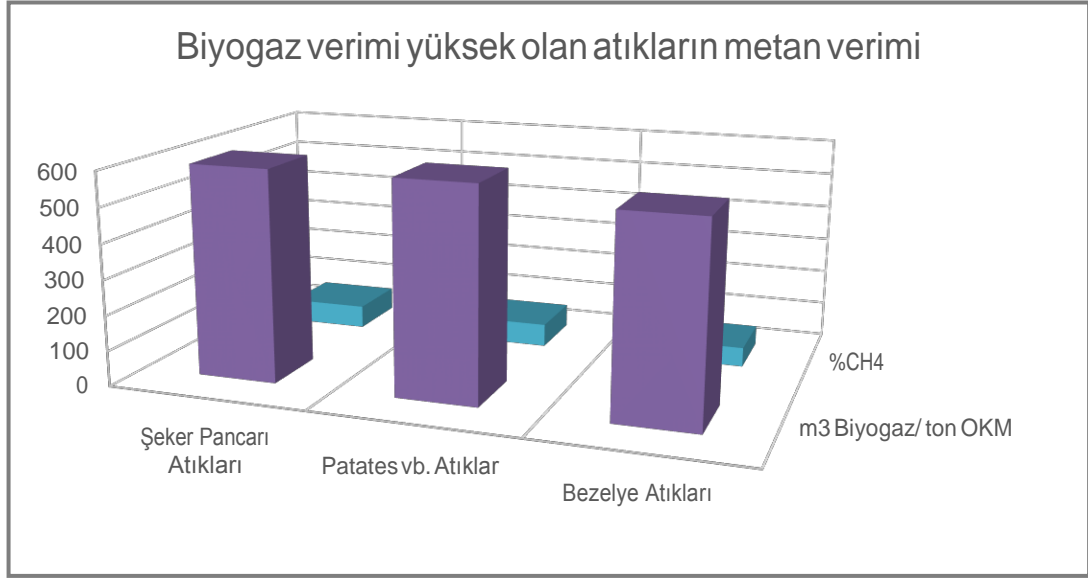
Çizelge 5.2’de yer alan verilerine göre biyogaz verimi Şekil 5.4’de verilmiştir.



**Şekil 5.4.** Organik atıkların biyogaz verimleri.

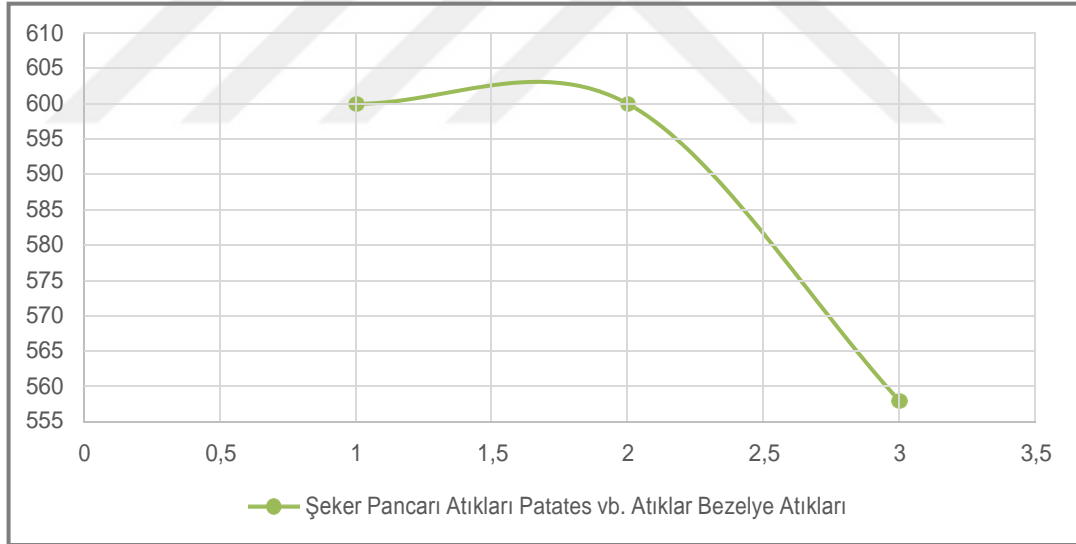
BMP cihazı ve otomasyon sistemi incelenmesi sonucunda elde edilen veriler neticesinde en çok biyogaz verimi ve metan verimi olan organik atıklar patates, bezelye ve şekerpancarıdır. Biyogaz tesisine patates, bezelye ve şekerpancarı atığı beslendiği durumda oluşacak biyogaz içerisindeki metan verimi Şekil 5.5’de verilmiştir.





**Şekil 5.5.** Biyogaz verimi yüksek olan atıkların metan verimi.

Biyogaz tesisine patates,bezelye ve şekerpancarı atığı beslendiği durumda oluşacak biyogaz verimi Şekil 5.6’da verilmiştir.



**Şekil 5.6.** Biyogaz verimi yüksek olan atıklar.

Gıda atıklarının biyogaz üretimi için uygun bir atık olduğu literatürde ve yapılan analiz sonuçlarında da görülmektedir. Organik atıkların geniş kolu olan bu atık grubu göz ardı edilmemelidir. Sonuçlarda da görüldüğü gibi şeker pancarı, patatesi atığı ve bezelye kabuğunu ile hayvan gübresi karıştırıldığında biyogaz üretiminden daha iyi verim elde edileceği düşünülmektedir. Biyogaz üretim teknolojisi organik kökenli atık maddelerden hem enerji elde edilmesini sağlar, hem de atıkları toprağa yüksek kaliteli

gübre şeklinde kazandırılmasına imkân sağlar. Ülkemizde organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Organik potansiyelin böylesine yüksek olduğu ülkemizde evsel organik katı atıklar ve bunların önemli bir kısmını oluşturan sebze meyve halinden çıkan organik atıklar ile diğer organik atıklardan biyogaz elde eden tesislerin kurulması ile önemli bir miktarda enerji kazanımı söz konusu olacaktır



## KAYNAKLAR

1. Afilal, M.E., Bakx, A., Belakhdar, N. ve Membrez, Y., 2010. evaluation of the biogas potential of organic waste in the northern provinces of morocco, *Revue des Energies Renouvelables*, Switzerland,13, 1, 249-255.
2. Akbulut, A., Dikici, A. 2004., Elazığ İlinin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi, Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, Elazığ,36-41.
3. Alçıçek, A., 1994. Çiftlik gübrelerinin biyogaz teknolojisinde kullanılması, *Ekolojik Çevre Dergisi*, 1, 13, 5-9.
4. Anonim, 1998. Biogas ve More(Dergi), Anaerobic digestion systems and markets overview, Iea bioenergy, anaerobic digestion activity, Resource Development Associates, Washington DC, USA, 37, 1, 4-18.
5. Ardıç, İ. ve Taner F., 2001. Biyokütleden biyogaz üretimi, *Anaerobik Arıtımın Temelleri 1*,Mersin,1-5.
6. Armağan, B., Yıldız, H. ve Arslan, A., 2008. Gap bölgesi çiftlik atıklarından biyogaz üretme potansiyelinin incelenmesi, VII Ulusal Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 313-322.
7. Başçetinçelik, A., Öztürk, A.ve Karaca, C., 2007. Türkiye’de Tarımsal biyokütleden enerji üretimi olanakları, IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,Kayseri,4,URLAdres:[http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/32590c74a2229a9f\\_ekpdf?dergi=563](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/32590c74a2229a9f_ekpdf?dergi=563) Erişim tarihi:05.11.2018.
8. Björnsson, L., 2000. Intensification of the biogas process by improved process monitoring and biomass retention. doctoral dissertation, department of biotechnology, Lund University, İsveç,54, 1, 844-849.
9. Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Marouani, L., Hamdi, M., 2004. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste, *Process Biochemistry*, 39, 1, 2143-2148.
10. Braun, R., Weiland, P. ve Wellinger, A. 2009. Biogas from energy crop digestion task , *Energy from Biogas and Landfill Gas, Germany*, ,37,1,20 ,URL adres: [http://www.iea-biogas.net/\\_download/energycroup\\_def\\_Low\\_Res.pdf](http://www.iea-biogas.net/_download/energycroup_def_Low_Res.pdf) Erişim tarihi 05.11.2018.
11. Buss, M. ve Seyfert, S., 2010. Biogas potential in rio grande do sul. an examination of the potential for biogas from pig production, *Deutsche EnergieAgentur GmbH (dena) German Energy Agency International Cooperation, Germany*,20-25.

12. Dimitrova, D., Georgiev, K.,Cheriyska, I.,Garvanska, S.M. ve Kolev, N., 2009. Biogas potential in bulgaria summary report, Institute of soil science nikola pushkarov, Bulgaria,82-90.
13. Dzene, I., 2009. Biogas potential in latvia, summary report, Latvia,3, 3,16-20.
14. Ersoy, Y., 2007. İzmir evsel çöpünden biyometan şeklinde enerji geri kazanılabilirliği, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
15. Eryaşar, A., 2007. Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.
16. EÜFBED -Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012. Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları,15, 28, 15-25.
17. Evliya, H., 1964. Kültür bitkilerinin beslenmesi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 36, 1, 3-5.
18. Fall, A., Werner, C., 2011. Biogas options and potential for Burkina Faso, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Ecological Sanitation Program, Division 44 Environment and Infrastructure, Germany,URLadres:<http://www.sustainablesanitationalliance.org/documents/5thmeeting/day2/en-susana-durban-presentation32-biogas-for-life-abdoulayefall.pdf> Erişim tarihi: 05.11.2018.
19. Gülzow,2010. Biyogaz Kılavuzu, 1,5,10-35.
20. Haefke, C., 2010. Biogas to Energy Potential in Illinois, U.S. DOE Midwest Clean Energy Application Center, 10th Annual Conference on Renewable Energy from Organics Recycling Des Moines, October 18-20, Iowa, USA, URL adres: [http://www.chpcentermw.org/pdfs/101810\\_Haefke2.pdf](http://www.chpcentermw.org/pdfs/101810_Haefke2.pdf) Erişim Tarihi: 05.11.2018.
21. Igonı A. H., Ayotamuno, M.J., Eze C.L., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D., 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste, Applied Energy, 85, 1, 430-438.
22. İleri, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları, Adapazarı,661.
23. Juanga, J.P., 2005. Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste, Asian Institute of Technology, Thailand, 170.
24. Kalyuzhnyi, S., 2008. Energy Potential of Anaerobic Digestion of Wastes Produced in Russia Via Biogas and Microbial Fuel Cell Technologies, Russia, 80, 10, 2115- 2124.

25. Koçer, N., Öner, C. ve Sugözü, İ., 2006. Türkiye’de hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi, Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, Elazığ, 17-20.
26. Konstantinos, S., 2009. Biogas potential in greece, Summary Report, Greece,2 , 2,10- 21.
27. Kossmann, W., Pönitz, U., 1999. Biogas Digest, Biogas Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany, URL adres:<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogasvolumel.pdf> Erişim tarihi: 05.11.2018.
28. Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. 1999. Biogas digest, biogas, country reports volume iv, information and advisory service on appropriate technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany, URL adres:<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogasvolumel3.pdf> Erişim tarihi: 05.11.2018.
29. Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H., 1999. Biogas digest, GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic, Germany, URL adres:<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogasvolumel4.pdf> Erişim tarihi: 05.11.2018.
30. Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, D.Y. ve Avcı, D.E. 2001. Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin,7.
31. Limmeechokchail, B., Chawana, S., 2004. Implication of biogas potential in thailand, The case study of livestock farm, the joint international conference on sustainable energy and environment, Thailand, 9, 22, 912-914.
32. Metcalf, E., 2003. Wastewater engineering, Mc Graw Hill, New York.23-27.
33. Onurbaş A., Eliçin A.K., 2010. Ankara’nın hayvansal atıklardan biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünün belirlenmesi, 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Hatay,356-362.
34. Onurbaş, A., 1993. Tarımda kullanılan sabit patlamalı motorlarda çeşitli gaz yakıtların kullanımını sağlayacak karıştırıcı geliştirilmesi, TÜBİTAK Doğa Dergisi Cilt 17, Ankara, 17, 3, 559-568.
35. Organize Sanayi Bölgesi Enfaş Biyogaz tesisi işletme planı, 2013, Aksaray.

36. Öztürk, M., 2018. Atıksuların havasız şartlarda arıtımı esasları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 9-15.
37. Öztürk, İ., 1999. Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 320.
38. Öztürk, M., 2005. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 53.
39. Toruk, F. ve Eker, B., 2003. Trakya bölgesinde biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 1-6.
40. Türker, M., UTES 2008. Anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi dünya’da ve Türkiye’de eğilimleri, 2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 22-24 Ekim, ODTÜ, İstanbul, 228-236.
41. Verma, S., 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, department of earth and environmental engineering, 56.
42. Wellinger, A., Edelman, W., Favre, R., Seiler, B. Ve Worschitz. D., 1984. Biogas handbuch, Grundlagen Planung Betrieb Landwirtschaftlicher Biogasanlagen, Verlag Wirz, Aarau.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Saadet Özen

**Adres** : Bayraktar Mah. Zülfikar Sokak Ankara/Çankaya

**E-posta adresi** : [saadetozen@gmail.com](mailto:saadetozen@gmail.com)

**Telefon numarası** : 0554 554 04 49

### EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

**Lisans** : Aksaray Üniversitesi, 2010-2014

**Yüksek Lisans** : Aksaray Üniversitesi, 2014-

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Ankara Büyükşehir Belediyesi ASKİ Genel Müdürlüğü/ Laboratuvar Stajı
2. İller Bankası/İşletme Stajı
3. Biyogaz Tesisi / Çevre Mühendisi
4. Çevre Danışmanlık ve ÇED Firması / Çevre Mühendisi
5. Telekomünikasyon Sektörü / Çevre Mühendisi-İSG Uzmanı