

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BİYOGAZ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ,  
SAFLAŞTIRILMASI VE ASKERİ BİRLİKLER İÇİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAMİL YAVRUCU**

**Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı  
Savunma Teknolojileri Programı**

**AĞUSTOS 2019**

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BİYOGAZ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ,  
SAFLAŞTIRILMASI VE ASKERİ BİRLİKLER İÇİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAMİL YAVRUCU**

**(151202004)**

**Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı  
Savunma Teknolojileri Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

**AĞUSTOS 2019**



T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı 151202004 numaralı öğrencisi **Kamil YAVRUCU'nun** "BİYOGAZ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ, SAFLAŞTIRILMASI VE ASKERİ BİRLİKLER İÇİN ANALİZİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 31/07/2019 tarih ve 2019/15 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **aybırığı** ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :

09.09.2019

1) Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Zafer UTLU

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Selman ÇAĞMAN

**Not:** Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “BİYOĞAZ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ, SAFLAŞTIRILMASI VE ASKERİ BİRLİKLER İÇİN ANALİZİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (23/08/2019).

Kamil Yavrucu

## TEŐEKKÖRLER

Bu çalıőmanın ortaya konulmasında Őahsıma yardımcı olan, ufkumun geniőletilmesini saęlayan, her tűrlű bilgi ve tecrűbesinden yararlandıęım deęerli hocam Dr. Őęr. Őyesi Bűlent İmamoęlu, desteklerini esirgemeyen deęerli bűyűęűm Filiz Aędemir ve her zaman yanımda olan aileme teőekkűrlerimi bir borç bilir saygılarımı sunarım.

Ağustos 2019

Kâmil YAVRUCU

## ÖNSÖZ

Bu çalışma yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogazın gelişimi adına detaylıca incelenmesi, yöntemlerinin belirlenmesi, avantajları ve dezavantajlarının saptanması, saflaştırılması ve doğalgaz hatlarında kullanılmasının araştırılması ve askeri birliklere entegre edilmesi hususunda teorik bir analiz çalışmasının yapılması ve sonuçlarını bilgilendirmek, yapılan ve yapılacak çalışmalara katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Dünyadaki gelişmeler ve enerjinin geleceği adına yerli ve yabancı kaynaklar incelenmiş ve doğalgaz hatlarına beslemesiyle ilgili detaylı bilgiler verilip kullanımı adına bir fikir olması amaçlanmıştır.

Çalışmamda destek olan kamu ve özel sektör tesis çalışanları, Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Millî Savunma Bakanlığı, biyogaz dernekleri yerli ve yabancı basındaki yayınlar ve yazarlarına teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ağustos 2019

Kâmil YAVRUCU

Makine Mühendisi

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
KISALTMALAR .....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Biyogaz .....	3
1.2 Biyogazın Geçmişi.....	3
1.2.1 Dünya’da biyogaz .....	5
1.2.2 Türkiye’de biyogaz.....	10
1.3 Biyogaz Destekleri .....	13
<b>2. BİYOGAZ ÜRETİMİ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Biyogaz Oluşumu .....	18
2.1.1 Hidroliz .....	20
2.1.2 Asitojenesis .....	20
2.1.3 Asetojenesis .....	21
2.1.4 Metan üretimi .....	22
2.2 Biyogaz Üretim Yöntemleri ve Sistemleri.....	23
2.2.1 Besleme yöntemlerine göre biyogaz sistemleri .....	23
2.2.1.1 Sürekli beslemeli tip sistemler.....	24
2.2.1.2 Kesik beslemeli tip sistemler .....	25
2.2.2 Reaktör tasarımına göre biyogaz sistemleri .....	26
2.2.2.1 Sabit kubbeli biyogaz sistemleri .....	27
2.2.2.2 Hareketli kubbeli biyogaz sistemleri.....	29
2.2.2.3 Balon tipi biyogaz sistemleri.....	31
2.3 Biyogaz Sistem Bileşenleri .....	33
2.3.1 Biyogaz reaktörleri .....	33
2.3.2 Biyogaz depolama üniteleri .....	33
2.3.3 Organik madde depoları.....	34
2.3.4 Reaktör ısıtma sistemleri.....	34
2.3.5 Diğer üniteler.....	36
2.4 Diğer Süreçler .....	37
2.4.1 Organik atık tedarik .....	37
2.4.2 Depolama .....	37
2.4.3 Hazırlama.....	38

2.4.4 Nakliyat ve yükleme .....	40
2.4.5 Fermente olmuş atıkların alınması depolanması .....	40
2.4.6 Biyogazın depolanması .....	41
2.4.6 Yan düzenekler .....	41
<b>2.5 Biyogaz Üretimine Etki Eden Faktörler .....</b>	<b>42</b>
2.5.1 Sıcaklık etkisi .....	42
2.5.2 Ph etkisi .....	45
2.5.3 C/N oranı .....	46
2.5.4 Hidrolik bekleme süresi (HBS) .....	47
2.5.5 Organik yükleme hızı (OYH) .....	47
2.5.6 Katı madde içeriği ve organik madde oranı .....	48
<b>3. BİYOGAZ SAFLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>50</b>
3.1 CO <sub>2</sub> Gazının Saflaştırılması .....	51
3.2 H <sub>2</sub> S Saflaştırılması .....	56
3.3 Biyogaz İçerisindeki Nemin Saflaştırılması .....	59
<b>4. BİYOGAZDAN DOĞALGAZ .....</b>	<b>62</b>
4.1 Doğalgaz Kalitesine Getirme Ve Besleme .....	62
4.2 Doğalgaz Hatlarında Kullanımı .....	63
4.3 Türkiye'deki Durum .....	66
<b>5. ASKERİ BİRLİKLER İÇİN BİYOGAZ SİSTEM ANALİZİ .....</b>	<b>67</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>72</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>75</b>



## **KISALTMALAR**

- AB** : Avrupa Birliği  
**A.Ü** : Ankara Üniversitesi  
**YEK** : Yenilenebilir Enerji Kaynakları  
**EPDK** : Enerji Piyasası Denetleme Kurumu  
**TBMM** : Türkiye Büyük Millet Meclisi  
**KDV** : Katma Değer Vergisi  
**DAP** : Doğu Anadolu Projesi  
**UV** : Ultraviyole  
**HBS** : Hidrolik Besleme Süresi

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : Metan gazı içeriği .....	3
Çizelge 1.2 : Dünyada biyogaz üretim değerlerinin artışı .....	4
Çizelge 1.3 : 2017 Yılı sonu Yenilenebilir Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri (GW)....	5
Çizelge 1.4 : 2017 Avrupa’da yenilenebilir enerjinin toplan enerjiye olan payı .....	6
Çizelge 1.5 : AB ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji yüzdeleri.....	6
Çizelge 1.6 : Dünya üzerindeki bazı ülkelerin biyogaz tesis sayısı.....	7
Çizelge 1.7 : 2015 Avrupa Ülkelerinin biyogaz tesis sayıları .....	8
Çizelge 1.8 : Almanya’nın yıllara göre tesis sayısı artışı .....	8
Çizelge 1.9 : 2016-2017 AB ülkelerinde Biyogaz Üretimi .....	9
Çizelge 2.1 : Biyogaz genel özellikleri.....	16
Çizelge 2.2 : Organik atıkların biyogaz verimleri ve oranı .....	17
Çizelge 2.3 : Biyogaz oluşum aşamaları.....	22
Çizelge 2.4 : Sabit kubbeli biyogaz sistemlerinin avantajları ve dezavantajları .....	28
Çizelge 2.5 : Hareketli Kubbeli Tip Biyogaz Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları	31
Çizelge 2.6 : Balon tipi biyogaz sisteminin avantaj ve dezavantajları .....	32
Çizelge 2.7 : Organik maddelerin C/N oranı .....	46
Çizelge 2.8 : Farklı maddelerin Katı ve Organik madde içerikleri.....	49
Çizelge 3.1 : Bazı gazların 20°C ve 1 atm basınç altında sudaki çözünürlüğü.....	51
Çizelge 3.2 : Doğal sentetik zeolitlerin CO <sub>2</sub> ve H <sub>2</sub> S absorblama değerleri.....	54
Çizelge 3.3 : Yöntemlerin avantaj ve dezavantajları .....	55
Çizelge 3.4 : Uygulamalara göre kabul edilebilir maksimum H <sub>2</sub> S konsantrasyonu..	57
Çizelge 3.5 : İçerdiği H <sub>2</sub> S miktarına göre biyogaza hava ve oksijen verilme oranı..	58
Çizelge 4.1 : Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması .....	62
Çizelge 4.2 : Avrupa’daki metan üretimi yapılan tesis sayısı .....	64
Çizelge 4.3 : Şebekeye aktarılan Biyometanın toplam biyogaza oranı (GWh/h).....	65
Çizelge 5.1 : Günlük üretilebilecek biyogazın özellikleri .....	68

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1	: 2013-2014 Dünyada biyogaz üretimi .....	7
Şekil 1.2	: Türkiye 2019 kurulu gücü .....	11
Şekil 1.3	: 04.08.2018 Cumartesi günü elektrik üretimi oranları .....	12
Şekil 2.1	: Biyogaz oluşum safhaları .....	19
Şekil 2.2	: Sürekli tip reaktör .....	24
Şekil 2.3	: Kesik beslemeli tip reaktör .....	25
Şekil 2.4	: Tasarım reaktör çeşitleri .....	26
Şekil 2.5	: Sabit kubbeli biyogaz sisteminin yapısı .....	27
Şekil 2.6	: Sabit Kubbeli Biyogaz Sistemlerinin Bileşenleri .....	29
Şekil 2.7	: Hareketli kubbeli biyogaz sistemleri .....	30
Şekil 2.8	: Balon tipi biyogaz tesisleri .....	32
Şekil 2.9	: Dahili ısı eşanjörlü reaktör iç dizaynı .....	35
Şekil 2.10	: Parçalama ünitesi .....	39
Şekil 2.11	: Biyogaz üretimi çalışma sıcaklıkları .....	43
Şekil 2.12	: Sıcaklığın bekleme süresi üzerindeki etkisi .....	44
Şekil 2.13	: Ph'nin biyogaz üretim hızına etkisi .....	45
Şekil 3.1	: Su ile yıkama ünitesi .....	52
Şekil 3.2	: Polietilenle yıkama ünite .....	53
Şekil 4.1	: Avrupadaki biyometan tesisleri sayısı .....	64

# BİYOĞAZ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ, SAFLAŞTIRILMASI VE ASKERİ BİRLİKLER İÇİN ANALİZİ

## ÖZET

Geleneksel enerji kaynaklarının tükenir özellikte oluşu ve yapılan bilimsel çalışmalarla belli bir süre sonra tamamen biteceğinin kanıtlanması tüm dünyayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye zorlamaktadır. Gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve daha temiz, yaşanılır bir dünya bırakmak için yenilenebilir kaynaklara verilen önem daha da artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli çeşitlerinden biri olan biyogaz alternatif enerji kazanımı, atıkların bertaraf edilmesi, karbon emisyonunun düşürülmesi, doğaya katkı sağlaması ve çeşitli kullanım alanlarından dolayı çok önemlidir. Biyogaz üretimi, organik atıkların anaerobik aşamalardan geçirildikten sonra elde edilen gazın içerisindeki metan gazının kullanıma dayanmaktadır. Biyogaz üretimiyle birlikte organik atıklardan geriye toprağa verimli, kullanılabilir, patojenleri giderilmiş tarımda kullanılabilen gübre de üretilmektedir. Türkiye önemli bir tarım ülkesi olduğu için biyogaz potansiyeli oldukça yüksek bir ülkedir fakat gerektiği önemi ve değeri önceki yıllarda bulamamıştır. Gelişen teknolojiler, bilgi ve tecrübeler doğrultusunda devlet destekleriyle her geçen gün üretim hacmi ve kapasitesini arttırmaktadır. Bu çalışmada enerji konusuna, Dünya'daki ve Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarına, kullanım oranlarına, biyogaz üretimine, üretim teknolojilerine, biyogazın veriminin artırılmasına, biyogaz saflaştırma yöntemlerine ve biyogaz saflaştırmasının kullanılmasıyla birlikte doğalgaz kalitesine getirilip doğalgaz yerine kullanılabilirliğine ve askeri birlikler için analizine değinilmiştir. Biyogaz saflaştırma yöntemleri detaylıca incelenmiş, dünya üzerindeki kullanılma oranları analiz edilmiş, ülkelerin geleceğe dair hedefleri incelenmiş, avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Sektörde kamusal ve özel işletmeler ziyaret edilip yerinde görülmüş ve bilgi alınmış, üreticilerle fikir alışverişinde bulunulmuş, yerli ve yabancı basında yayınlanan raporlar ve makaleler incelenmiş, ülkelerin üretim planlamaları ve biyogazın doğalgaz hatlarına iletim hedef raporları incelenmiştir. Dünya üzerindeki gelişmelerle birlikte ülkelerin biyogazdan doğalgaz hattını besleme oranlarına bakılmış, Türkiye'deki durum incelenmiş ve gelecekte daha da önemini arttıracak olan bu yöntemin uygulanması için Türkiye'de yapılan ve yapılacak olan çalışmalara destek olması amaçlanmıştır. Bu sayede Türkiye'nin enerji dar boğazına girme ihtimalleri göz önünde buldurularak, kendi öz kaynaklarını kullanması, ekonomik olarak giderlerin azaltılması, azaltılan bu giderlerin savunma eğitim ya da sağlık gibi önemli sektörlerde kullanılabilmesini, yapılacak projelerle savunmaya da destek vererek, askeri birliklerin faydalanabileceği hedef alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** *Biyogaz, Saflaştırma, Doğalgaz, Savunma, Yenilenebilir Enerji, Biyogaz Saflaştırma*

# RESEARCH OF BIOGAS PRODUCTION PARAMETERS, PURIFICATION AND ITS ANALYSIS FOR MILITARY FACILITIES

## ABSTRACT

The fact that traditional energy sources are consumable and scientific studies prove that after a certain period of time the traditionally produced energy will end completely forces the whole world to focus on renewable energy sources. The importance given to renewable resources is increasing, to save energy for future generations and to leave a safer, cleaner, livable world. Biogas, which is one of the most important types of renewable energy sources, is very important because of alternative energy recovery, waste disposal, carbon emission reduction, contribution to nature and various usage areas. The production of biogas is based on the use of organic wastes after the anaerobic processes. Fertile, usable, pathogen-free, soil that can be used in agriculture is produced with biogas production. Turkey is a country of biogas potential is very high, because it is an important agricultural country, however, it did not find the necessary importance and value in previous years. With the help of developing technologies, knowledge, experience and government support, production volume and capacity is increased recently. In this study in renewable energy, renewable energy sources in the world and Turkey, their use rates, the biogas production technologies, to increase the biogas yield, its analysis for military facilities, availability of natural gas instead of after biogas purification processes and brought into biogas purified natural gas quality. Biogas purification methods studied in detail in this study. In addition, the rates of use on the world were analyzed, countries' future goals, advantages and disadvantages. Public and private enterprises in the energy sector were visited, biogas production was observed on site and information was received. The idea was shared with Biogaz producers. Reports and articles published in local and foreign press. Countries' production planning and transmission target reports of biogas to natural gas lines. In the research, it studied from the countries' biogas to natural gas line feed rates, with new technological developments. Biogas production situation in Turkey were examined. As a general approach, it aims to support the work that was done and to be done in Turkey, which will increase its importance for the implementation of this method in the future. Assuming the possibility of Turkey's energy entering the restriction was investigated by the country's use of its own resources, the reduction of economic costs, reduced availability of vital areas such as education and health of these defense costs. Thanks to local biogas production, projects in this area and supporting the defense industry were researched, biofuel production that could be utilized by military units.

**Keywords:** *Biogas, Purification, Natural Gas, Defence, Renewable Energy, Biogas Purification*

## 1. GİRİŞ

Enerji, sosyal ve ekonomik gelişmişliğin bir göstergesi olarak tüm dünyanın ortak sorunu ve ihtiyaçlarının en başında gelmektedir. Tüm ekonomik birimler için en önemli sorunların başında enerji girdileri gelmektedir. Enerji; nüfus ve kentleşme oranındaki hızlı artış ve enerji kaynakları arzında yaşanan sorunlar sonucunda en pahalı üretim girdilerinden biri olmuştur. Özellikle fosil yakıtlarda meydana gelen maliyet artışları ve bilimsel çalışmalar sonucunda ispatlanmış tükenmişliğe doğru giden fosil yakıtlar ile birlikte tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını konusundaki çalışmalar, önemli ve hızlı bir şekilde tüm dünyada etkisini arttırmaktadır. Her geçen gün artan sanayileşme ve nüfustan dolayı, artan sera gazı salınımının güneş ısınlarını geri yansıtması yeryüzündeki sıcaklık dengelerini etkilediği için küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu yüzden de yenilenebilir enerji kaynakları daha yaşanılabilir bir dünya için daha da önemli bir konu haline gelmektedir.

Bu önemli hale gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de biyogazdır. Geçmişten bugüne ilkel yollardan daha teknolojik hale gelen ve önemini her geçen gün arttıran biyogaz tüm dünyada üretim hacmini arttırmaya devam etmektedir. Hayvansal, bitkisel, evsel atıklarla birlikte endüstriyel atıkların oksijensiz ortamda fermantasyona uğramasıyla elde edilen yanıcı bir gazdır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz, doğadaki CO<sub>2</sub> salınımını önemli ölçüde azaltır, atıkların bertaraf ve depolanması sorununa katkı sağlayarak, içerisindeki çeşitli gazlardan arandıktan sonra da organik tarıma ve toprağa önemli ölçüde verim sağlar.

Ülkemiz biyokütle kaynakları ve organik atık kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Fakat ülkemiz ürettiği enerjinin yaklaşık üç katını tüketen bir ülkedir. Bu nedenle enerji ihtiyacı açısından dışarıya bağımlılığımız %70 in üzerindedir. Ayrıca Türkiye'nin biyogaz potansiyeli mevcut doğal gaz kullanımının %88'ine eşdeğerdir [1]. Bu yüzden de biyogaz kaynaklarının kullanımı önemli bir enerji kaynağı olarak yüksek oranda potansiyel arz etmektedir.

Geniş bir kullanım alanı olan biyogaz, küresel ısınmaya önlem olmakla birlikte, elektrik üretimi akaryakıt ve ısı kaynağı olarak kullanılabilirdiğinden enerji amacıyla dışa bağımlılığı azaltırken aynı zamanda, atık arıtım yöntemi olması, toprak iyileştirici olarak tarımsal üretimde verimliliği artırması yönlerinden gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Enerji bitkileri üretimiyle bölgesel gelişime ve kırsal kalkınmaya katkı sağlanırken, biyogaz üretimi ile atıkların toplanıp, işlenmesi, elde edilen ürünün toprak iyileştirici olarak pazarlanması, ısı, elektrik, akaryakıt olarak kullanılması, istihdam yaratabilmesi ve böylelikle ekonomiye katkı sağlanması atıkların biyogaz üretiminde kullanılmasının diğer önemli avantajlarıdır.

Metan gazı üretiminin artırılmasına yönelik, Avrupa Birliği Uyum Yasaları ve Tübitak 2023 enerji gösterim planları doğrultusunda özellikle kırsal kesimlerde teşvik projeleri uygulanmaktadır. Tübitak 2023 yılı vizyonunda;

1) Türkiye'nin Ulusal kaynaklarına öncelik veren, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanan ve geliştirebilen,

2) Gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan,

3) Uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilen ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilen, bir Türkiye" görülmek isteniyor. Bu hedefe ulaşmak amacıyla temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağı olan biyogaza yönelik çalışmalar artırılmaktadır.

Bu tezde amaç, önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogazın, Dünya'da ve Türkiye'de kullanımı üretimi üretim yöntemleri detaylıca incelenip, biyogaz saflaştırma yöntemleriyle biyogazın saflaştırılması ve doğalgaz kalitesinde gaz elde edip doğalgaz hatlarına iletilmesi konusu ele alınıp, bu yöntemleri kullanan ülkeler araştırılıp geleceği hakkındaki durum gözden geçirilerek Türkiye'de uygulanmayan bu yöntemin yapılış ya da gelecekte yapılacak olan çalışmalara ve uygulamalara bir destek olması ve biyogazın askeri birlikler için analizinin araştırılmasıdır.

## 1.1 Biyogaz

Bilinen en eski enerji kaynaklarından biri olan biyogaz, oksijensiz bir ortamda (anaerobik) biyolojik süreçlerden geçen organik atıklardan elde edilen bir gazdır. İçeriğinde CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S ve az miktarda H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO bulundurmaktadır.

**Çizelge 1.1 : Metan gazı içeriği**

İçeriği	Birim	Biyogaz
Metan (CH <sub>4</sub> )	Hacim (%)	50-75
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	Hacim (%)	25-45
H <sub>2</sub> O	Hacim (%)	1-2
Azot (N <sub>2</sub> )	Hacim (%)	0-2
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	Hacim (%)	0-1
Su (H <sub>2</sub> O)	Hacim (%)	0-1
Hidrojen sülfür (H <sub>2</sub> S)	ppm	20-4000
Amonyak (NH <sub>3</sub> )	Hacim (%)	0-0,5
Oksijen (O <sub>2</sub> )	Hacim (%)	0-0,5
Isıl değeri	kWh/Nm <sup>3</sup>	6-6,5

**Kaynak:** EIA Bioenergy

Çeşitli atıklardan elde edilebilen biyogaz içerisindeki yanıcı gazlar oksijenle yakılarak enerji elde edilir. Açığa çıkan bu enerji, biyogazın yakıt olarak kullanılmasını sağlar. Biyogaz ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebildiği gibi saflaştırılıp, doğal gaz gibi sıkıştırılarak motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılabilir.

1 m<sup>3</sup> biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal/m<sup>3</sup>'dir. 1 m<sup>3</sup> biyogaz; 0,62 litre gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m<sup>3</sup> biyogaza 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin ve 0,25 m<sup>3</sup> propan eşdeğer yakıt miktarlarıdır [2].

## 1.2 Biyogazın Geçmişi

Biyogaz, milattan önce 10. yüzyılda Asurlular tarafından ve milattan sonra 16. yüzyılda Persler tarafından banyo suyunu ısıtmak için kullanılmıştır. İlk defa 17.



yüzyılda Jan Baptita Van Helmont yanabilir gazların, çürüyebilen organik maddelerden geldiğini bulmuştur [3].

1776`da Kont Alessandro Volta, Komo Gölünden aldığı gaz örneklerinden, parçalanmış organik madde miktarı ile oluşan yanıcı gaz miktarı arasında doğrudan korelasyon olduğunu vurgulamıştır. 1808 yılında Sir Humphry Davy ve arkadaşları büyükbaş hayvan atıklarının anaerobik arıtma sürecinde, oluşan gazların içerisinde metanın da olduğunu belirleyerek kimyasal özelliklerini açıklamışlardır. 1821 yılında ise Avagadro tarafından metanın nihai kimyasal yapısı ve CH<sub>4</sub> formülü belirlenmiştir [4]. İlk anaerobik arıtma tesisi ise 1859 yılında Hindistan Bombay`de (Mumbai) çüçamlıların barındırıldığı bir kolonide kurulmuştur. 1895 yılında İngiltere`de anaerobik arıtma tesisi tasarlanmış ve buradan çıkan biyogaz ile Exeter`de sokak lambaları aydınlatılmıştır. 1930`larda Buswell ve arkadaşları, anaerobik bakterileri ve metan oluşumuna sebep olan şartları araştırmışlardır [3].

Her ne kadar mikrobiyolojideki gelişmeler ilerlemiş olup biyogaza olan ilgi artsa da 1950`li yıllardan sonra petrol rezervlerindeki gelişmeler ve düşen maliyetlerden sonra biyogaza olan ilgi azalmaya başlamıştır.1970`lerde yaşanan petrol krizleriyle birlikte biyogaza olan ilginin tekrar arttığı görülmektedir.70-80 yılları arası yanlış tasarlanan ve yetersiz olan birçok biyogaz tesisi çeşitli sorunlarla karşılaştığından işletilememiştir.

Günümüzde artan nüfus artışı ve çevreye olan duyarlılıklarla birlikte ülkelerin sürdürülebilir yerel kaynaklara yönelmesi ve özellikle enerjide dışa bağımlılığın azaltılması sebebiyle gelişen teknolojiden faydalanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaza ilgiyi gittikçe artmaktadır.

**Çizelge 1.2 : Dünyada biyogaz üretim değerlerinin artışı**

	<b>Biyogaz (milyon m<sup>3</sup>)</b>	<b>Biyogaz (EJ)</b>
2000	13.2	0,28
2005	23.1	0.50
2010	38.7	0.84
2015	60	1.30
2016	60.8	1.31

**Kaynak :** IEA Key World Energy Statistics

### 1.2.1 Dünya’da biyogaz

Enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı dünya genelinde, yenilenemez enerji kaynaklarının ortalama 100 yıl içerisindeki tükeneceği durumu da göz önünde bulundurularak, tüm gelişmeler ve gelecekle ilgili kaygılar, dünyadaki alternatif enerji arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynağı, “doğanın kendi döngüsü içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanmaktadır. Tanım gereği; konvansiyonel enerji kaynakları, birer yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmemektedir. Dolayısıyla, dünyanın en azından yakın gelecekteki enerji talebini karşılama konusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının umut verici bir gelişme kaydediyor olması; bu alana yönelik faaliyetlere ve politikalara hız kazandırmaya başlamıştır. 2008-2030 döneminde, dünya enerji talebindeki ortalama yıllık artışının %1,6 olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönem sonunda, 2030 yılı itibariyle toplam enerji talebi artışının %45’e ulaşması beklenmektedir [5].

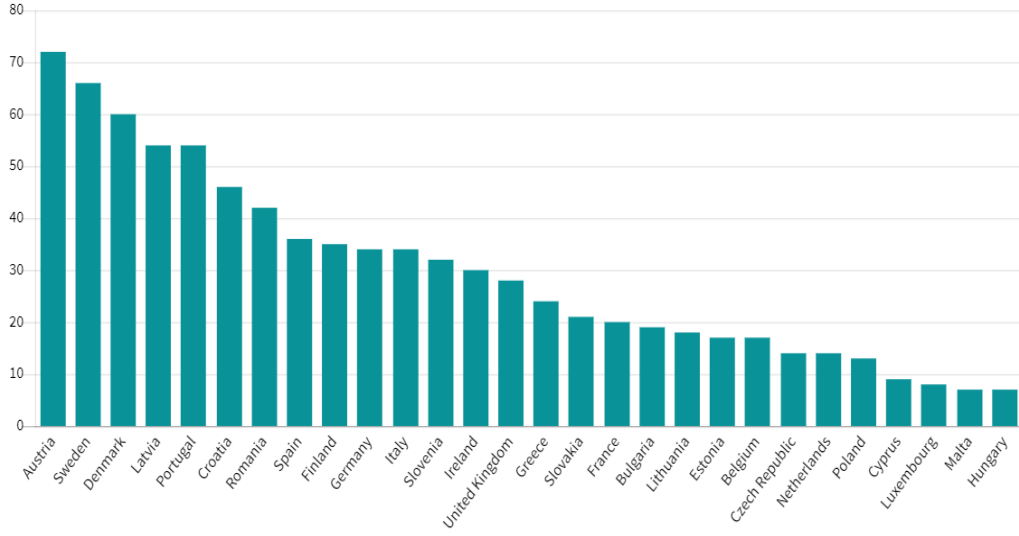
**Çizelge 1.3 : 2017 Yılı Sonu Yenilenebilir Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri (GW)**

Enerji kaynakları	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa	Dünya
Hidrolik	313	80	47	5,6	27,2	127	1114
Rüzgâr	188	89	33	56	6,8	169	539
Biyoenjerji	15	16,7	9,5	8	0,63	40	122
Güneş PV	51	121	18,3	42	3,42	108	442
Güneş Termal	0	1,7	0,2	0	0	2,3	4,9
Jeotermal	0	3,6	0	0	1,06	0,9	13,5
Toplam	647	242	108	111,6	39,11	447,2	2235,4

**Kaynak:** REN21, 2018. Renewables 2018 Global Status Report

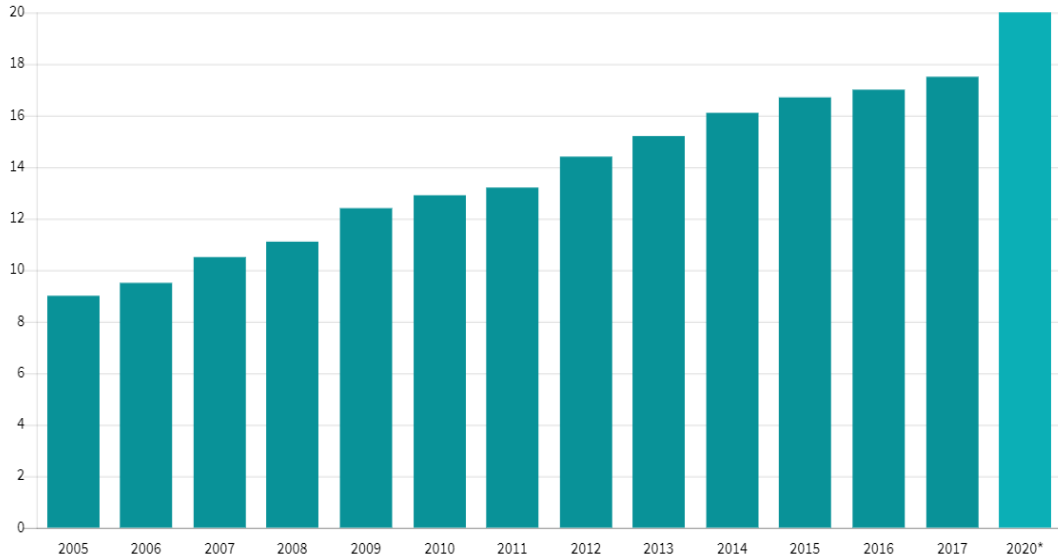
2030 hedefleri doğrultusunda, ülkeler hali hazırda var olan kurulu güç kapasitelerini günden güne arttırmaktadır. Bu alanlara yönelen kamusal ya da özel sektörden pek çok örnek görülmektedir. Devletler gerek teşvik vererek gerekse üretilen olan enerjiyi garantör satın alıcı olarak üretimin gelişmesinde ve artmasında önemli roller üstlenmektedir.

**Çizelge 1.4 : 2017 Avrupa’da yenilebilir enerjinin toplan enerjiye olan payı**



**Kaynak:** Eurostat

**Çizelge 1.5 : AB ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji yüzdeleri**



**Kaynak:** Eurostat

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogazın dünyadaki gelişimi giderek artmaktadır. Hayvan gübresinden elde edilen biyogazın tesis oranları dikkate alınırsa Dünyadaki tesislerin; %80'i Çin'de %10'u Hindistan'da, Nepal ve Tayland'da bulunmaktadır. Avrupa'nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaza ve tesis sayısına bakılacak olursa bu noktada Almanya 2,200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Bu ülkeyi 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya'da biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve yine aynı yıldan 2000'li yıllara kadar 139 tesisten 2,200 tesise kadar artmıştır [6].

**Çizelge 1.6 :** Dünya üzerindeki bazı ülkelerin biyogaz tesis sayısı

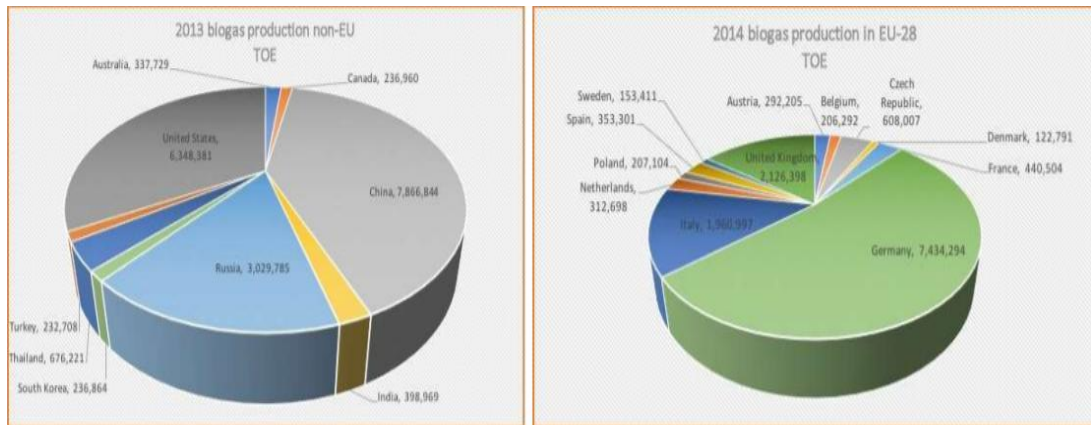
Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566*
Nepal	49.500

**Kaynak:** Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK -Müsteşar -Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017

Konut tipi biyogaz tesisleriyle, Çin genelinde yaklaşık olarak 2 milyar m<sup>3</sup> biyogaz üretimi yapılmaktadır ve bu üretimle birlikte 25 milyon insan yılın büyük bir oranında yemek pişirme maksatlı kullanmaktadır. Çok düşük basınçlarda bile çalışma özelliği olan ucuz biyogaz sobaları ve lambalar geliştirilmiş ve her evde bunların bulunması için teşvikte bulunulmuştur.

Hindistan'da ise 1981 yıllarında gelişim göstermeye başlayan biyogaz tesisleri özellikle büyük çiftliklerde yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır.

Fakat bu tesislerin yaklaşık yarısı Bangladeş'te olduğu gibi değişik sebeplerden dolayı atıl durumdadır ve kullanılmamaktadır. Büyük bir kısmı da lisanssız olarak kullanılmaktadır.

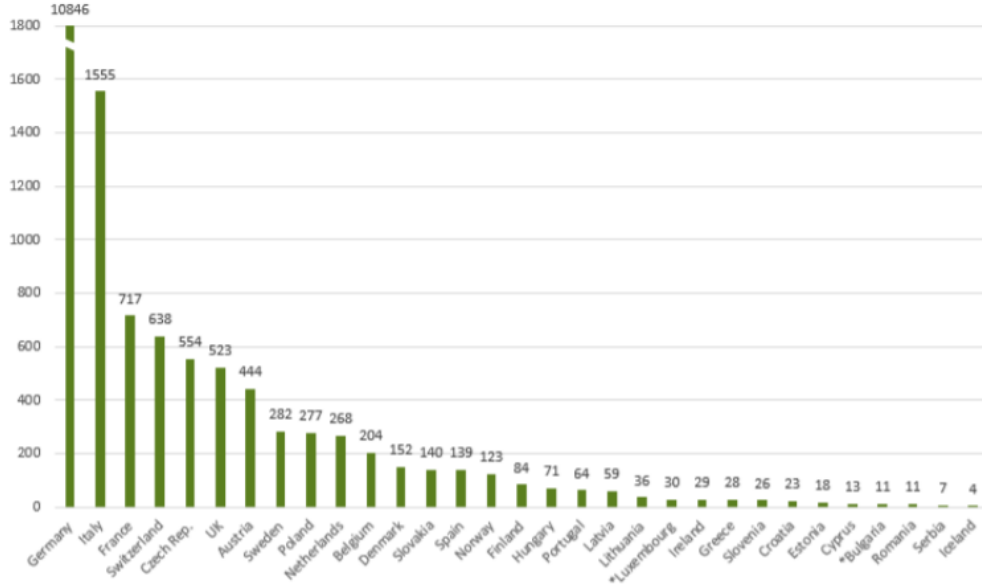


**Şekil 1.1 :** 2013-2014 Dünyada biyogaz üretimi

**Kaynak:** State of Biogas in the World 2017, Meghan Sapp, 30 November 2017

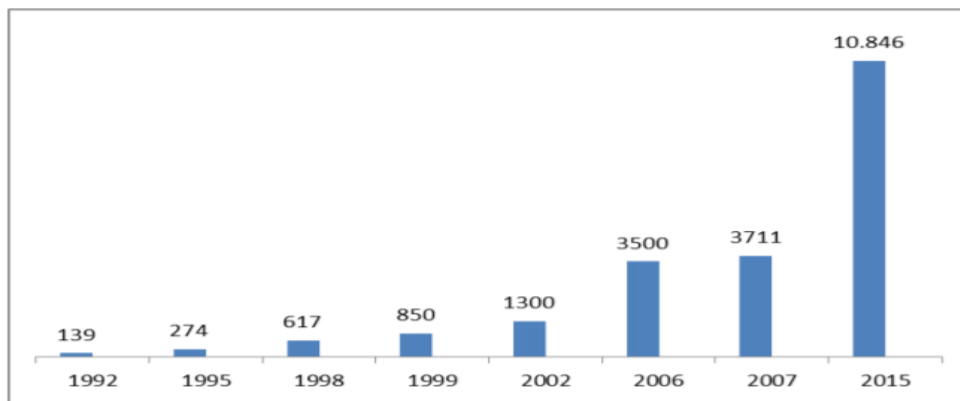
1997’de imzalanan Kyoto Protokolü gereği, ülkeler sera gazı emisyon değerlerini imzalanan protokole göre yıldan yıla kademeli olarak azaltmaları gerekmektedir. Her geçen gün artan enerji ihtiyacından ve bu protokolden dolayı da yenilenebilir enerjiye Avrupa ülkeleri daha fazla yatırım yapmış ve üretimlerini arttırmışlardır. Özellikle Almanya’da biyogaz üretimi etkin şekilde kullanılmakta ve gelişmektedir.

**Çizelge 1.7 : 2015 Avrupa Ülkelerinin biyogaz tesis sayıları**



**Kaynak:** Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK, Müsteşar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017

**Çizelge 1.8 : Almanya’nın yıllara göre tesis satışı artışı**



**Kaynak:** Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK -Müsteşar -Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017

Avrupa Birliği üye ülkelerin, yaklaşık olarak biyogazdan elektrik üretimi yaklaşık olarak 65 TWh’tir.

**Çizelge 1.9 : 2016-2017 AB ülkelerinde Biyogaz Üretimi**

	2016			2017		
	Electricity only plants	CHP plants	Total	Electricity only plants	CHP plants	Total
Germany	9 223.1	24 480.4	33 703.5	7 911.0	25 968.0	33 879.0
Italy	3 073.2	5 185.5	8 258.7	2 961.1	5 338.0	8 299.1
United Kingdom	7 024.6	711.1	7 735.7	6 937.2	784.6	7 721.8
Czechia	49.2	2 539.8	2 589.0	41.3	2 598.0	2 639.3
France	661.2	1 306.7	1 967.9	382.3	1 709.2	2 091.5
Poland	0.0	1 027.6	1 027.6	0.0	1 096.4	1 096.4
Spain	726.0	180.1	906.0	742.0	199.0	941.0
Belgium	93.0	893.0	986.0	72.3	866.0	938.3
Netherlands	34.0	958.8	992.8	29.7	893.6	923.3
Denmark	0.8	565.4	566.1	1.0	685.1	686.0
Austria	597.3	68.5	665.9	562.7	67.4	630.1
Slovakia	114.0	462.0	576.0	86.0	508.0	594.0
Finland	222.3	174.6	396.8	231.6	179.6	411.2
Latvia	0.0	396.9	396.9	0.0	405.4	405.4
Hungary	90.2	243.1	333.3	88.0	246.0	334.0
Croatia	26.4	211.0	237.3	24.1	285.6	309.7
Greece	32.8	236.9	269.6	51.0	249.2	300.2
Portugal	267.8	16.7	284.6	269.6	16.9	286.5
Bulgaria	96.4	94.4	190.8	93.0	122.8	215.8
Ireland	160.9	44.2	205.1	155.0	42.6	197.7
Slovenia	2.3	139.8	142.1	1.1	129.0	130.1
Lithuania	0.0	122.7	122.7	0.0	127.2	127.2
Luxembourg	0.0	72.7	72.7	0.0	72.4	72.4
Romania	35.9	29.0	64.9	38.1	28.6	66.7
Cyprus	0.0	52.0	52.0	0.0	51.8	51.8
Estonia	0.0	45.0	45.0	0.0	41.8	41.8
Sweden	0.1	11.0	11.1	0.0	11.0	11.0
Malta	0.0	8.3	8.3	0.0	9.7	9.7
<b>Total EU 28</b>	<b>22 531.4</b>	<b>40 277.2</b>	<b>62 808.7</b>	<b>20 678.1</b>	<b>42 732.9</b>	<b>63 411.0</b>

**Kaynak:** Eurostat

Çizelgeye de bakıldığında görüldüğü gibi bu ülkeler arasındaki en büyük oranı Almanya almaktadır. 2004 senesinde Avrupa Birliği uyum yasalarını yürürlüğe koyan Almanya 2010 yılına kadar yenilenebilir enerjilerin toplam enerji üzerindeki payını fazlasıyla arttırmıştır. Biyogazdan enerji elde edilmesine büyük önem veren Almanya; nitelikli gübrenin kullanımından, CO<sub>2</sub> salınımının azaltılmasından ve koku emisyonlarını en aza indirgenmesinden dolayı bu yasayı yürürlüğe koymuştur.

Ayrıca yürürlükte olan etkin diğer yönetmelikler ve yasaları da mevcuttur. Örneğin; Biyogaz işletmesi biyolojik çöp olarak bitkisel kökenli mutfak atıklarını kullanacak olursa, Almanya Biyoçöpleri Yönetmeliği devreye girer; eğer hayvansal içerikli hammadde kullanılacak olursa, AB-Hijyen Yönetmeliği uygulanır. Burada insanların tüketimi için elverişli olmayan hayvansal yan ürünler üç kategoride toplanmaktadır. İşleme ve değerlendirme yöntemleri şunlardır:

Kategori 1: Yüksek riskli hayvansal materyal ve sınır ötesi mutfak/ yemek atıkları: Bu maddelerin biyogaz tesisinde kullanılması yasaktır ve bertaraf edilmesi zorunluluğu vardır.

Kategori 2: Salgın ve hijyenik risk taşıyan hayvansal materyaller: Mezbahalardaki hastalıklı etler. Bu materyaller bir sterilizasyon işleminden (133 derecede, 3 bar, 20 dakika) ve koku bertarafından sonra biyogaz tesisinde işlenebilirler.

Kategori 3: Riski az salgın ve hijyenik hayvansal materyaller: yenilebilen hayvansal ürünler ve kesim yan ürünleri (Deri, kan, yumurta kabuğu, kil, yün vb.), kullanma tarihi geçmiş gıda ürünleri: Bu materyaller AB-Hijyen (EU Hy gine V) Yönetmeliği'ne göre hijyen eştirilmesi (70 derecede, 60 dakika) gerekmektedir [7].

Yapılan araştırmalara göre, 11 milyon hektar olan ekim alanlarının yüzde 30'luk kısmı biyogaz üretmek için girdi olarak kullanıldığında, 400 TWh (Terrawatt) gücünde enerji elde edildiği belirlenmiştir. Bu enerji Rusya'dan ithal edilen doğalgazın 2020'ye kadar %100 üstlenebilmektedir.

### **1.2.2 Türkiye'de biyogaz**

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki gibi ülkemizde de ekonomik gelişmeler ve nüfus artışı ve gelişen teknolojiyle her geçen gün enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde, bu gerekli ihtiyacı genellikle fosil yakıtlardan ve hidrolik kaynaklardan karşılanmaktadır. Fakat zamanla talebi karşılayamaz duruma gelecek ve sürdürülebilirliği bitecek olan bu kaynakların kullanımı yoğun bir çevre kirliliğine neden olmaktadır. Doğadaki bu güzel dengenin bozulmaması, küresel ısınmanın etkilerinin en aza indirgenmesi ve enerji darboğazıyla karşı karşıya kalındığı ülkemizde ucuz, temiz ve sürdürülebilir bir enerji politikası mecburi hale gelmiştir. Bu enerji politikası ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterince ve etkili bir şekilde kullanıldığı sürece çevresel ve ekonomik açıdan verimli olacaktır.

Ülkemiz 2023 yılına kadar enerji arz güvenliği ve yenilenebilir enerji kaynakları için;

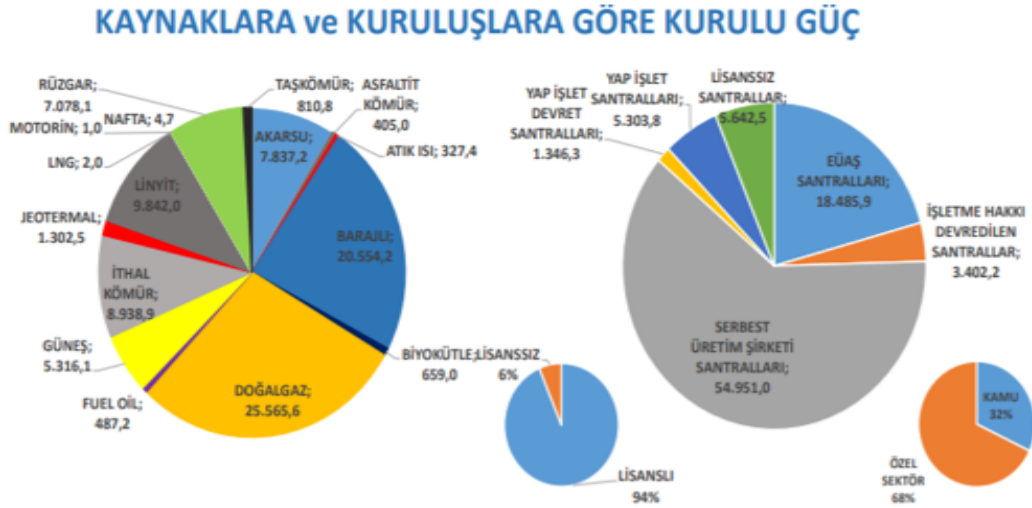
- Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payının %30'a çıkarılarak ülkemiz ekonomisine katkısının artırılması,
- Yerli kaynaklara öncelik verilerek kaynak çeşitliliğinin sağlanması,

Gibi hedefler belirlemiştir.

Bu hedefler doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik ve ağırlık veren çalışmalar ve projeler, desteklerle birlikte giderek artmaktadır. Bu sayede doğalgaz ve termik santrallerden olan elektrik üretim payının giderek düşürülmesi ve sürdürülebilir bir enerjiye dönülmesi amaçlanmıştır.

Yatırım maliyetlerinin her geçen gün azalması yerli üretimin artması ve teşviklerle, hükümet politikalarıyla bu alandaki çalışmaların önünün açılması hedeflenmektedir.

BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ		
BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)
AKARSU	538	7.837,2
ASFALTİT KÖMÜR	1	405,0
ATIK ISI	71	327,4
BARAJLI	121	20.554,2
BİYOKÜTLE	147	659,0
DOĞALGAZ	319	25.565,6
FUEL ÖİL	15	487,2
GÜNEŞ	6.184	5.316,1
İTHAL KÖMÜR	14	8.938,9
JEOTERMAL	48	1.302,5
LİNYİT	48	9.842,0
LNG	1	2,0
MOTORİN	1	1,0
NAFTA	1	4,7
RÜZGAR	253	7.078,1
TAŞKÖMÜR	4	810,8
<b>TOPLAM</b>	<b>7.766</b>	<b>89.131,7</b>



**Şekil 1.2 : Türkiye 2019 kurulu gücü**

**Kaynak:** TEİAŞ

2019 yılı şubat ayı verilerine göre ülkemizin kurulu gücü 88.894,1 MW'tır. Hidrolik enerji dahil yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının toplam üretim üzerindeki



oranı %35,91 dir. Bu oran her geçen gün gerek devlet yatırımları gerek özel sektör iştirakleriyle sürekli artış göstermektedir.

04.08.2018 Cumartesi günü 947.952.610 kilovatsaat elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimin kaynaklara dağılımı aşağıdaki gibidir.

04.08.2018 Cumartesi Türkiye Elektrik Üretimi (kWh)				
İthal	Fosil	Doğalgaz	279.908.370	%29,53
İthal	Fosil	İthal Kömür	199.770.160	%21,07
Yerli	Yenilenebilir	Hidrolik	190.326.390	%20,08
Yerli	Fosil	Taş Kömürü ve Linyit	123.879.090	%13,07
Yerli	Yenilenebilir	Rüzgar	102.519.850	%10,81
Yerli	Yenilenebilir	Güneş *	24.562.410	%2,59
Yerli	Yenilenebilir	Jeotermal	17.317.980	%1,83
Yerli	Yenilenebilir	Biyogaz	5.641.360	%0,60
İthal	Fosil	Fuel-Oil ve Nafta	4.027.000	%0,42

**Şekil 1.3 :** 04.08.2018 Cumartesi günü elektrik üretimi oranları

**Kaynak:** Enerji Atlası

Kullanılan yerli yenilenebilir enerji kaynaklarımızdan biri olan biyogaz üretimi üzerine ilk çalışmalar akademik olarak ortaya çıkmıştır. Projelere bazlı çalışmalar ise daha sonra başlamıştır. Ülkemizde yapılan biyogaz üzerine ilk çalışma, A.Ü. Fen Fakültesi'nde Kimya Yüksek Mühendisi Cengiz Işıksalan tarafından yürütülen 'Çeşitli Tarımsal ve Endüstriyel Artıklardan Yüksek Humus Değerli Gübre ve Metan Gazı Üretimi' konulu doktora tezi olarak belirtilebilir (Tekinel ve Korukçu, 1982). Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde biyogaz üzerine yapılan çalışmalar 1957 yılında başlamıştır. O dönemlerde son derece hevesli bir ekip bu iş için çalışmıştır, daha sonra 1962–1967 yılları arasında Eskişehir Bölge Toprak Su Araştırma Enstitüsü'nde yapılan çalışmalarda ilk veriler elde edilmiştir. Biyogazın önemiyetinin farkında olunamamasından dolayı çalışmalar yapılsa da yaygınlaştırılamamıştır.70'li yıllarda yaşanan petrol kriziyle birlikte tekrar bu alana olan ilgi artmıştır.

1978 yılında Türkiye Şeker Fabrikaları Etimesgut çiftliğinde 54m3 kapasiteli pilot bir tesis kurulmuştur. Daha sonra 1979 yılında Ankara Merkez Topraksu Araştırma Merkezi tarafından 2 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 yılından sonra biyogaz

için asıl önemli gelişmeler olmuştur. 1982 biyogaz için önemli bir yıldır. Bu yıl içerisinde biyogaz başmühendisliği kurulmuş ve biyogaz araştırma laboratuvarı inşa edilmiştir. Bu sırada ülkemizde ciddi bir biyogaz projesi başlatılmış ve pilot uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra biyogaz, Merkez Toprak Su Araştırma Merkezi -Ankara'da daha sonra değiştirilen adıyla Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü'nde çalışma alanı olmuştur.

2000li yıllara kadar yine bir durgunluğa uğrayan biyogaz alanı,2004 yılında yapılan toplantılarla öneminin arttırılmasına yönelik kalkınma planları arasında yerini almıştır. 2010 yılında ise Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı ile yapılan bir biyogaz tesisi için imzalar atılmıştır. 1200 baş hayvancılık yetiştirilen tesiste biyogaz üretimi için gerekli tesisin bütün enerji ihtiyacının karşılanacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda biyogaz üretimi sonucunda fermente olan gübre, tesisin çiftlik arazilerinde bitki yetiştirmek için gerekli yeterliliği karşıladığını vurgulanmıştır. Ülkemizde diğer biyogaz tesisleri olarak 5 adet 15 m<sup>3</sup> lük ve 2 adet 22 m<sup>3</sup> lük tesis Kayseri'de, 15 m<sup>3</sup> lük 1 adet Konya'da, 22 m<sup>3</sup> lük 1 adet Gediz Gölcük köyünde ve 280 m<sup>3</sup> lük 1 adet Elazığ'da bulunmaktadır [8].

Son verilere göre 659 MW kurulu güce sahip olan biyogaz, sahip olduğumuz potansiyel ile yıllık 35 milyar kilovat saat elektrik üretmek mümkün. Bu rakam Türkiye'nin en büyük ikinci sanayi bölgesi Ege'de geçen yıl tüketilen elektriğe eşit. Neredeyse Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz'in toplam elektrik tüketimine yakın bir potansiyeli ne yazık ki değerlendiremiyoruz.

### **1.3 Biyogaz Destekleri**

Üretilen enerji yenilenebilir bir kaynak olması nedeniyle ülkeler tarafından desteklenmektedir. 10.05.2005 tarihi itibarıyla Türkiye'de yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) kanunu ile biyogazdan üretilen elektrik alım garantisi içerisine dâhil olmuştur.

18.04.2007 tarihli ve 5627 sayılı kanununun 17. Maddesine göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik, EPDK tarafından belirlemiş 5 ila 5,5 Avro cent/kWh fiyat aralığından devlete satılmaya başlanmıştır. 2010 yılında ise 6. maddenin tamamı değiştirilerek, YEK Destekleme Mekanizması kapsamında üretim

yapan tüzel kişilerin kapsayan fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esaslarda güncellemeye gidilmiştir.

Şu an yürürlükte olan yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) elektrik üreten tesisler için “YEK destekleme mekanizmasında” biokütleyle dayalı üretim tesisi için (çöp gazı dahil) elektrik satın alma fiyatı 13,3 dolar sent/kWh olarak belirlenmiştir. Ancak bu rakam tesiste kullanılan yerli teknoloji düzeyine bağlı olarak 18,9 dolar sent/kWh seviyesine yükselbilmektedir [9].

29 Aralık 2010 tarihinde TBMM’de kabul edilerek yürürlüğe giren yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmeye yönelik kanunda, enerji üretiminde kullanılan tesislerde yerli üretim aksam ve teçhizat kullanımı durumunda ek destekler uygulanması da öngörülmüştür. Yapılan teşvik programlarıyla ilk kurulum maliyetlerinde hibe ya da geri ödeme kolaylıklarıyla teşvikler verilmektedir kolaylıklarıyla teşvikler verilmektedir.

- KDV istisnası;  
Teşvik belgesi kapsamında yurt içinden ve yurt dışından temin edilecek yatırım malı makine ve teçhizat ile belge kapsamındaki yazılım ve gayri maddi hak satış ve kiralama için katma değer vergisinin ödenmemesi şeklinde uygulanır.
- Gümrük vergisi muafiyeti;  
Teşvik belgesi kapsamında yurt dışından temin edilecek yatırım malı makine ve teçhizat için gümrük vergisinin ödenmemesi şeklinde uygulanır.
- Vergi İndirimi;  
Gelir veya kurumlar vergisinin, yatırım için öngörülen katkı tutarına ulaşıncaya kadar, indirimli olarak uygulanmasıdır. Stratejik yatırımlar, büyük ölçekli yatırımlar ve bölgesel teşvik kapsamında uygulanmaktadır.
- Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği;  
Teşvik belgesi kapsamı yatırımla sağlanan ilave istihdam için ödenmesi gereken sigorta primi işveren hissesinin asgari ücrete tekabül eden kısmının 10 yıl boyunca Bakanlıkça karşılanmasıdır. Genel teşvik uygulamaları hariç olmak üzere, sadece 6. Bölgede gerçekleştirilecek yatırımlar için düzenlenen teşvik belgelerinde öngörülür.
- Gelir Vergisi Stopajı Desteği;

Teşvik belgesi kapsamı yatırımla sağlanan ilave istihdam için belirlenen gelir vergisi stopajının terkin edilmesidir. Sadece 6. bölgede gerçekleştirilecek yatırımlar için düzenlenen teşvik belgelerinde öngörülür.

- Sigorta Primi (İşçi Hissesi) Desteği;

Teşvik belgesi kapsamı yatırımla sağlanan ilave istihdam için ödenmesi gereken sigorta primi işçi hissesinin asgari ücrete tekabül eden kısmının Bakanlıkça karşılanmasıdır. Sadece 6. bölgede gerçekleştirilecek bölgesel, büyük ölçekli ve stratejik yatırımlar için düzenlenen teşvik belgelerinde öngörülür.

- Faiz Desteği;

Faiz Desteği, teşvik belgesi kapsamında kullanılan en az bir yıl vadeli yatırım kredileri için sağlanan bir finansman desteği olup, teşvik belgesinde kayıtlı sabit yatırım tutarının %70'ine kadar kullanılan krediye ilişkin ödenecek faizin veya kâr payının belli bir kısmının Bakanlıkça karşılanmasıdır. Bu destek unsuru, stratejik yatırımlar, Ar-Ge ve çevre yatırımları ile 3., 4., 5. ve 6. Bölgelerde bölgesel teşvik uygulamaları kapsamında yapılacak yatırımlar için uygulanır,

- Yatırım Yeri Tahsisi;

Yatırım Teşvik Belgesi düzenlenmiş büyük ölçekli yatırımlar, stratejik yatırımlar ve bölgesel desteklerden yararlanacak yatırımlar için Maliye Bakanlığınca belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde yatırım yeri tahsis edilebilir.

- KDV iadesi;

Sabit yatırım tutarı 500 milyon Türk Lirasının üzerindeki Stratejik Yatırımlar kapsamında gerçekleştirilen bina-inşaat harcamaları için tahsil edilen KDV'nin iade edilmesidir [10].

## 2. BİYOGAZ ÜRETİMİ

Bitkisel, hayvansal, evsel ve endüstriyel organik atıklardan oluşan karışımların oksijensiz ortamda ortaya çıkardığı gaz karışımına biyogaz denir. Bu gaz renksiz, kokusuz ve havadan hafiftir. Bileşiminde %55-70 metan ve ağırlıklı olarak karbondioksit ve diğer gazlar bulunur. Gerekli koşullar altında mikroorganizmalar aracılığıyla biyogaza dönüşen atıklardan son proste ise toprağa verimli olan gübre elde edilir.

Başlıca kullanım alanları ısı ve güç sistemleriyle birlikte elektrik üretimi, ısı, buhar, soğutma, endüstriyel enerji kaynağı üretimi aydınlatma, sıkıştırılarak motorlu araçlarda yakıt olarak kullanımı, doğalgaz olarak şebekeye aktarımı, yakıt pilleri için yakıt olarak kullanımı ve kimyasal madde üretimi olmak üzere pek çok alanda kullanılabilir.

**Çizelge 2.1 : Biyogaz genel özellikleri**

İçerik	%55-70 Metan (CH <sub>4</sub> ) %30-45 Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) %1-3 Diğer gazlar (H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> , CO)
Enerji içeriği	6.0-6.5 kWh/m <sup>3</sup>
Yakıt Denkliği	0.60-0.65 L oil/m <sup>3</sup>
Patlama limitler	Havadaki biyogaz oranının % 6-12 olması durumunda
Alevlenme sıcaklığı	650-750 °C (yukarıdaki metan oranlarında)
Kritik basınç	75-89 bar
Kritik sıcaklık	-82.5°C
Normal yoğunluğu	1.2 kg/m <sup>3</sup>
Koku	Çürük yumurta (desulfirize edilmiş biyogazın kokusu fark edilmez)
Molar ağırlığı	16.043 kg/kmol (STP : °C, 1 bar)

**Kaynak:** Deublein, D., Steinhäuser, A., Biogas: From Waste And Renewable Energy Resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3- 527-31841-4, 2008.

Biyogaz hava içerisinde olduğunda özgül ağırlığından dolayı tabana çökmez, bu nedenle de havayla karışımı hızlıdır ve karışımda oranı düşer. Bundan dolayı da ani yanma ve patlama gibi riskleri azaltmaktadır. Yüksek tutuşma sıcaklığı önemli bir avantajdır. Yanması için havada en az %5 oranında havada bulunması gerekmektedir. Yanabilmesi için 1m<sup>3</sup> biyogaz için 5.7m<sup>3</sup> hava gerekmektedir. İdeal bir yanma için %20-30 oranında karışım ve tutuşma sıcaklığına ulaşması halinde olur. Bundan dolayı da yanma ortamından geriye doğru alevin ilerleme riski çok azdır.

Hayvansal, tarımsal, endüstriyel sulu atıklarla (süt, bira, meyve suyu, şarap, maya, şeker...), mezbaha atıklarının yanı sıra kâğıt atıkları, evsel organik atıklar, park bahçe atıkları, atık su çamurları (su arıtma tesisleri) ve algler gibi çeşitli türdeki atıklardan ve maddelerden biyogaz elde edilebilir. Her birinin metan değeri ve özelliği birbirinden farklıdır. Aynı ayrı ya da kombine bir şekilde fermente edilebilir.

**Çizelge 2.2 : Organik atıkların biyogaz verimleri ve oranı**

KAYNAK	BİYOĞAZ VERİMİ (litre/kg)	METAN ORANI (Hacim %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanath Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat artıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	---
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

Kaynak: <http://www.yegm.gov.tr>

Biyogaz teknolojisinin avantajları;

- Çevreci, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.
- Lokal tesislerle birlikte enerji kayıpları azalır.
- Atıkların değerlendirilmesi ve onlardan enerji üretilebilmesi için güzel bir fırsattır.
- Sonucunda yüksek verimde gübre elde edilebilir.
- Üretilen gübrenin uygulanmasıyla toprakta zararlı ot ve tohumların yetişmesini engellemektedir.
- Çıkan gübrede, atık konumundaki hayvan gübresi gibi koku bulunmamaktadır.
- Hem enerji hem de ısı kaynağı olarak kullanılabilir.
- Organik atıkların bir kısmının topraktaki ve yer altındaki suyu kirletmelerinin önüne geçilmiş olur.
- Doğalgaz yerine kullanılabilir.
- Hastalık bulaşmasının azaltılması
- Sera gazı salınımının önün geçilmesi.
- Hava kalitesinin iyileştirilmesi
- Alternatif enerji kaynağı olarak görülebilmesi.
- İstihdama katkıda bulunması.
- Kırsal kesimin kalkınmasını sağlar.

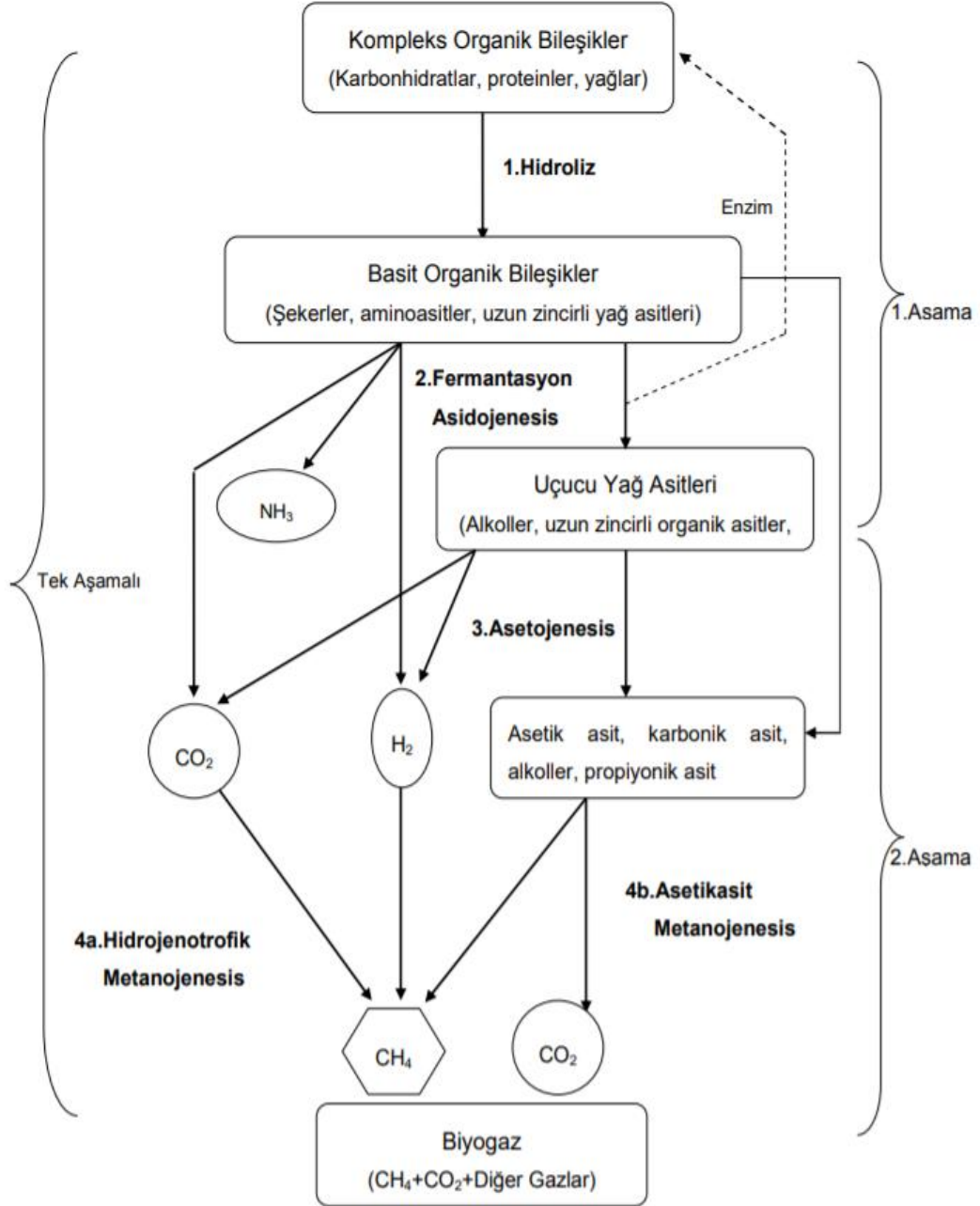
Biyogaz teknolojisinin dezavantajları;

- Çevresel zararlar (amonyumun nitrata dönüşmesi, gürültü, trafik)
- İlk yatırım maliyetlerinin yüksekliği.
- Güvenlik tedbirlerinin iyi alınmaması.
- Sınırlı kullanım ömrü (genelde 20 yıl)
- Sürekli besleme atığı ihtiyacı

## 2.1 Biyogaz Oluşumu

Temel olarak organik maddelerin anaerobik fermantasyonuna dayandığı için dünya üzerinde biyogaz üretiminde ana madde olarak genelde hayvansal ya da bitkisel atıklar kullanılmaktadırlar. Bunun dışında çöp atıkları ve arıtma tesisi çamurları da

biyogaz elde etmek için gerekli organik maddeleri sağlamaktadırlar. Birçok mikrobiyal türün birbirine bağlandıkları ve ayrıştıkları çok aşamalı prosesler sonucunda metan oluşturduğu bir fermantasyondur. Genel olarak üç ya da dört fazda gerçekleştirildiği kabul görmektedir.



**Şekil 2.1 : Biyogaz oluşum safhaları**

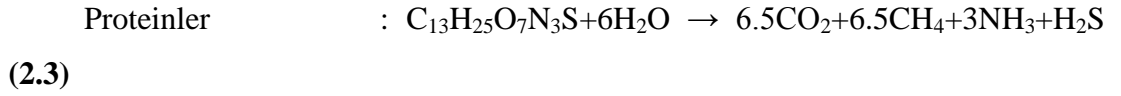
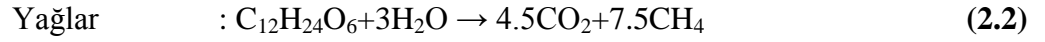
**Kaynak:** Weiland, P., Biogas production: current state and perspectives, Applied Microbiology and Biotechnology, 2010.



### 2.1.1 Hidroliz

Hidroliz fazı, organik bileşenlerin anaerobik bakterilerin salgıladığı enzimler tarafından parçalanarak, uzun zincirli yapılardan kurtulup suda çözünebilen daha kısa zincirli manomerlere dönüşümünün yaşandığı faz olarak tanımlanabilir. Bu fazda yağlar ve proteinlerin hidrolizi birkaç gün sürerken karbonhidratların hidrolizi birkaç saatte tamamlanabilir.

Hidroliz fazı, organik maddelerin parçalanması sürecinde hız sınırlayıcı basamak olarak değerlendirilir. Bu yüzden bütün prosesin ortalama hızı hidroliz aşamasına bağlıdır. Metanojen reaktörü tasarımında, bekleme süresinin belirlenmesinde hidroliz hızı önemli yer tutar. Hidroliz fazı hız katsayıları genel olarak 0.1-0.3/gün arasında olmaktadır. Hidroliz hızını etkileyen parametreler genel olarak, bekleme süresi, pH, sıcaklık, organik atığın türü ve organik atık yükü olarak sıralanabilir [11].



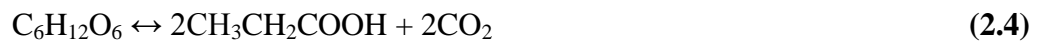
### 2.1.2 Asitojenesis

Aminoasitler şekerler ve yağ asitlerinin asidojenik bakterilerle organik asitler ve alkollere dönüştürülme evresine asidojenesis adı verilir [12].

Bu fazda hidrolizle oluşan manomerler; aminoasitler, yağ asitleri, şekerler gibi organik maddeler daha kısa zincirli organik asitlere dönüştürülürler. Bunun yanı sıra az miktarda laktik asit ve alkol de oluşur. En çok fermantasyona uğrayan ve karbon akışının sağlandığı maddeler monosakkaritler ve aminoasitlerdir.

Biyogaz üretim sistemlerinde oksijensiz fermantasyonla metan gazı üretimi sırasında asetat ara madde konumundadır.

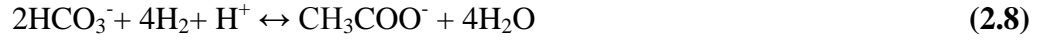
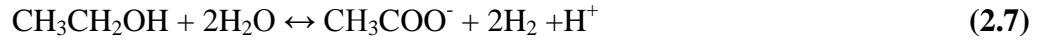
Oluşan glikozun etanol ve propiyanata dönüşüm reaksiyonları şu şekildedir;



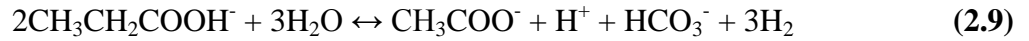
Eşitlik glikozun etanole; Eşitlik ise glikozun propiyonata çevrildiğini göstermektedir.

### 2.1.3 Asetojenesis

Asetojenesis aslında asitojenesis evresiyle birlikte de düşünülebilir. Asetojenesis evresi temel olarak asetatın sentezlenmesi evresidir. Karbondioksitin ve asitlerin indirgenmesiyle asetat oluşur. Bu faz; asetatın ana ürün olduğu karbonhidrat fermantasyonu ve diğer metabolik prosesler içinde oluşur. Asetojenesis adımı önemli reaksiyonlar; glikozun ve etanolün dönüşümü ve bikarbonatın asetata dönüşümüdür.



Bu reaksiyonlarda hidrojen büyük önem taşır ve hidroliz aşamasında oluşan yağ asitleri, asetat propiyonat ve hidrojen gazına oksitlenir. Normal şartlarda, çözeltide hidrojen yokluğunda oksidasyon engellenir. Reaksiyon, sadece çözeltideki hidrojen kısmi basıncı termodinamik dönüşüme izin verecek kadar düşük olursa ilerler. Hidrojen tüketen bakteri yokluğunda, termodinamik dengeyi sağlamak için kısmi basıncı düşürmek tüm asitlerin dönüşümüne yardımcı olur. Kısmi basınçla ölçülen hidrojen konsantrasyonu çürütücünün sağlıklı işleyişinde indikatör parametredir. Örneğin, propiyonatın asetata dönüşüm reaksiyonunun serbest enerji değeri +76,1 kJ'dur, böylece bu reaksiyon termodinamik olarak uygulanamaz. Asetat ve hidrojen bakteriler tarafından tüketildiği zaman, serbest enerji negatif olur. Genel olarak, H<sub>2</sub> üreten reaksiyonlarda reaksiyonun oluşması için hidrojenin düşük kısmi basınca sahip olması gereklidir. Propiyonatın asetata dönüşüm reaksiyonu;

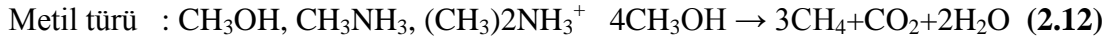
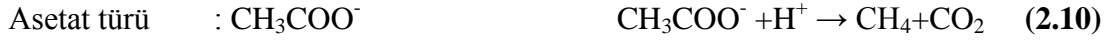


Denklemlerle ifade edilir [13].

Tüm bu tepkimelerde, organik maddelerin asitlere dönüşmesi, asit bakterileri için yararlı olan pH seviyesinin düşmesini sağlar. Çünkü bu bakteriler ortalama 4.5-5.5 pH seviyesi aralığında yaşamını devam ettirebilmektedirler. Bu evrede asit oluşumu oldukça hızlıdır ve metan üretim hızına göre daha fazladır.

### 2.1.4 Metan üretimi

Biyogaz üretiminin son safhası olan metan üretim fazı oldukça hassas olan metanojen bakterileri tarafından yapılmaktadır. Bu bakteriler bir önceki fazlarda açığa çıkan karbondioksit, asetat, alkol, hidrojen, formik asit gibi bileşenleri besin olarak kullanırlar. Her metanojenik bakteri farklı türden besini parçalayabilirler bu yüzden farklı besinleri kullanırlar.



Oluşan metanın %70'lık kısmı asetatın metana dönüşümüyle, kalan kısmının büyük bir çoğunluğu ise H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> 'nin metana indirgenmesiyle oluşur.

Metanojen bakterileri daha düşük hızlıdır ve fermantasyonun hızını etkilemektedir. Sıcaklığa ve onların büyümesini engelleyen oksijene karşı oldukça hassastırlar.

Ortalama pH 6,5- 7,5 seviyesinde ve 35-37 °C sıcaklığında en optimum verime ulaşmaktadırlar [14].

**Çizelge 2.3 :** Biyogaz oluşum aşamaları

Parametre	Hidroliz/Asidojenesis	Metanojenesis
Sıcaklık	25-35 °C	Mezofilik: 32-42 °C Termofilik : 50-58 °C
pH	5.2-6.3	6.7-7.5
C/N	10-45	20-30
Kuru Madde İçeriği	<% 40 Kuru Mad.	<% 30 Kuru Mad.
Redoks Potansiyeli	+400 den -300 mV	< -250 mV
Gerekli C/N/P/S Oranı	500:15:5:3	600:15:5:3
İz elementler	Özel bir madde yok	Nikel, Kobalt, Molibdenyum, Selenyum

**Kaynak:** Deublein, D., Steinhauser, A., Biogas:From Waste And Renewable Energy Resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3- 527-31841-4, 2008.

Özetlemek gerekirse tüm sistem olarak düşünüldüğünde oluşan tepkimeler ve fazların hepsi girdi çıktı ilişkisine bağlıdır ve dört ayrı faz olarak düşünülmesine rağmen herbir faz eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir.

Metanojen mikroorganizmalar düşük büyüme hızları nedeniyle biyogenezin en zayıf halkası olduklarından ve rahatsız edici etkilere karşı çok hassas tepki vermelerinden ötürü, çevre koşullarının metan oluşturan bakterilerin taleplerine uydurulması gerekmektedir. Hidrolizi ve asit oluşumunu metan oluşumundan iki ayrı proses aşaması ile ortamsal olarak ayırma girişimi (iki aşamalı proses uygulaması) pratikte sınırlı şekilde gerçekleşmektedir, çünkü hidroliz aşamasında düşük bir pH değerine ( $\text{pH} < 6.5$ ) rağmen yine de kısmen metan oluşumu gerçekleşmektedir. Oluşan hidroliz gazı karbondioksit ve hidrojenin yanı sıra metan da içerir, bundan ötürü çevre üzerindeki olumsuz etkilerden ve güvenlik risklerinden kaçınmak için hidroliz gazının bir değerlendirmeye veya işleme tabi tutulması gerekir [15].

## **2.2 Biyogaz Üretim Yöntemleri ve Sistemleri**

Üretim sistemleri ve tesisleri kapasitelerine göre;

- Aile Tipi: 10-12 m<sup>3</sup> kapasiteli
- Çiftlik tipi: 50-100-150 m<sup>3</sup> kapasiteli
- Köy tipi: 100-200 m<sup>3</sup> kapasiteli
- Sanayi tipi: 1.000-10.000 m<sup>3</sup> kapasiteli

Olarak sınıflandırılabilirler. Bunlardan aile tipi sistemler haricindeki sistemlerde reaktörün biyogaz için en uygun sıcaklık olan 35°C'ye kadar ısıtılmasını gerekmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılan sistemler teknolojiler ve yöntemler, uygulanan kombinasyon ve düzeneklerle çok geniş bir yelpazede olsa da uygulamalar temel olarak 2 başlık altında incelenebilir.

Besleme Yöntemlerine Göre Biyogaz Üretim Sistemleri

Reaktör Tasarımına Göre Biyogaz Üretim Sistemleri

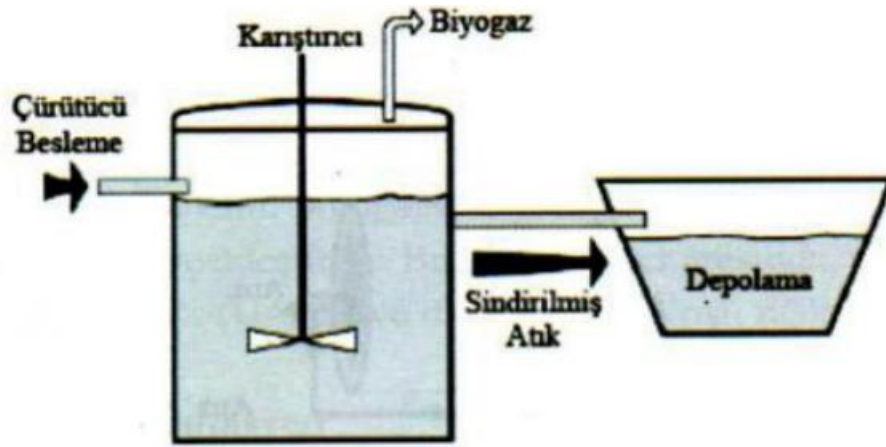
### **2.2.1 Besleme yöntemlerine göre biyogaz sistemleri**

Bu sistemlerde üretim sürekli beslemeli ve kesikli tipli beslemeli olmak üzere iki farklı tipte gerçekleştirilebilir.

### 2.2.1.1 Sürekli beslemeli tip sistemler

Sürekli beslemeli tip sistemlerinde gaz çıkışı başladıktan sonra besleme günlük olarak yapılmaya başlanır ve gazı alınmış karışımın içindeki çökelti de günlük olarak düzenli bir şekilde dışarıya atılır. Sürekli olarak besleme yapılan organik maddeler bekletilme süreleri kadar reaktörde bekletilirler ve böylece sürekli bir biyogaz üretimi sağlanmış olur. Reaktörde substrat olarak kullanılan hacim ortalama olarak aynı kalır. Günde yaklaşık olarak bir ya da iki defa besleme yapılır.

Sürekli beslemeli reaktörler, kesikli beslemeli sistemlerin daha gelişmiş halleridir. Sabit miktarda oranda biyogaz üretilir. Karışım içerisindeki parçacıklar çökelme yapabilir ve tabaka oluşturabilir bu yüzden sorunlarla karşılaşılması ve sistemin çalışmasının engellenmemesi için tam karıştırılmalı sistemler uygulanmaktadır. Düzenli olarak küçük sistemlerde günde bir defa büyük sistemlerde ise hacmine göre günde birkaç defadan gazla atık beslemesi yapılarak eş zamanlı olarak kullanılan atıklar reaktörden alınır. Bu sistemle birlikte hidrolik besleme süreleri düşürülmekte kararlılığı arttırılmaktadır.



Şekil 2.2 : Sürekli tip reaktör

Kaynak: Anonim

Sistemde kullanılmış olan atıklar taşma şeklinde otomatik olarak boşalırlar. Her tasarım için uygun olmalarına karşın genelde kırsal kesimlerde ve daha büyük işletmelerde tercih edilmektedirler.

- Homojen atık beslemesiyle, metanojen bakterileri üzerindeki oluşabilecek şok etkisinin önüne geçilir.
- Sistem kesintiye uğramaz

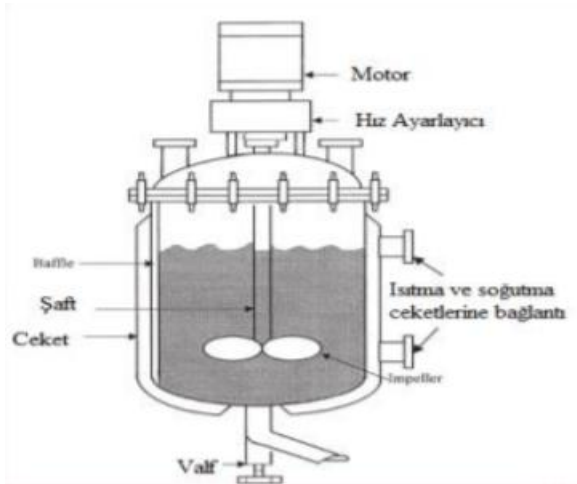
- Elde edilen gazın metan oranı yüksektir.
- Atıklar büyük oranda bileşenlerine kadar ayrıldıkları için verim yüksektir.
- İşletmesi kolaydır.
- Göreceli olarak daha ekonomiktir.

İlave edilen organik atıkların sistemden fermente olmadan atılma riski vardır. Bu yüzden de son yıllarda geliştirilen depolama sisteminden de metan üretimini sağlayacak sistemler geliştirilmiştir. Depolama ünitesinin üzeri de örtülmüştür. Yatırım maliyeti ilave elde edilebilecek gazdan elde edilen maliyetle karşılanır.

### 2.2.1.2 Kesik beslemeli tip sistemler

Kesik beslemeli tip sistemlerde reaktör tamamen taze atıklarla doldurulur ve kapatılarak hidrolik bekleme süresinin sonuna kadar orada kalır metan üretimi tamamen sonlandığında ya da en aza düştüğünde prosesler tamamlanır ve organik atıklar reaktörden alınır.

Boşaltılan reaktör yeni malzemeyle yüklenir. Bu esnada kullanılmış olan bozunmuş atıklar yeni sisteme aşı olarak ilave edilebilir. Organik atığın türü ve ortam sıcaklığı bekleme süresinde değişmelere neden olmaktadır ve bu yüzden gaz üretimi düzensizdir. Sistem içerisinde karıştırıcı ve sıcaklığı dengede tutmaya çalışan ısıtma-soğutma sistemleri vardır. Bu sistemler ortamın optimum sıcaklıkta homojen bir şekilde dağılmasını sağlarlar.



**Şekil 2.3 : Kesik beslemeli tip reaktör**

**Kaynak:** Atık Su Arıtma Tesislerinde Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretimi ve Uygulanabilirlik Analizi, İller Bankası, Alim İbrahim Kanat

Sisteme yığın halinde organik madde eklenir ve biyogaz üretimi oluncaya kadar beklenir. Gaz üretimi için birkaç gün beklenir sonra hızla metan oranı artmaya başlar en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra da zamanla devamlı olarak düşmeye başlar. Bundan dolayı sürekli ve kaliteli biyogaz üretimi elde edilememektedir. Birden gazla reaktör kullanılarak üretim dengelenmelidir.

Bununla birlikte ilk olarak belli bir oranda organik atık reaktöre koyulup daha sonra fermantasyon süresine göre belirli zamanlar hacmi arttırılmak için atık ilavesi yapılan yarı kesikli sistemlerde kullanılmaktadır.

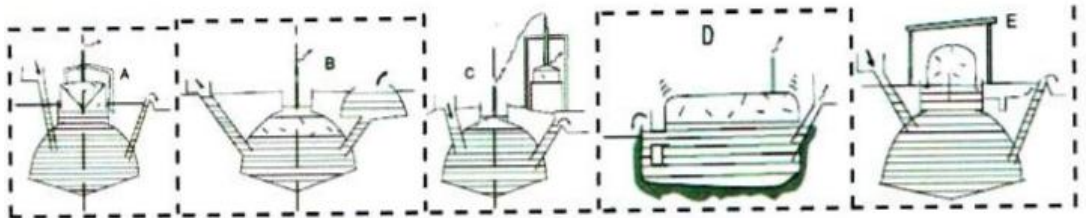
Genel olarak kesik beslemeli sistemler maliyetleri en ucuz olan en basit reaktörlerdir. Tüm aşama prosesleri aynı reaktör içerisinde gerçekleşmektedir. Reaktör boşaltılması temizlenmesi ve yeniden doldurulması vakit kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı bir biçimde doldurulup boşaltılabilmesi için ilave atık depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Genellikle katı madde oranı yüksek olan saman ya da lifli maddelerin fermantasyonu için daha az yağış alan kırsal bölgeler için uygundur.

### 2.2.2 Reaktör tasarımına göre biyogaz sistemleri

Gelişen teknolojiyle birlikte sistemlerde gelişip modernleşse de kırsal kesimlerde ve yer olanağı fazla olmayan bölgelerde hala kullanılmakta olan çok değişik tiplerde ve özelliklerde olan uzun yıllardır kullanılan reaktör tipleri de mevcuttur. Bu tasarımları birkaç başlıkta toplamak gerekirse eğer ;

1. Sabit kubbeli biyogaz tesisleri
2. Hareketli kubbeli biyogaz tesisleri
3. Balon tipi biyogaz tesisleri

Tasarım reaktör çeşitleri şu şekildedir;



**Şekil 2.4 :** Tasarım reaktör çeşitleri

**Kaynak:** Dap Bölgesi Kırsal Alanda Biyogaz Üretimine Yönelik Sektör Raporu Hazırlanması Projesi  
Nihai Rapor

A) Hareketli kubbeli tesis,

B) Sabit kubbeli tesis,

C) Ayrı gaz deposu sabit kubbeli tesis: Gaz basıncı yüzer durumdaki gaz deposuyla sabit tutulur. Dengeleme tankı olmayan tesis, sürekli tesis olarak çalıştırılabilir. Bu tip bir biyogaz tesisi için karıştırıcı kullanılması önerilir

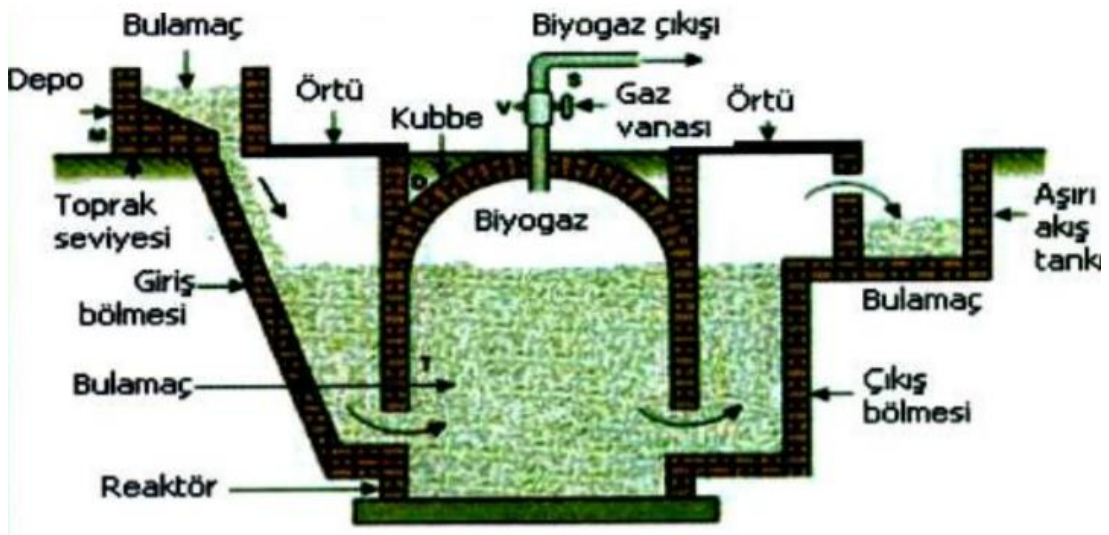
D) Balon tipi tesis,

E) Kanal tipi tesis

### 2.2.2.1 Sabit kubbeli biyogaz sistemleri

Sabit kubbeli sistemler, havasız kapalı reaktörle birlikte bir biyogaz depolama deposu ve çukurdan oluşmaktadır. Basınç değişkendir, gaz oranına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Üretilen biyogaz arttıkça reaktör içerisindeki substrata çukura doğru basınç uygular. Sabit bir gaz deposunda toplanan reaktörün üst kısmındaki biyogaz alındıktan sonra basınç düşer ve çukura atık organikler tekrardan dolar.

Sabit bir basınç olmadığı için basıncı sabitlemek için özel düzenekler gerekmektedir bu şekilde sabit basınç sağlanmış olur. Bu sistemin reaktörleri genelde duvar şeklinde ya da gaz geçişini engelleyecek tepkimeye girmeyecek malzemelerden yapılıdır.



Şekil 2.5 : Sabit kubbeli biyogaz sisteminin yapısı

Kaynak: Anonim



Temel olarak geçirgenliği önlenmiş genelde tuğladan yapılmış bir reaktör ve onun üzerine geçici olarak örtülmüş beton bir çatıdan oluşturulur. Gaz üretildikten sonra kubbe içerisinde üst kısımda toplanır ve oluşan basınçla birlikte karışımındaki organik atığın bir kısmı dışarı atılır. Reaktörün üst kısmına gaz depolanmasını kolaylaştırmak için toprak yığılır. Tamamen temizlenmesi bakımı ve içeri girilmesi oldukça zordur. Bu da bu sistemin zorluklarının başında gelmektedir.

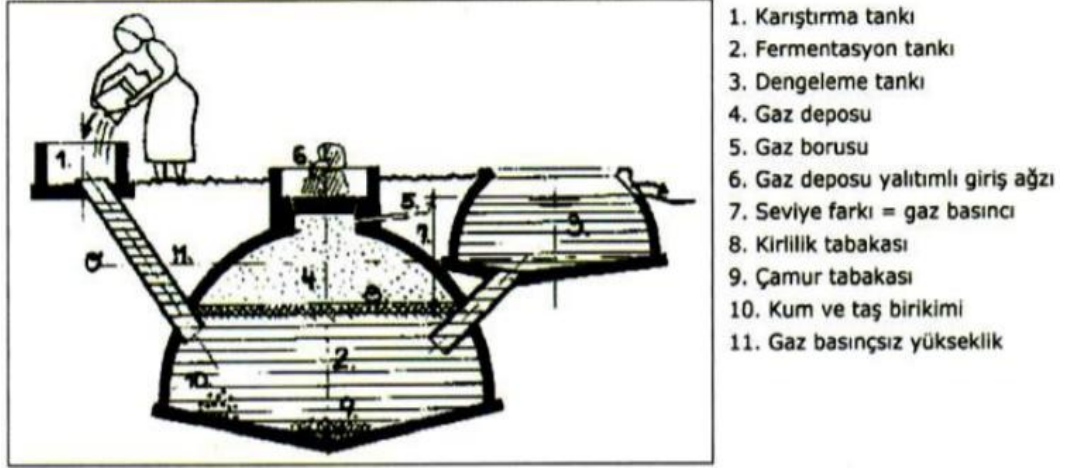
Reaktör hacimleri genelde 20m<sup>3</sup>'ü geçmemektedir ve buna bağlı olarak da üretilen gazın hacmi de yaklaşık olarak 3-4 m<sup>3</sup> civarındadır. Kullanım süreleri genelde 20-50 yıl kadar olabilmektedirler. Genelde hayvan atıkları ve lifli yapılı bitkisel atıklar kullanılmaktadır.

**Çizelge 2.4 : Sabit kubbeli biyogaz sistemlerinin avantajları ve dezavantajları**

Avantajları	Dezavantajları
- İlk yatırım maliyeti düşüktür.	- Çatlaklar ve boşluklar nedeniyle, tesislerin gaz yalıtımı iyi değildir.
- Kullanım ömrü 20 yıldan fazladır.	- Özel bir şekilde yalıtım gereklidir.
- Temel tasarım, basit ve iyi yalıtılmıştır.	- Çatlamalar gaz sızıntılarına neden olur.
- Hareketli parçalar yoktur.	- Gaz basıncı çok yüksektir ve önemli düzeyde değişir.
- Hareketli ve paslanabilen çelik parçalar yoktur.	- Gaz basıncının değişmesi, gaz kullanımını engeller.
- Kışın soğuklardan korunma ve yer tasarrufu sağlamak için yeraltında tasarlanabilir.	- Tesisin çalışması tam olarak anlaşılır değildir.
- Bölgesel olarak iş olanağı yaratma potansiyeli vardır.	

**Kaynak:** DAP Bölgesi Kırsal Alanda Biyogaz Üretimine Yönelik Sektör Raporu Hazırlanması Projesi Nihai Rapor

Sistemde gaz basıncı dengeli olmadığı için değişkendir. Oluşan gaz sabit kubbenin tepesinde toplanır ve oluşan basınçla birlikte organik karışım sisteme ya yeni atık alır ya da kullanılmış olan atığı dışarı atar. Sabit kubbeli sistemlerde sistem bileşenleri;



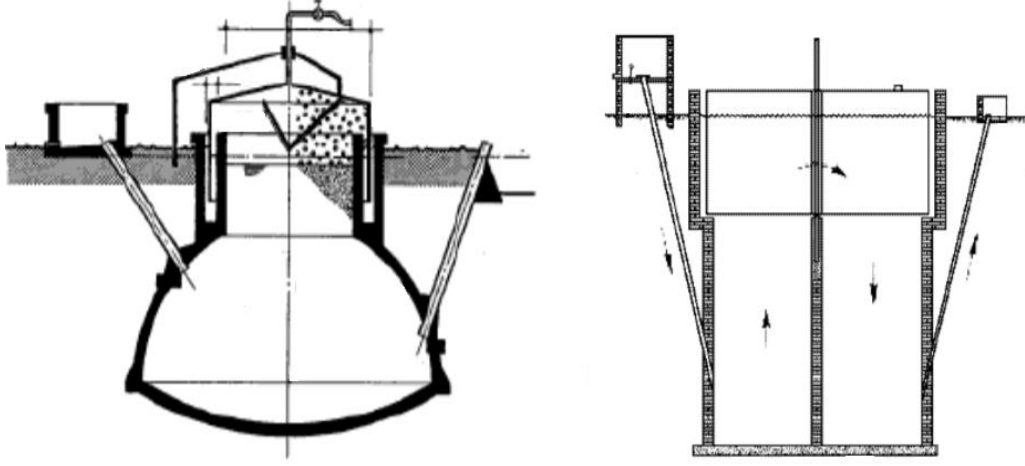
Şekil 2.6 : Sabit Kubbeli Biyogaz Sistemlerinin Bileşenleri

Kaynak: Anonim

Gaz basıncı oldukça yüksek olabilmektedir ve basınç düzenleyicisi olması gerekmektedir. Her türlü ihtiyaca göre tasarlanabilirler.

#### 2.2.2.2 Hareketli kubbeli biyogaz sistemleri

Hareketli kubbeli biyogaz sistemleri bir reaktör ve reaktörün üzerinde bulunan hareketli bir gaz tankından oluşmaktadır. Gaz tankları direkt substratın üzerinde ya da bir su ceketinin üzerinde olabilir. Gaz reaktörün üzerinde bulunan gaz deposunda toplanmaktadır ve gazın artmasıyla yükselip azalmasıyla da aşağı doğru hareketlenmektedir.



**Şekil 2.7 : Hareketli kubbeli biyogaz sistemleri**

**Kaynak:** Anonim

Literatürde Hindistan modeli biyogaz sistemleri olarak da geçen bu sistemlerde fermantasyon odası genelde betondan çimento harcından yapılmış tuğla duvarlardan olmakta ve üstündeki gaz odası da yumuşak çelikten tasarlanmıştır. Organik atık tuğladan oluşturulan ve toprakla beslenen çukurda tutulur. Toplanan gaz ise reaktörün üstünde bulunan genelde silindirik olan çelik depoda toplanır.

Gaz yükselmesiyle birlikte karışım üzerinde bazı durumlarda köpük tabakası oluşması gözlemlenir. Bu tabaka gaz geçişini engellemektedir. Genel olarak sebze meyve atıklarının kullanıldığı kesik beslemeli tip sistemlerde sık rastlanır. Bu durum karıştırıcı kullanılarak en aza indirgenir. Aslında seyreltilmiş atıkların kullanıldığı fermantasyonlarda köpük tabakası sorunu gözlenmez. Öte yandan sürekli beslemeli tip sistemlerde fermantör içerisine yeni atık beslemesi yapıldığında oluşabilecek köpük tabakası da sürekli parçalanarak engellenmiş olur.

Karıştırma hareketi köpük katmanının oluşmasını engellenmesine, yeni bakterilerin fermantasyona eşit dengeli bir şekilde karışmasına ve metan üretimine katkıda bulunarak parça ve çökelti oluşmasını da minimuma indirger. Karıştırma derecesini ve hızını belirleyen doğrudan bir kural yoktur fakat fazla karıştırma fermantasyonun oluşmasını engelleyebilir ve sistem durabilir. Ayrıca Dönme özelliği olan gaz depoları sayesinde üst kısımda oluşan köpüklenme engellenmiş olur ve bu gaz depoları sayesinde basınç sabitlenmesi de sağlanabilmektedir.

Hareketli kubbeli sistem hacimleri küçük ve orta ölçekli tesislerde genelde 5-15 m<sup>3</sup> büyük ölçekli ve kurumsal tesislerde 100m<sup>3</sup> 'e kadar çıkabilmektedir. Sürekli tip

besleme uygulanarak genelde hayvansal organik atıklar kullanılarak biyogaz üretimi yapılmaktadır.

Sitemin çalışmasında işletilmesinde ve sürdürülebilmesinde diğer sistemlerde olduğu gibi avantajları ve dezavantajları vardır.

**Çizelge 2.5 : Hareketli Kubbeli Tip Biyogaz Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları**

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"><li>• Çalışma prensibi kolaydır ve anlaşılabilir.</li><li>• Gaz basıncı hareketli olmasından dolayı sabit tutulabilir.</li><li>• Depolanan gaz hacmi gaz deposunun hareketinden dolayı gözlemlenebilir</li><li>• Tasarım maliyeti düşüktür</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Çelik malzeme kullanıldığından dolayı korozyon riski vardır.</li><li>• Bakım giderleri fazladır.</li><li>• Kullanım süreleri kısadır.</li><li>• Çelikten üretim olduğundan dolayı maliyeti fazladır.</li><li>• Lifli atıklar kullanıldığında gaz deposunda cüruf oluşabilir.</li></ul>

Hareketli kubbeli biyogaz sistemlerinde sistem gelişimi ve uygulamasının devamlılığı için dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekildedir;

- Gaz deposu geniş tutularak reaktörün üzerine örtülür ve böylece yağmur ya da diğer etkenlerden dolayı reaktörün içine sızabilecek ve substratı bozabilecek her şeyden korunmuş olur.
- Bölme duvarlı tasarımları, gelen organik atıkların çıkış borusuna doğru hemen ilerlememesi için mümkün olduğunca gereklidir.
- Atık su borularının yükseklikleri açıları iyi ayarlanmalıdır.

### **2.2.2.3 Balon tipi biyogaz sistemleri**

Balon tipi biyogaz sistemleri sabit bir reaktör üzerinde bulunan membran oluşan sistemlerdir. Gazın birikmesiyle birlikte balon özelliğini göstermeye başlar gazın tamamen dolmasıyla birlikte sistem sabit kubbeli tip sistemler gibi çalışmaya başlar.

Gaz balonu şişirilebilir özellikte fakat çok elastik değildir. Bu yüzden de dikkat edilmesi gerekmektedir.

Gerekli basınç, sistemdeki membranın uyguladığı basınçla sağlanır .Bu membran balonların verimli olarak kullanılabilceği süreler ortalama 2-5 yıldır.

Bu tip biyogaz sistemleri temel olarak sıkı bir şekilde yerleştirilen plastik örtülerden oluşmaktadır. Biyogaz oranı arttıkça ya da biyogaz kullanıldıkça sistem balon özelliğini göstermeye başlayarak gevşer ve gerilir. Sızdırmazlık toprak beton ya da buna benzer yapısal kimyasal malzemeler kullanılarak sağlanır. Gaz deposunun üzerine sızdırmazlığı sağlanmış bir boru yardımıyla üretilmiş olan biyogaz alınabilmektedir.



**Şekil 2.8 : Balon tipi biyogaz tesisleri**

**Kaynak:** <http://www.yegm.gov.tr>

Balon tipi biyogaz sistemlerinin avantajları ve dezavantajları şu şekildedir;

**Çizelge 2.6 : Balon tipi biyogaz sisteminin avantaj ve dezavantajları**

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bakımı boşaltılması, sistem yüklemesi ve temizlenmesi kolaydır.</li><li>• İstenilen her durumda, yerde yapılabilir, uygulanabilir.</li><li>• Maliyetleri düşüktür.</li><li>• Tasarım maliyeti düşüktür</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kolay bir şekilde zarar görebilir.</li><li>• Membran kullanım süreleri kısadır.</li><li>• Kullanılan membranlar genelde özel olarak yaptırılır.</li></ul>

Bu tip sistemlerde kullanılan membranlar güneşin UV ışınlarına karşı koruyucu ve ısı yalıtımına karşı etkili özellik gösterebilecek yapılarda olmalıdırlar.

## 2.3 Biyogaz Sistem Bileşenleri

### 2.3.1 Biyogaz reaktörleri

Biyogaz üretiminde besleme yöntemlerine göre ya da tasarım şekillerine göre birçok çeşitli tip reaktör kullanılmaktadır. Birçok çeşit reaktör kullanılmasına karşın sistem temel olarak aynıdır. İçerisine organik atıkların atıldığı, tamamen havasız bir şekilde yalıtımın tasarlandığı ve ısı şartlarının sağlandığı tanklardır.

Üretimin sağlanabilmesi için tamamen havasız bir ortamın ve ortalama 35°C sıcaklığın sağlanması gerekmektedir. Reaktörlerde birer adet organik maddeler için giriş ve çıkış bulunmaktadır. Sıcaklık azaldığında üretim azalmaktadır. Reaktörlerin gaz hacmi;

$$V_r = GBM \times HBS \quad (2.13)$$

$V_r$  : Reaktör hacmi ( $m^3$ )

GBM : Günlük Besleme Miktarı ( $m^3/gün$ )

HBS : Hidrolik Besleme Süresi (gün)

Formülüyle hesaplanabilmektedir [16].

Hidrolik besleme süresinin artması biyogaz üretimindeki verimin artmasını sağlar. Ayrıca Asitojenesis ve metan üretimi evresinin farklı reaktörlerde gerçekleştiği çeşitli reaktörlerde vardır.

### 2.3.2 Biyogaz depolama üniteleri

Biyogazın basıncını sabit tutmak ve bir yerde toplamak adına amacıyla kullanılan depolardır. Reaktörlerin üzerinden alınan gaz bir boru yardımıyla direkt kullanıma aktarılır ya da depolanır.

Gazların depolanması ve belirli bir basınç altında depolandığı yerlere gazometre denmektedir. Bu gazometreler en uygun olarak tasarlanabilmesi için ne amaçla nasıl kullanılacağı ne oranda ve ne sıklıkla kullanılacağı göz önüne alınmalıdır. Bu bağlamda gazometrelerin hacimlerini belirlemede iki formül kullanılabilir;

$$V_{g1} = g_{c,max} \times t_{c,max} \quad (2.14)$$

$V_{g1}$  : Gazometre Hacmi

$g_{c,max}$  : Saatlik Maksimum Gaz İhtiyacı

$t_{c,max}$  : Kesintisiz Maksimum Kullanılan Süre

Formülüyle hesaplanırken bir diğeri de;

$$V_{g2} = G_b \times t_{z,max} \quad (2.15)$$

$V_{g2}$  : Gazometre Hacmi

$G_b$  : Saatlik Biyogaz Üretimi

$t_{z,max}$  : Gaz Tüketiminin Olmadığı Süre

Formülüyle hesaplanmaktadır. İki formülden en büyük olanı gazometrenin hacmini asıl belirleyen olacaktır. Ayrıca oluşabilecek saptmalara karşı önlem almak maksatlı % 10-20 oranında arttırılmalıdır [17].

Genel olarak çalışma basıncı 10 mbar civarındadır. Hareketli kubbeli biyogaz tesislerinde bu basınç gaz deposunun ağırlığıyla ya da esnekliğiyle sağlanmaktadır. Sabit kubbeli tesislerde ise gazın reaktörün üst kısmında sıkıştırılmasıyla sağlanır.

### 2.3.3 Organik madde depoları

Reaktöre alınan organik maddelerin içerisindeki kuru maddenin oranı %8-10'un üzerine çıkmamalıdır. Bu nedenden dolayı örnek olarak sığır gübresi kullanılacaksa bu oranın sağlanması için gerekli orada suyla karıştırılması gerekir. Depolama için betondan yapılmış organik maddenin depolanması için kullanılacak havuzlar oluşturulmalıdır.

### 2.3.4 Reaktör ısıtma sistemleri

Farklı iklimleri bir arada yaşayan bölgelerdeki biyogaz tesisleri için reaktörlerin ihtiyacı olan gerekli sıcaklığı sağlamak için ısıtıcılara ihtiyaç vardır. Genellikle üretilen biyogazdan, fosil yakıtlardan ya da elektrikli ısıtıcılardan sağlanmaktadır. Bunun yanında güneş enerjisini kullanılan sistemlerde mevcuttur. Bu durumlar, tesis işletmesinin ekonomik yönden masraflarının artmasına, net enerji elde edilmesinin azalmasına neden olmaktadır.

Oksijensiz fermantasyon için reaktörün çalıştırıldığı sıcaklıklar;

Psikrofilik (5- 25 °C)

Mezofilik (25-40 °C)

Termofilik (40-60 °C)

Olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığı tanımlanmıştır [17].

Sıcaklığın takip edilmesi sistem sürdürülebilmesi için oldukça gereklidir ve genel olarak sistem Mezofilik sıcaklıkta çalışmaktadır. 20°C'nin altında sisteme organik madde alımı üretimin uzun sürmesine etki etmektedir. Ayrıca 20°C'in altında ya da 70°C'nin üzerinde bakterilerin aktiviteleri azalmakta ve üretimi etkilemektedir.

Üretilen biyogazın mevsimsel sıcaklık verilerine ve sistem yalıtımına da bağlı olması koşulu ile yaklaşık olarak %30'u ısıtma giderlerine için kullanılmaktadır. Bu giderlerin %70-90'ı de reaktörün ısınmasına harcanmaktadır. Diğer ısılar sistem giderleri, kayıpları ve besleme atıklarının reaktör sıcaklığına getirilmesi için gerekli olan ısıdır.

Reaktöre ısı enerjisinin aktarılma yöntemlerine göre reaktörler farklı gruplara ayrılmaktadırlar.

a- Dahili Isı Eşanjörlü Reaktörler: En yoğun olarak kullanılan sistemlerdir. Reaktörün iç kısmına ısı serpantinlerinin yerleştirilmesiyle sisteme ısı vermektedirler. Harici eşanjörlere göre daha fazla tercih edilmesinin sebebi ısı kaybının daha az olmasından dolayıdır fakat; herhangi bir arıza olmasında ise sistemin tamamen duracağı durum ise dezavantajdır.



**Şekil 2.9** : Dahili ısı eşanjörlü reaktör iç dizaynı

**Kaynak:** <http://www.soleaenerji.com>

b- Harici Isı Eşanjörlü Reaktörler: Reaktörün dışarıdan ısıtılmasıyla içerideki organik atıkların istenilen sıcaklıkta dengelendiği sistemlerdir. En büyük dezavantajı enerji kayıplarıdır.



c- Isı Ceketli Reaktörler: Yaygın olarak laboratuvar ortamlarında ya da pilot tesislerde kullanılmaktadır. Pahalı olduğundan dolayı çok fazla tercih edilmemektedir.

d- Buhar Enjeksiyonlu Reaktörler: Genelde çok daha büyük biyogaz tesislerinde kullanılan bu ısıtma işlemi buharın direkt olarak reaktör içerisine ya da besleme kanalına enjekte edilerek organik atıkların istenilen sıcaklığa getirilmesi için uygulanır. Bu sistemin dezavantajı ise belli bölgelerin ani ve çok fazla sıcaklık artışlarının oluşmasıdır.

Isının iyi ayarlanması bir biyogaz sistemi için hayati derecede önemlidir ve hassas olarak sürekli kontrol edilmesi gerekir. Kullanılan malzemelerin paslanmaya ve korozyona dayanıklı malzemelerden olmasına dikkat edilmelidir. Fazla ya da düşük sıcaklıklarda sistemdeki bakterilerin çalışmaları sorun olmaktadır ve sistem durma noktasına gelebilmektedir.

### **2.3.5 Diğer üniteler**

Biyogaz sistemlerinde bu ünitelerin dışında kalan diğer ekipmanlarda vardır :

- Karıştırıcılar
- Vanalar
- Gaz Boruları
- Pompalar
- Isıtma Sistemleri
- Ayırma Elemanları
- Filtrasyon Elemanları
- Bağlantı ekipmanları

Biyogaz sistemlerinde karıştırıcılar reaktör içerisindeki substratın homojen şekilde karıştırılması, ısının ve atıkların aynı oranda dağılması, çökeltinin ve yüzeyde oluşabilecek tabakayı engellemek için karıştırıcılar kullanılmaktadır.

Karıştırıcıların işlevleri şu şekilde sıralanabilir:

- Taze organik maddeyi substrata homojen şekilde karıştırmak
- Reaktör içerisinde çökelti oluşmasını engellemek
- Sıcaklığın reaktörün her bölgesine eşit dağılımını sağlamak
- Reaktör yüzeyinde köpüklenme gibi oluşabilecek tabakayı engellemek

Bu nedenle karıştırmanın önemi oldukça fazladır ve biyogaz tesisleri için karıştırıcının seçiminin iyi yapılması önemlidir.

- Mekanik karıştırıcılar
- Pnömatik karıştırıcılar
- Hidrolik karıştırıcılar

Olmak üzere 3'e ayrılır.

## **2.4 Diğer Süreçler**

### **2.4.1 Organik atık tedarik**

Organik atıklar işletme dışından ya da işletme içerisinden temin edilebilir. İşletme dışından temin edilen atıklar birçok yönden önemlidir. Kullanılmak üzere alınacak olan atıkların kalite yönünden, ekonomik yönden, enfeksiyon ve hastalık yönünden ve hızlıca işlenmesi yönünden iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tesis dışından getirilecek olan atıkların nakliyesi ve kalitesi önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Girdi olarak alınacak her türlü atığın ağırlığı kaydedilmeli ve bir numune alınmalıdır. Bu durum yeri geldiğinde ilgili makamlarca talep edilebilir.

Alınan atıkların sözleşmedeki kalite şartlarına uygun olup olmadığı, bulaşıcı hastalık ya kalitesinin kontrolü ya da en azından görsel olarak kontrolü yapılmalıdır. Atıkların içerisinde tıbbi atıkların ve zararlı atık yağların olup olmadığı, hayvanlardan alınan katı atığın kuru madde oranı, antibiyotik ya da diğer ilaçların kullanılıp kullanılmadığı kullanıldıysa ne kadar kullanıldığı açık bir şekilde bilgilendirilmeli ve kay altına alınması gerekmektedir. Ayrıca tedarik edilecek organik atığın alındığı tesisle, sistemin durmasına ya da aksamasına neden olabilecek tedarikteki eksiklikler ya da sorunlarla, hijyen, koku gibi çevresel koşullarla ilgili anlaşmalar özenle yapılmalıdır.

### **2.4.2 Depolama**

Organik madde deposu yarım günden iki, üç güne kadarlık olan ihtiyacın karşılanmasını sağlamak için atıkların hazır olması amacıyla yapılır. Depoların büyüklüğü, sistemin büyüklüğüne ve karşılanma süresine bağlı olarak değişir. Kullanılacak her bir atığa göre farklı depolar tasarlanmalı ve birbirinden ayrılmalıdır.

Hijyen bakımından şüpheli olan materyaller için farklı depolama alanı kullanılmalı ve reaktöre girmeden önce ayrı işlemlerden geçirilmelidir.

Reaktörün performansı, tedarik süreleri, sistemle oluşabilecek arızalar, toplam ihtiyaç olan atıkların miktarına göre hesap edilerek depolar boyutlandırılmalıdır. Donma tehlikesine karşı depoların korunaklı, koku emisyonlarını en aza indirgeyecek , toprakla ve suyla teması engellenecek şekilde tasarlanması gerekir.

### **2.4.3 Hazırlama**

Kullanılacak olan organik atıkların, içerisindeki zararlı maddelerin oranına bağlı olarak kullanılabilirliği etkilenmekte olmasıyla birlikte kapsamı hazırlanması da biyogaz sistem teknolojisini etkilemektedir. İyi bir prosese hazırlık sürecinden geçen atıklar, sistemdeki enerji potansiyelinin tümüyle değerlendirilmesine katkı sağlar.

#### **a-) Zararlı maddelerin ayrıştırılması**

Zararlı maddelerin ayrıştırılması bileşenlerine ve maddenin kökenine bağlıdır. En fazla görülen zararlı maddelerden olan çakıllar ve büyük taşlar hazırlanma tankında işlem öncesi göz kontrolü yapılarak ayklanır. Ayrıca sistem hattına bağlanan ağır metal tutucu sistemlerde biyogaz üretim tesislerinde bulunabilir.

#### **b-) Parçalama**

Parçalama işlemiyle birlikte yüzey alanı genişler ve biyolojik bozunma hızının artmasına sebep olur. Fakat buna bağlı olarak biyogaz verimi etkilenmemektedir. Harici olarak parçalama; kırıcılar, değirmenler, eziciler, helezonlar gibi üniteler kullanılarak reaktöre ya da organik atık deposuna gitmeden önce yapılabilir. Katı madde ya da elyaf içeren sıvılar doğrudan reaktör içerisinde ya da boru hatlarında da parçalanabilir.

Kanatlı hayvanlar da dahil olmak üzere hayvansal gübreler, bayat ekmekler, sebze ve meyvelerle birlikte silajlar için kullanılabilir. Direkt sistem hattına bağlantısı yapılabilir ve buldozerlerle kolayca yükleme yapılabilir.



**Şekil 2.10 : Parçalama ünitesi**

**Kaynak:** <http://www.hochreiter-tr.com/tesis-uniteleri/>

#### c-) Homojenleştirme

Yas fermantasyonda hacimsel olarak ıslaklığın artırılmasıyla atıklar pompalamaya uygun hale getirilmesi ve reaktöre aktarılması için homojenleştirme zorunludur. Bu işlem reaktörden önce hazırlanma deposunda ya da diğer tanklarda yapılabilir. Homojenleştirme sıvısı olarak imkanlar dahilinde sıvı gübre, proses suyu ya da fermantasyon sıvısından arta kalan sıvılar kullanılabilir. Bunların kullanılması olabildiğinde temiz su ihtiyacını en aza indirir ve böylelikle ekonomik açıdan kazanç sağlanmış olur.

Temizlik işlemlerden gelen suyun kullanılması bakterilerin ilerlemesini etkileyebileceği için mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

#### d-) Hijyenleştirme

Bulaşıcı hastalıklar ve zararlı bakterilerin atıklardan uzaklaştırılabilmesi için bir ön işlem biyogaz sistemleri için gerekli olabilir. Organik atıklar minimum bir saat boyunca 70 °C sıcaklıkta bekletilmesiyle hijyenleştirme sağlanabilir. Bir diğer yöntem ise 133°C sıcaklıkta ve 3bar basınçta yaklaşık 20 dakika bekletilerek bir ön işlem yapılabilir. Yalnız bu işlem ilkinde nazaran daha az rastlanan bir yöntemdir.

Hijyenleştirme ünitelerinin büyüklükleri uygulanacak olan atıkların miktarına bağlı olarak değişir fakat; genelde hijyen bakımından şüpheli olarak görülen atıklar için uygulanmaktadır. Prosese girmeden önce tüm atıklara da uygulanabilir. Bu işlemin önemli bir etkisi de ısı uygulanan atıkların özelliklerine göre daha iyi fermente olabilesidir.

Bu işlem hava geçişi olmayan çelik tanklarda yapılır. İşlem sonucu hijyenleştirilmiş atıkların sıcaklıkları daha yüksektir. Reaktöre aktarılıp bu ısıdan faydalanılabilir fakat kullanılamayan durumlarda ise beklemeye alınıp uygun bir şekilde istenilen sıcaklığa gelinceye kadar soğutulmalıdır.

#### e-) Ön İşlem Uygulanması

Atıkların fermantasyon öncesi iki ila 4 gün arası süren, yaklaşık olarak 40-50 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp hava verilmesiyle uygulanan proseslerdir. Bu sayede atıkların sıcaklığı arttırılmış ve hücre duvarları parçalanmaya başlamış olur. Ancak atıkların bu esnada dönüşmesi ve biyogaz için kullanılabilir olmaktan çıkması gibi sorunları da olabilmektedir.

### **2.4.4 Nakliyat ve yükleme**

İdeal bir biyogaz tesisinde sistem şekline göre sürekli bir materyal akışı ve düzenli bir metan üretimi gerçekleşir. Buna bağlı olarak sisteme sürekli olarak organik atıkların yüklenmesi gerekmektedir. Tasarımsal olarak farklı olsalar da, nakliye ve yükleme yöntemleri atık materyallerinin yapısına bağlı olarak değişir. Yükleme sırasında sıcaklığa dikkat edilmelidir. Yükleme yapılan organik atıklarla fermente olmakta olan atıklar arasındaki sıcaklık farklı biyogaz üretimine kötü yönde etki eder. Bu yüzden ısı aktarıcılar ya da ısıtılmış ön depolar kullanılabilir. Pompalanabilir ve istiflenebilir atıklar olmak üzere gruplara ayrılırlar yapırlar.

Pompalanabilir atıkların nakliyesi; elektro motorlar kullanılan pompalar yardımıyla yapılmaktadır. Zaman devreli, kontrol edilebilir otomasyon devrelerine bağlı olan sistemler kontrol panelleriyle yönlendirilebilir. Akışkan atıklar ya ön yükleme deposuna yüklenir ya da direkt olarak reaktör aktarılabilir.

İstiflenebilir atıkların nakliyesi; genel olarak kepçe kullanılarak yapılabilir. Yükleme için özel helezonlar ya da yükleyiciler kullanılır.

### **2.4.5 Fermente olmuş atıkların alınması depolanması**

Fermente olmuş atıklar pompalar yardımıyla reaktörden çıkarılırlar. Atıklar alınmadan önce karıştırılması önerilmektedir. Bunun nedeni; sabit kıvamından ve kalitesinden emin olabilmektir. Bu işlemler için sürekli motora bağlı olmayan ve kuyruk milleriyle çalışabilen pompalar genel olarak küçük ve orta ölçekli işletmelerde tesis ekonomisi açısından tercih edilmektedir.

Reaktör tiplerine göre; taşmayla ya da reaktörün altında ulunan bir tahliye çıkışıdan da fermente olmuş atıklar sistemden alınabilir.

Sıvı fermantasyon atıkları; reaktöre benzer şekilde olan taklarda depolanabilir. Üzeri bir kapak yardımıyla gaz geçişli ya da gaz geçişine engel olunmuş yalıtımlı bir şekilde kapatılabilir. Her iki şekilde de koku emisyonları en aza düşürülmüş olmaktadır. Gaz yalıtımlı tanklarda artık gaz potansiyelini kullanabilme tartışmaları hala devam etmekte olsa dahi gaz yalıtımlı tanklar kullanılması teşvik kapsamında ödüllendirilmektedir.

Katı fermantasyon atıkları; kullanıl şeklinin amacına göre hangarlarda, açık alanlarda, konteyner gibi taşınabilir tanklarda kaplarda depolanabilir.

#### **2.4.6 Biyogazın depolanması**

Biyogaz üretimi kullanılan organik atıklara göre değişkenlik gösterir. Sabit kullanım nedeniyle de depolanmaya ihtiyaç duyabilir. Üretilmiş olan biyogaz için kullanılacak olan depolar; iyi yalıtımlı, ısıya, UV ışınlarına ve çevre koşullarına karşı gerekli dayanımda olmalıdırlar. Ayrıca gerekli güvenlik konusundaki hassasiyetlerden dolayı gerekli yüksek ve düşük basınç önlemleriyle de donatılmalıdır.

Düşük basınçlı depolar; 0,5-30 mbar arasında olup en fazla kullanılan depolardır.

Orta ve büyük basınçlı depolar; 5-250 bar arasındaki basınçlarda kullanılmaktadır. Çelik ya da betonlardan imalatı yapılmış olup tarımsal tesislerde neredeyse hiç kullanılmazlar. B depoların maliyetli ve işletilmesi oldukça zordur [18].

Reaktörün kendisi de bir gaz deposu olarak kullanılabilir. Reaktörün üst kısmında toplanan biyogaz belli bir basınç değerinin üzerine çıktıktan sonra reaktörden alınır.

#### **2.4.6 Yan düzenekler**

Gaz yakma bacası

Üretilmiş olan biyogaz depolarda artık depolanamayacaksa ya da fazla üretimden, bakımdan, arızadan kaynaklı sebeplerden dolayı fazla olan biyogaz, çevresel koşullar göz önünde bulunarak yakılarak bertarafını gerçekleştirmek için kullanılan bacalardır.

Köpük gidericiler

Üretim için kullanılacak olan organik atıklara bağlı olarak köpük oluşumu görülebilir. Köpüklenme minimum ölçüde sistemde vardır yalnız bu durumun artması halinde sistem elemanlarını tıkaması zarar vermesine sebep olur. Gaz hatlarını tıkamasını engellemek için mümkün mertebede reaktörde yukarı kısımlara konumlandırılmalıdır. Oluşan aşırı köpüğü gidermek için, sistem içerisinde bulunan düzeneklerden kimyasal püskürtülebilir. Bu durum geçici olarak köpüklenmeyi engellese de en iyi yöntem olarak sistemin düzenli çalıştırılmasıyla köpüklenmenin önüne geçilebileceğidir.

## **2.5 Biyogaz Üretimine Etki Eden Faktörler**

Biyogaz fermantasyonu sürecince bakterilerin iyi bir şekilde çalışabilmesi için gerekli ortam koşullarını iyi bir şekilde sağlaması gerekir. Reaktör şartlarındaki değişen parametreler metan üreten bakterileri arasındaki dengeyi bozabilir ya da olumsuz etkileyebilir. Ayrıca bu parametreler biyogaz kalitesini yani metan oranını etkiler. Bu parametreler sürekli hassas ölçüm yapan sensörlerle kontrol altına alınmalıdır ve sürekliliğin devamı için performans değerleri takip edilmelidir. Biyogazın üretimine etki eden parametreleri; sıcaklık, pH, karbon azot oranı (C/N), yükleme oranı, hidrolik bekleme süresi, katı madde oranı gibi başlıkları başlıca sıralayabiliriz

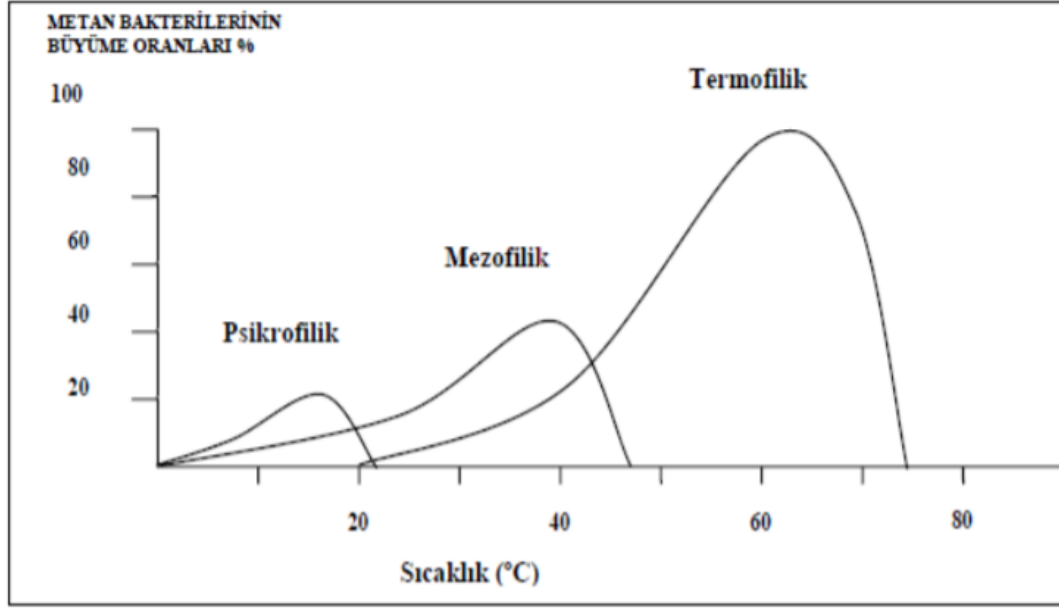
### **2.5.1 Sıcaklık etkisi**

Fermantasyon sürecine en fazla etki eden parametrelerden birisi sıcaklıktır. Metanojen bakterilerinin üreyip gelişmesi ve iyi bir şekilde çalışması için sıcaklık doğrudan etkilidir. Her bakterinin üreyip yaşamaları için farklı sıcaklık değerlerine ihtiyacı vardır. Biyogaz üretiminde üç farklı çalışma sıcaklığı uygulanmaktadır.

1-Psikofilik Fermantasyon (3-20°C): Fermantasyon süresi oldukça yavaştır ve 100-300 gün arasında değişmektedir.

2-Mezofilik Fermantasyon (20-40°C): Anaerobik fermantasyonda en fazla görülen fermantasyon çeşididir. Bekleme süreleri 20-40 gün arasında değişmektedir.

3-Termofilik Fermantasyon (40-70°C): Fermantasyon süreleri oldukça kısadır ve hassastır. 5-15 gün arasında bir sürede fermantasyon gerçekleşir [14].



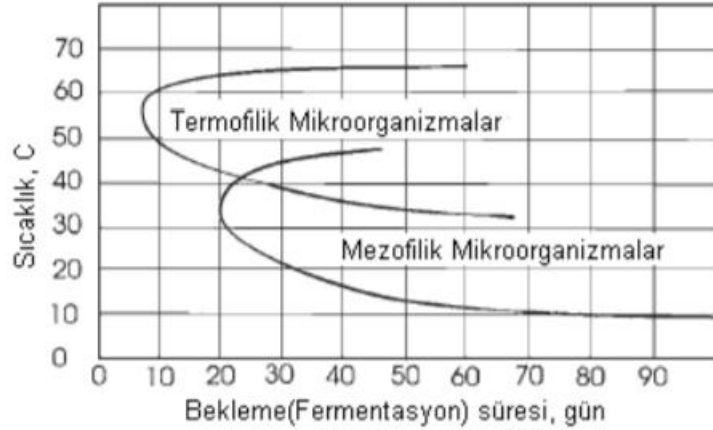
**Şekil 2.11 :** Biyogaz üretimi çalışma sıcaklıkları

**Kaynak:** Eryaşar, A., Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.

Psikofilik fermantasyonda reaktörün ısıtılmasına ya da organik atıkların ısıtılmasına gerek yoktur. Performansı ve metan üretimi oldukça düşük olmasının yanı sıra ekonomik olmadığından dolayı biyogaz sistemlerinde uygulanması mümkün değildir.

Mezofilik fermantasyon bilinen metan üreten bakterilerin büyük bir çoğunluğunun sıcaklık isteğini karşılayabilecek sıcaklık değeri arasındadır. Biyogaz sistemlerinde genellikle bu fermantasyon çeşidi uygulanmaktadır. Fakat Avrupa’da ve Türkiye’de termofilik fermantasyon gerçekleştiren tesislerin sayısı da artmaktadır. Sıcaklık artışı metan üretim hızının da artışına etki etmektedir. Hidrolik besleme süresini kısaltır. Özellikle termofilik fermantasyonlarda fermantasyon süresi ortalama 8 güne kadar düşebilmektedir.





**Şekil 2.12 :** Sıcaklığın bekleme süresi üzerindeki etkisi

**Kaynak:** Deublein, D., Steihauser, A., Biogas: From Waste And Renewable Energy Resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3- 527-31841-4, 2008.

Yapılan çalışmalarda, domuz atıklarından 25°C, 30°C ve 35°C sıcaklıklarda biyogaz elde etme çalışmalarında en yüksek biyogaz miktarının yüksek sıcaklıklarda elde edildiği belirtilmiştir [19]. Diğer bir çalışmada, gıda atıklarından mezofilik ve termofilik çalışma koşullarında ve iki aşamalı anaerobik sistemde, farklı hidrolik bekleme sürelerinin hepsinde termofilik sistemden daha yüksek verim elde etmişlerdir [20].

Hava sıcaklığının düşük olduğu aylarda yapılan çalışmada 35°C'den 38°C'e çıkarılan ortam sıcaklığında, metan üretiminin artmasından fazla tüketimine yol açtığı görülmektedir [21].

Biyogaz üretiminde genellikle mezofilik ortam tercih edilir. Termofilik bölgede çalışan reaktörlerden birim başına düşen biyogaz üretimi mezofilik ortama göre daha fazladır fakat daha küçük reaktörler kullanılmaktadır. Termofilik reaktörlerin sıcaklık değerlerini sağlamak için daha fazla enerji ihtiyacı vardır.

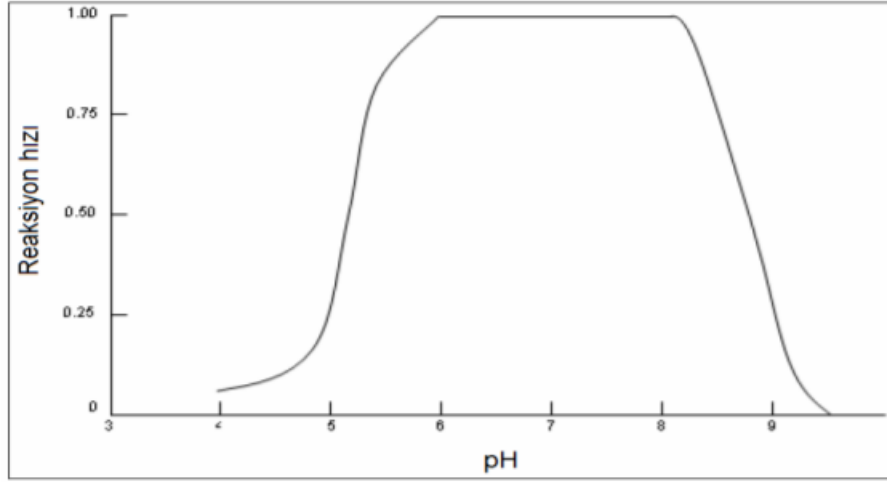
Bazı yapılan çalışmalarda, termofilik olarak çalışan sistemlerde serbest amonyak inhibitasyonundan dolayı mezofilik sistemden daha az verimli olduğu, ya da yaklaşık aynı verimlilik oranında oldukları fakat termofilik ortam için kullanılan enerjinin daha fazla olmasından dolayı tercih edilmediği belirtilmektedir [22].

Ani ve yüksek sıcaklık değişimleri ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) anaerobik fermantasyonda toksik etkiye neden olur. Bu yüzden de termofilik ortamda daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Mezofilik ortamlarda sıcaklık dalgalanmaları daha az olur ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) ve olası dalgalanmalarda sistem kendini tekrar dengeye alabilir ve devam edebilir.

### 2.5.2 Ph etkisi

Biyogaz oluşumu sırasında sisteme etkiyen faktörlerden en önemlilerinden birisi de pH seviyesidir. Her enzimin belli pH seviyelerinde aktive olmasından dolayı üretim sırasındaki bakteriler üzerinde çok fazla etkisi vardır.

Üretimdeki her aşamada farklı bakteriler görev yaptığı için uygun pH değeri her aşama için farklılıklar gösterebilir. Asetojenler için uygun pH değeri 5,5-6,5 arasında iken metanojen bakteriler için uygun pH değeri 6,5-8'dir. Sistemin üretim aşamalarının birbirine uyumlu çalışabilmesi için ortalama pH değeri her ortam ve aşama için optimum olması gerekmektedir. Hızlı ve verimli bir metan üretimi için sistemin pH 6,5-7 değerinde çalıştırılması gerekir [23].



**Şekil 2.13** : Ph'ın biyogaz üretim hızına etkisi

**Kaynak** : Anonim

Yüksek değerlere ulaşan pH sisteminde metanojen sayısının azalmasına sebep olur ve metan üretim miktarı oldukça düşürür. Asetik asit safhasında ortamda organik maddelerin fazla olmasından dolayı ya da asit üreten bakterilerin metan üreten bakterilerden hızlı çalıştığı durumlarda sistemin pH'ı düşebilir. Bu durum fermantasyon sürecinin bozulduğuna bozulduğunu göstermektedir. Ortamın pH'ının yükseltilmesi için kalsiyum hidroksit, sodyum bikarbonat gibi alkali kimyasallar eklenerek ortamın pH seviyesi dengelenmeye çalışılır. Ayrıca beslemenin kesilerek su ilave edilmesi ve besleme süresinin arttırılmasıyla da sistem dengeye getirilebilir.

Bir diğer pH'ın değerini etkileyen faktör ise fermantasyon sırasında oluşan reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan amonyaktan dolayıdır. Bu durum da sistemin pH'ını yükseltmekte, metan oluşum bakterilerinin hızını arttırdığı oranda asitogen

bakterilerinin hızını yavaşlatmadır ve bu durumda asitojen bakterilerinin çalışamaz duruma gelmesine neden olmaktadır. Ortamda metan bakterilerinin ihtiyacı olan asitojen bakterilerindeki azalmadan dolayı da sistem çalışamaz duruma gelmektedir.

### 2.5.3 C/N oranı

Hayvansal ve bitkisel organik maddeler ya da evsel atıklar tümünde belli oranlarda azot, karbon ve oksijen bulunur. Fermantasyon sürecinde bakterilerin enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için organik maddelerdeki karbon, bakterilerin büyümesi ve çoğalması için ise azot gereklidir. Karbon ve azot oranı sistemin performansına etki eden önemli parametrelerden biridir. Karbon organik maddelerdeki karbonhidratlardan sağlanırken azot ise, proteinlerden ve amonyaklardan sağlanır. Tarımsal kaynaklı organik atıkların genellikle karbon oranı fazladır, canlı dışkıları ve atıklarındaki organik maddelerde azot oranı fazladır.

**Çizelge 2.7 : Organik maddelerin C/N oranı**

<b>Yüksek karbon içerikli Materyaller</b>	<b>C/N</b>
Yapraklar	30-80:1
Saman	40-100:1
Ağaç Kırıntıları ve Talaş	100-500:1
Karışık Kâğıt	150-200:1
Gazete veya Oluklu Mukavva	560:1
<b>Yüksek Nitrojen İçerikli Materyaller</b>	<b>C/N</b>
Sebze Parçaları	15-20:1
Kahve artıkları	20:1
Çim	15-25:1
Gübre	5-25:1

**Kaynak:** İnternet: Karbon Azot oranı

URL:[http://web.deu.edu.tr/erdin/tr/ders/kati\\_atik/ders\\_not/kompost.pdf](http://web.deu.edu.tr/erdin/tr/ders/kati_atik/ders_not/kompost.pdf)

Biyogaz üretiminde olması gereken değer 20-30 arasındadır [24]. Bu değer üzerine çıkılması ya da altına inilmesi durumunda sistem olumsuz etkilenmektedir. C/N oranının fazla olması durumunda reaksiyonlarda nitrojen metan bakteriler tarafından kullanılır ve üretilen gaz miktarı düşer. Oranın düşük olmasında ise ortamdaki amonyak miktarı artar ve sistemin pH derecesini yükseltir. C/N oranı aslında pH değerine de etki etmektedir.

#### **2.5.4 Hidrolik bekleme süresi (HBS)**

Organik atıkların reaktörlere girişinden çıkışına kaldığı toplam süreye hidrolik bekleme süresi denilir. Biyogaz üretimi için önemli parametrelerden biridir. Organik atıkların türüne, sıcaklığa ve kullanılan teknolojiye göre bekleme süreleri değişiklik göstermektedir. Parçalanması zor olan ve yoğunlukça yüksek olan atıkların bekleme süreleri fazladır. Sıvı atıklar ve Termofilik ortam sıcaklığını kullanan sistemlerde ise daha kısa bekleme süreleri kullanılır.

Bekleme süresinin tamamlanması; en uygun zaman, maliyet ve en iyi metan üretimi sağlanması durumlarında gerçekleşir. Uygulanan bekleme süresi içerisinde organik maddelerin %70-80'inin kimyasal reaksiyona girerek bertaraf edildiği kabul edilir. Artan sıcaklıkla ya da mevsimsel sıcaklık farkları bekleme süresini etkileyeceğinden uygun süreler değişebilir.

$$HBS = \text{Reaktör hacmi (m}^3\text{)} / \text{Günlük debi (m}^3\text{/gün)} \quad (2.16)$$

Anaerobik fermantasyonunun iyi bir şekilde sürdürülebilmesi için HBS, kullanılan organik atık içeriğinin sürekli değişkenlik göstermesi sebebiyle, bu zaman diliminde üreyebileceğinden daha fazla atık reaktör içerisine alınmayacak şekilde, optimum şartlar sağlayarak belirlemelidir. Bekleme süresinin kısa olması halinde organik atıklar tamamen parçalanmadan sistemden atılma durumunda kalır. Reaksiyona girme ve biyogaz üretim aşamaları için yeterli zamanı olmayacağından dolayı düşük gaz verimi elde edilir.

Sistemin sıcaklığı arttıkça kimyasal reaksiyonların tepkime hızı sıcaklığa bağlı olması nedeniyle, bekleme süresi azalır. Termofilik sistemlerin de çalışma sıcaklıkları yüksek olduğu için bekleme süreleri oldukça kısadır. Mezofilik çalışma ortamların ise termofilik ortama göre daha düşük olduğu için bekleme süreleri daha uzundur. Fakat ilk yatırım ve işletme maliyetleri göz önünde bulundurulduğundan dolayı mezofilik şartlarda çalışan sistemler daha fazla tercih edilmektedir.

#### **2.5.5 Organik yükleme hızı (OYH)**

Günlük olarak birim hacimdeki reaktöre beslenen organik maddelerin miktarını tanımlamak için kullanılır. Organik yükleme hızı, hidrolik bekleme süresiyle uyum içerisinde olmalıdır. Böylelikle daha fazla verimli biyogaz elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Bu durumda verimin hesaplanması organik madde girdisinin üretilen biyogaza oranıyla bulunabilir.

$$A_{CH_4} = \frac{v_{CH_4}}{m_0Ts} \quad (Nm^3t^{-1}OKM) \quad (2.17)$$

$A_{CH_4}$  : Metan verimi

$v_{CH_4}$  : Metan üretimi

$m_0Ts$  : Eklenen organik kuru madde

Sistemde organik yükleme hızı fazlaysa eğer reaktör içerisindeki asit üretimi artar ve pH düşer ve metanojen bakterilerin çalışmasına olumsuz yönde etki eder ve bazı durumlarda sistemin durmasına kadar sebep olabilir. Organik yükleme hızı az olması durumu da üretilen miktarı azaltacağından dolayı, biyogaz üretimini ekonomik olmaktan çıkartmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, fermantasyonda farklı organik maddeler ve farklı hızlardaki karıştırıcılar kullanılmıştır. OYH ve karıştırıcıların hızının fazla olması ortamın asidik olmasını ve prosesin zarar gördüğünü ortaya koymuştur. Karıştırıcı hızının üretime etkisinin olmasının yanında, bu çalışmada yükleme hızını düşürülerek yapılan çalışmalarda önemli bir fark olmadığı ortaya konulmuştur.

### 2.5.6 Katı madde içeriği ve organik madde oranı

Biyogazda kullanılan tarımsal ve hayvansal atıkların farklı katı madde içerikleri vardır. İçerisindeki nem oranı fermente olacağı sıcaklığa, kullanılacak teknolojiye, reaktör çeşidine göre de farklılıklar gösterebilir. Islak sistemlerde katı madde oranı %10 ya da daha altındadır. %10 ve %20 arasında kuru madde içeriğine sahip sistemler yarı kuru sistemler olarak adlandırılır. Daha fazla kuru madde oranına sahip sistemler ise kuru sistemler olarak adlandırılmaktadır [25].

Genellikle katı madde oranı düşük sistemler tam karıştırmalı ve sürekli beslemeli olarak çalışırken, katı madde oranı yüksek sistemler kesikli beslemeli olarak çalıştırılırlar.

Organik atıkların katı madde oranları ve içerisindeki organik madde oranları birbirinden farklıdır ve özelliklerine göre bazıları sistemlerde kullanılırken bazıları çeşitli sorunlardan dolayı tercih edilmemektedir.

İçerisindeki katı madde oranı az olan sistemlerde katıların çökmesi sorunu olmaktadır. Fazla olan sistemlerde ise gaz çıkışının engellenmesi gibi sorunlar

olabilmektedir. Fazla sıvı kullanılması durumunda katı madde oranı minimuma ineceğinden sistemi ısıtmak için fazla enerji harcanacağından dolayı verim düşer. Katı oranı çok fazla olduğunda ise yüksek miktarda asit biriktiğinden inhibitasyon meydana gelir. Ortalama katı madde oranının %32'yi geçmemesi sistemin daha iyi çalışması açısından daha verimli olmaktadır.

**Çizelge 2.8 :** Farklı maddelerin Katı ve Organik madde içerikleri

Besin	% Toplam Katı Madde	% Uçucu Katı Madde	Biyogaz üretimi (m <sup>3</sup> /kg TKM)	Bekleme süresi (gün)
Tahıl silajı, taze	20-26	75-95	0.5-1.1	-
Elma posası	2-3	95	0.5	3-10
Kaynamış maya	10	92	0.72	-
Sebze atıkları	5-20	76-90	0.4	8-20
Bahçe atıkları	37	93	0.7-0.8	10
Kuru ot	86	90-93	0.5	-
Çayır otu	15-20	89-93	0.6-0.7	-
Şeker pancarı	12-23	80-95	0.7	-
Mısır silajı	20-40	94-97	0.6-0.7	-
Mısır kamışı	86	72	0.4-1.0	-
Patates püresi	6-18	85-96	0.3-0.9	3-10
Melas	77-99	85-95	0.3-0.7	-
Biyotik	40-75	30-70	0.3-1.0	27
Çöktürme çamuru	5-24	90-98	0.7-1.2	12
Sığır gübresi	25-30	80	0.6-0.8	-
Domuz gübresi	20-25	75-80	0.27-0.45	-
Tavuk gübresi	10-29	67-77	0.3-0.8	-
Koyun gübresi	18-25	80-85	0.3-0.4	-
At gübresi	28	25	0.4-0.6	-
Peyniraltı suyu	4-6	80-92	0.5-0.9	3-10

**Kaynak:** Doublein, D., Steinhauser, A., Biogas:From Waste And Renewable Energy Resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3- 527-31841-4, 2008

### 3. BİYOGAZ SAFLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Doğada bulunan tüm canlı atıkları ve bitkisel atıklar çürümeye ve bozulmaya uğramaktadır. Bunlar aerobik bakteriler tarafından ya da anaerobik bakteriler tarafından havasız ortamda gerçekleşir. Bataklıkların dibinde ölü bitki ve hayvansal atıklardan da anaerobik bakteriler tarafından bozulmaya uğrarlar ve bunun sonucunda bataklık yüzeyine metan, karbondioksit ve hidrojen gibi çeşitli gazlar çıkmaktadır. Anaerobik fermantasyon süreci içerisinde hidroliz, asit oluşumu, metan oluşumu gibi safhalara ve bu safhalar dışında değişkenliğe etki eden birçok parametrenin bulunduğu karmaşık kompleks biyokimyasal reaksiyonlar bütünüdür.

Biyogazın içerisindeki metan verimini arttırmak, istenmeyen gazlardan uzaklaştırmak, doğalgaz saflığına getirmek, taşınabilirliğinin sağlanması, enerji seviyesinin yükseltilmesi ve araçlarda yakıt olarak kullanılması için; içerisindeki istenmeyen, zarar veren, verimi düşüren etkenler biyogazdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunlar saflaştırma yöntemleri olarak adlandırılır.

Biyogaz içerisinde %50-70 oranında metan, %25-45 oranında karbondioksit ve diğer gazlar içeren organik atıklardan üretilen bir gazdır. İçerisinde çok az oranda da olsa partikül ve yağ bulunabilir. Uygun tutucular kullanılarak bunlar biyogazdan temizlenebilir. Teorik olarak hidrolik beslemenin tamamı hayvansal ya da bitkisel yağlardan oluşmuyorsa, metan veriminin %70'i geçme olasılığı yoktur. Metan veriminin bu değerlerin üstlerine çıkabilmesi için çeşitli saflaştırma yöntemleri uygulanmaktadır.

Biyogazın saflaştırılmasıyla doğalgaz hatlarına beslenebilir, taşınabilir hale getirilebilir, ısı değeri yükselir, kullanıldığı sistemlerdeki tüm sistem elemanlarındaki ve motorlardaki korozyon etkisi minimuma iner, gaz verimini artırır ve araçlarda yakıt olarak da kullanılabilir.

### 3.1 CO<sub>2</sub> Gazının Saflaştırılması

Karbondioksit metandan sonra biyogaz içerisindeki oranı en fazla olan gazdır ve biyogazın enerjisini düşürdüğünden dolayı enerji seyreltici olarak da adlandırılır. Biyogazın içerisindeki su buharıyla da birleşerek zayıf asit oluşturarak korozyona sebep olmaktadır. Doğalgaz şebekelerinde ve yakıt olarak kullanılmak isteniyorsa belli oranın altına düşürülmelidir. Biyogaz içerisindeki karbondioksit miktarı kullanılan beslemeye, üretimde kullanılan teknolojiye, sıcaklığa, pH seviyesine göre farklılıklar göstermektedir.

Biyogazın saflaştırılması sırasında kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır;

- Su ile temizleme,
- Polietilen Glikol ile absorblama,
- Karbon molekül elek kullanma,
- Membranla ayırma.

Su ile temizleme yönteminde farklı gazların sudaki çözünürlüklerinden faydalanarak saflaştırma yapılır. Biyogaz içerisindeki CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi gazlar basınçlı su ile fiziksel absorpsiyonla arındırılabilir. Bu proses yapılırken su içerisinde belli oranda metan çözünmesi de gerçekleşir fakat çözünürlüğü az olduğu için kayıp fazla değildir.

**Çizelge 3.1 :** Bazı gazların 20°C ve 1 atm basınç altında sudaki çözünürlüğü

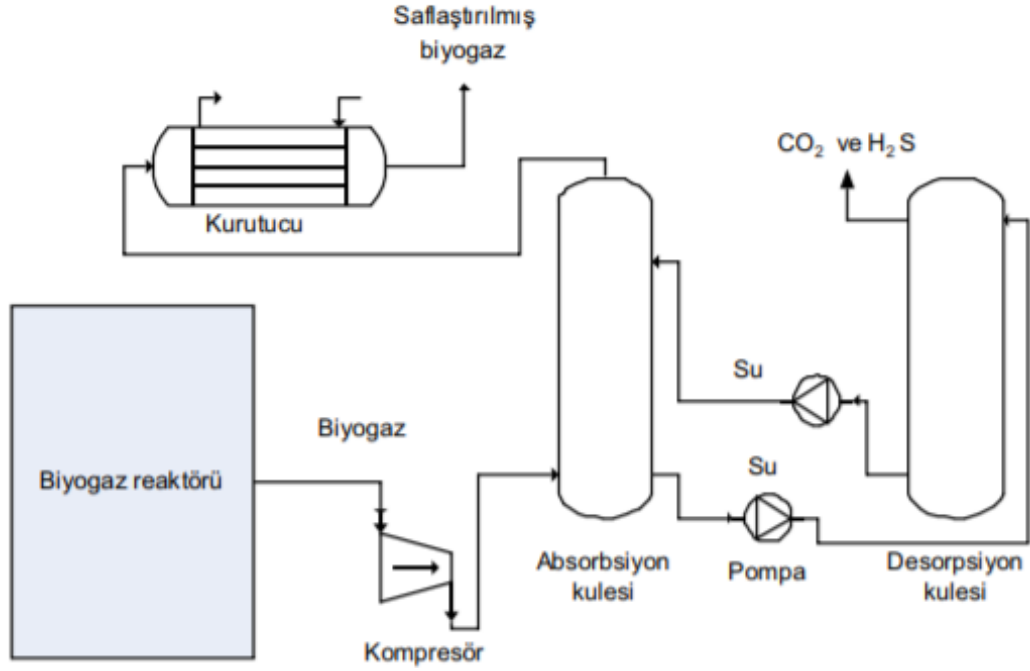
Gaz	Sudaki Çözünürlüğü (cm <sup>3</sup> /kgsu)	Kaynama S. (°C)	Erime S. (°C)	Kritik S. (°C)	Kritik Basınç (bar)
CH <sub>4</sub>	3,3	-161,5	-182,5	-82,1	46,4
CO <sub>2</sub>	85,1	-78	-57	31	73,8
N <sub>2</sub>	1,5	-196	-210	-146,9	34
O <sub>2</sub>	3,0	-183	-219	-118,6	50,4
H <sub>2</sub> S	25,0	100	0	374	221
H <sub>2</sub>	1,8	-62	-83	100,4	90,1

**Kaynak:** Lie, J.A., 2005, Synthesis, performance and regeneration of carbon membranes for biogas upgrading, PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU),

Avrupa'da bulunan biyogaz tesislerinin neredeyse yarısı maliyetinin nispeten daha ucuz olması ve basit olmasından dolayı bu saflaştırma yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca su ile temizleme öncesi kurutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Uygulanan bu prosesten sonra artılan gaz su ile doymuş olacağından dolayı kurulmalıdır. 1 atm



basınçta ve 21°C 'de,1 litre suda 1,8 gr CO<sub>2</sub> çözünürken, yalnızca 4 mg CH<sub>4</sub> su içerisinde çözünmektedir. Su ile CO<sub>2</sub> giderilmesinde genellikle %5-10 arası CO<sub>2</sub> geriye kalmaktadır [26]. Kullanılan su zaman içerisinde içerisindeki gazlardan dolayı kirleneceği için yenilenmesi gerekmektedir. Arıtılmış biyogazdan geriye kalan karbondioksitten kuru buz elde de edilebilir. 1m<sup>3</sup> hacimdeki biyogazdan ortalama 0,3-0,5 kg kuru buz da elde edilebilir [27].



**Şekil 3.1 : Su ile yıkama ünitesi**

**Kaynak:** Anonim

Reaktörden çıkan biyogaz kurutma ihtiyacı duymadan kompresöre gönderilir buradan basınçlı bir şekilde çıkan biyogaz içinde su bulunan absorpsiyon kulesine alt kısımdan gönderilir. Su içerisinde CO<sub>2</sub> ve bir miktar H<sub>2</sub>S çözünürken, çözünmeyen metan gazı tankın üst kısmına doğru çıkar. Buradan sonrada içerisinde bulunan nemden arındırılmak için kurutucuya gönderilir. Alt kısımda ise içerisinde çözülmüş halde CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S bulunan su desorpsiyon kulesine gönderilir. İçerisindeki gazlar ayrıştırılarak tekrar absorpsiyon kulesine geri gönderilir.

Biyogaz içerisindeki istenmeyen gazlar partiküller suda çözünerek uzaklaştırılmış olur.Bu yöntemin en büyük avantajlarından birisi de esnek olabilmesidir. İstenilen sıcaklık basınç değerleri tesisin ekonomik çıkarları doğrultusunda değiştirilebilir, ayarlanabilir ve metan oranını %98 e kadar çıkarmak mümkündür.

Polietilen glikol yöntemi de aslında suyla temizleme yöntemi gibidir. Su yerine seleksol denilen kimyasallar kullanılmaktadır. Karbondioksit ve hidrojen sülfürün seleksoldeki çözünürlüğü sudaki çözünürlüğünden daha fazla olmasının avantajı burada kullanıldığından dolayı sistem daha az basınç kullanarak arıtma işlemini gerçekleştirir.



**Şekil 3.2 : Polietilenle yıkama ünite**

**Kaynak:** Seleksolle biyogaz saflaştırma tesisi Ronnenberg [Urban, Fraunhofer UMSICHT]

Seleksolle yıkama prosesinde, biyogazın içerisindeki nemden arındırmak için bir ön kurutma gereklidir. Kimyasalların pahalı olması ve sistemin rejenasyonu için fazla enerji giderlerinin dezavantajı olmasının yanı sıra birçok istenmeyen gaz tek bir prosesle ayrılmış olmaktadır.

Karbon molekül elek kullanma ve aktif karbonların kullanılması basınç değişimli absorpsiyon olarak da adlandırılmaktadır (PSA : Pressure Swing Adsorption). Teknolojik olarak kullanılan son yöntemlerden birisi olarak göze çarpmaktadır. Şimdiye kadar özellikle Almanya'da bu teknolojiyi kullanarak çok sayıda proje gerçekleştirilmiştir. Dört ile altı absorber bu döngünün absorpsiyon, desorpsiyon,

boşaltma ve basınç yükseltme evrelerini gerçekleştirmek için aynı anda çalıştırılmaktadır. Bu prosesler sonucunda %97 saflıkta metan üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Döngüler sebebiyle üretim maliyeti artmaktadır fakat maliyetlerin artmasına rağmen arıtmada kullanılan moleküllerin kullanım süreleri düzgün kullanıldığında sınırsıza yakındır. Düzgün kullanılmasında başlıca dikkat edilmesi gereken konu absorberlara gönderilen gaz kurutulmuş ve kükürtten arındırılmış olması gerekmektedir. Olmaması halinde ise; su molekülleri, hidrojen sülfür ve diğer bileşikler moleküller tarafından emilir ve karbon elek moleküllerinin ayırım gücünün geri dönülmez bir şekilde zarar görmesine ve hatta prosesin işlememesine varana kadar güçlükler sebep olmaktadır. Proses daha kapasiteli biyogaz sistemleri için daha uygundur.

Doğal ve yapay sentetik zeolitler bu yöntem için kullanılırlar. Yapılan bir çalışmada, doğal ve sentetik olarak bulunabilen zeolitler arasındaki yapılan deneylerde doğal zeolitlerin hidrojen sülfürü absorblaması daha fazladır karbondioksit absorblaması ise sentetik zeolitlerde daha fazladır [28].

**Çizelge 3.2 :** Doğal sentetik zeolitlerin CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S absorblama değerleri

Zeolit	Doğal/Sentetik	H <sub>2</sub> S absorblama miktarı (mg H <sub>2</sub> S/g zeolit)	CO <sub>2</sub> absorblama miktarı (mg CO <sub>2</sub> /g zeolit)
5A	Sentetik	0,5	273,7
13X	Sentetik	1,0	298,5
Klinoptiloid	Doğal	1,4	173,9

**Kaynak:** Arnott, M., 1985, The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, Peace Corps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48

Bir diğer arındırma yöntemlerinden birisi de camsı polimerlerden imal edilmiş membranla ayırma yöntemidir. Gaz moleküllerinin şekilleri, hacimleri ve membran malzemesiyle olan etkileşimlerinden kaynaklanan farklılıklardan dolayı içerisindeki istenmeyen gazların ayrıştırılması prensibine dayanan bir prosestir. Membranın iki yüzü arasındaki basınç farkından dolayı gazların bir noktadan diğer noktaya farklı hızlardaki hareketiyle biyogaz saflaştırma gerçekleştirilir. Pratikte son fazla kullanılan bir yöntem değildir.

Polyvinylamine/Polyvinylalcohol (PVAm/PVA) gibi karbondioksit geçirgenliği fazla olan malzemelerden oluşan membranlarla yapılan deneylerde 1000Nm<sup>3</sup>/h biyogaz kullanılmış ve bunun sonucunda ise %99 oranında saflaştırma sağlanmıştır [29]. Güvenilir basit ve bakım kolaylıklarından dolayı avantajları olsa da bu prosesler pratikte çok fazla kullanılan bir teknik değildir.

**Çizelge 3.3 : Yöntemlerin avantaj ve dezavantajları**

<b>Ayrıştırma yöntemi</b>	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Su ile temizleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek gaz kalitesi</li> <li>- Gerçekleştirilmiş birçok proje</li> <li>- Esnek gaz debilerine karşı uyumlu</li> <li>- Kurutma gerektirmez</li> <li>- Kimyasal gerektirmez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kirli suyun dışarı atılması</li> <li>- Yüksek enerji ihtiyacı</li> </ul>
Polietilen glikol ile absorblama	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek gaz verimi</li> <li>- Ekonomik olarak daha fazla tavsiye edilir</li> <li>- Elektrik ve ısı ihtiyacı daha düşük</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kimyasal kullanılması</li> <li>- Kimyasalların pahalı olması</li> </ul>
Karbon molekül elek kullanma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek kalite gaz üretimi</li> <li>- Gerçekleştirilmiş birçok proje</li> <li>- Isı ihtiyacı yok</li> <li>- Kimyasal yok</li> <li>- Hızlı kurulum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ön kurutma gerekli</li> <li>- Yüksek enerji ihtiyacı</li> <li>- Sık sık bakım</li> </ul>
Membranla ayırma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yüksek kalite gaz üretimi</li> <li>- Basit ve kolay olması</li> <li>- Kimyasal ya sıvı ihtiyacı yoktur</li> <li>- Aşınma çok düşük</li> <li>- Uyumluluktaki esneklik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerçekleştirilmiş az proje</li> <li>- Yüksek ilk kurulum maliyeti</li> <li>- Yüksek enerji ihtiyacı</li> <li>- Büyük hacimler için uygun değildir</li> </ul>

Cyrogen ayırma yönteminde gazların yoğunlaşma farklılıklarından yararlanılarak saflaştırma uygulanmaktadır. Su molekülleri, karbondioksit ve hidrojen sülfür metana göre daha düşük basınçta ve daha yüksek sıcaklıklarda yoğunlaşmaktadır. Yüksek maliyetlidir ve fazlaca ekipman gerekmektedir. Daha çok yüksek kapasiteli

biyogaz tesislerinde kullanılması için uygundur fakat teknik olarak iyi bir metan verimine sahip olan bu proses pratikte denenmiş bir yöntem değildir.

Biyogazı saflaştırma yöntemi olarak kimyasal yıkama yöntemi de kullanılabilir. Bu proseste sodyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit yıkama kimyası olarak kullanılmaktadır. Düşük basınçlarda kullanılmasını bir avantajı olmasına rağmen sürekli olarak kimyasalların yenilenmesi dezavantajdır ve maliyet olarak oldukça yüksek bir maliyeti vardır. Belirli oranlarda bu çözeltilerden geçirilerek yıkama yapılmasıyla saflaştırma gerçekleştirilmektedir.

### **3.2 H<sub>2</sub>S Saflaştırılması**

Hidrojen sülfür sistem içerisinde korozyona sebep olması, kötü kokması ve biyogazın yakılması sırasında SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>'e dönüşmesinden dolayı biyogaz içerisinde giderilmelidir. Kullanılan organik materyallere bağlı olarak biyogaz içerisindeki oranı değişiklik gösterse de her zaman biyogaz içerisinde bulunmaktadır. Üretim prosesleri içerisinde bakteri gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir bu yüzden de üretim aşamasında önüne geçilmelidir.

H<sub>2</sub>S'nun kaynağı organik atıklarda bulunan proteinler ve sülfürlü bileşenlerdir. İnorganik sülfür ve sülfat üretim esnasında H<sub>2</sub>S'e dönüşmektedir. Kullanılan organik maddeler içerisinde çok fazla nitrat ve sülfat içeren atıklar var ise metan üretim safhasında azot ve hidrojen sülfüre dönüşür [30-31]. Biyogaz içerisinde 20-4000 ppm değerinde H<sub>2</sub>S bulunmaktadır. Fazla olması durumunda sistemin inhibe olmasına sebep olmaktadır.

H<sub>2</sub>S yanıcı ve zehirli bir gazdır ve yanması sırasında SO<sub>2</sub> olduğundan dolayı asit yağmurlarına neden olan korozif sülfürik asit oluşumuna sebep olmaktadır. 0,05-500 ppm gibi çok düşük olduğu durumlarda bile kokusundan hissedilebilmektedir. Havadan daha ağır bir gaz olduğu için alt kısımlara çöktüğünden dolayı insan sağlığı için ciddi derecede tehlikelidir. Ortamdaki havada %0,1 seviyesinde olması durumunda hemen, %0,05 seviyesinde olması durumunda ise yaklaşık 30 dakikada ölüme neden olur. Bulunulan mekân içerisindeki izin verilebilir değer 5-20 ppm kadardır [32,33]. Hollanda'da biyogaz yakma tesislerindeki hidrojen sülfür oranı 50 ppm'i geçmemektedir. Baca gazı, yanma odalarında 900°C sıcaklıkta en az 0,3 saniye kalmak zorundadır. Reaktör içerisinde hangi organik madde kullanılırsa kullanılsın

az ya da çok oranda hidrojen sülfür karışım içinde bulunmaktadır. Sistem verimine verdiği zararın yanında galvaniz, demir ve sac gibi maddelerle metallerle tepkimeye girerek korozyona neden olmaktadır. Bu yüzden regülatörler, vanalar ve diğer sistem elemanları H<sub>2</sub>S'e dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır [34].

**Çizelge 3.4 :** Uygulamalara göre kabul edilebilir maksimum H<sub>2</sub>S konsantrasyonu

Uygulama	Maksimum H <sub>2</sub> S konsantrasyonu
Gaz sobası	1000
Kombine Isı ve Güç Santralleri (CHP)	500
Araç yakıtı	23
Gaz şebekesi	4
Yakıt hücresi	1

**Kaynak:** Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gazometre Arıtma Suyunun Biyogaz Üretiminde Kullanılabilirliği, Ali Rıza Şenyüz,2014

H<sub>2</sub>S saflaştırılması için kullanılan yöntemler;

- Reaktör içine O<sub>2</sub> veya hava verilmesi
- Besleme materyaline demir klorür katılması
- Demir talaş içerisinde biyogazın geçirilmesi
- Demir oksit paletlerden biyogazın geçirilmesi
- Aktif karbon kullanılması
- Su ile temizleme
- Sodyum hidroksit ile temizleme
- Biyolojik desülfürizasyon olarak sıralanabilir.

Biyogaz reaktörünün içerisine %2-6 oranında hava gönderilmesiyle bakteriler H<sub>2</sub>S'in oksitlenmesini sağlar. Bu uygulama hem kimyasal hem de biyolojik bir yöntemdir. Hava karışmasının engellemek için, reaktörle bağlantılı ve havalandırılmış fermente organik materyalin sirküle edildiği bir depo kullanılmalıdır. Reaktörün içerisine oksijen verilerek de H<sub>2</sub>S'in saflaştırılması gerçekleştirilebilir. İçerisindeki H<sub>2</sub>S miktarına göre bu yüzdeler değişiklik gösterir [35].

**Çizelge 3.5 :** İçerdiği H<sub>2</sub>S miktarına göre biyogaza hava ve oksijen verilme oranı

Biyogaz Miktarı	İçerisindeki H <sub>2</sub> S Hacim	Gerekli Oksijen Miktarı (%)	Gerekli Hava Miktarı (%)
ppm	Hacim		
500	0,05	0,025	0,125
1000	0,10	0,050	0,250
1500	0,15	0,075	0,375
2000	0,20	0,100	0,500
2500	0,25	0,125	0,625
3000	0,30	0,150	0,750

**Kaynak:** Mitzlaff, K.Von, 1988, Engines for Biogas, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Reaktör içerisine demir klorür (FeCl<sub>2</sub>) eklenerek hidrojen sülfürle tepkimeye girmesiyle demiş sülfat (FeSO<sub>4</sub>) oluşur. Bu proses 1000-4000 ppm arasındaki H<sub>2</sub>S'in arındırılmasında kullanılmasına rağmen aynı etkiyi 1000ppm in altında göstermemektedir. FeCl<sub>2</sub>'nin maliyeti arttırması, oluşan klorun sistemde korozyona neden olması ve biyogaz içerisindeki bakterilerin ölmesi riski bu saflaştırma yönteminin dezavantajlarını oluşturmaktadır [36]. Biyogaz FeCl<sub>2</sub> ile doymuş talaş parçalarının içerisinde de geçirilebilmektedir ve yine demir sülfür şekline dönüştürülebilir.

H<sub>2</sub>S gidermek için uygulanan yöntemlerden bir diğeri ise bakır sülfat-su çözeltisinden geçirilmesidir. Bakır tarafından tutulan H<sub>2</sub>S siyah bir çökelti oluşturur. Az gelişmiş ülkelerde daha kolay bir yöntem olarak kullanılan sistemlerde, biyogaz demir yonga içeren toprak içerisinde geçirilir. Bu yöntemin uygulanması basit ve maliyet açısından ucuzdur. Bu sistemde demir içeren toprak ya da demir, gaz sızdırmaz bir hacim içerisinde katmanlar halinde hazırlanır ve biyogazın bu katmanlardan geçişi sağlanır. Biyogaz bu tabakalar arasından geçerken hidrojen sülfürden arınmış olarak hacimden çıkar. Katmanlarda demir sülfid oluşur. Demir içeriğine göre tabakalar çıkarılır ve yenilenir. Alınan tabakaların rejenerasyonu da kolay ve basittir. Atmosfere açık havada ters yüz edilerek birkaç gün bekletildikten sonra rejenerasyonu sağlanmış olur ve tekrar kullanıma hazırdır. Materyalin içerisindeki demirin bozunmasına kadar tekrar tekrar kullanılabilir. Bozunma ise yaklaşık olarak 10 kullanıma kadar ömrü vardır.

H<sub>2</sub>S arıtma işlemlerinde demir hidroksit de saflaştırıcı olarak kullanılabilir. Eğer katı haldeki demir hidroksit kullanılıyorsa rejenerasyon işlemi için içinden sıcak hava geçirilir fakat çok fazla bu durumda kalırsa biriken sülfürün yanmasına sebep olur. Böyle bir durumda ise SO<sub>2</sub> emisyonu oluşur [14]. Hidrojen sülfür demir hidroksit ile tepkimeye girerek Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ve su açığa çıkarır.



Geleneksel hidrojen sülfür arındırma tekniklerinden biri olan demir oksit kullanılması, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün hidrojen sülfür ile tepkime girmesiyle oluşur.



Eğer oksijene maruz kalırsa,



Kullanılan bu yöntemle 1 m<sup>3</sup> demir oksitle, içerisinde 2g/m<sup>3</sup> hidrojen sülfür bulunduran yaklaşık olarak 33.000 m<sup>3</sup> biyogaz temizlenebilmektedir [37]. Uygulanan demir oksit yöntemi kolay bakımı, maliyetinin düşük olması, kolay bakımı gibi avantajlara sahipken yüksek ısı meydana gelmesi de dezavantajdır.

Aktif karbonla temizleme H<sub>2</sub>S arındırmada biyogazın içerisine hava gönderilir ve hidrojen sülfürle reaksiyona girmesi sonucunda kükürt ve su oluşur. Reaksiyon sonucunda oluşan kükürt, aktif karbon sayesinde absorbe edilerek biyogazı H<sub>2</sub>S'den temizlemiştir. Kükürt'ün yanıcı bir gaz olması her ne kadar tehlike arz etse de sistem ıslak olduğu için bu tehlikeyi bertaraf etmektedir. Aktif karbonun çalışma ömrünün 4000-8000 saat olması bu tekniğin maliyetini arttıran en önemli etkenlerdendir [38].

Su ve sodyum hidro oksitle temizleme yöntemleri de karbondioksit yöntemlerinde kullanıldığı gibi her iki gazı da aynı anda saflaştırmak için kullanılırlar.

### 3.3 Biyogaz İçerisindeki Nemin Saflaştırılması

Biyogaz sistemlerini fazla aşınmasından ve tahribattan korumak ve saflaştırma işlemlerinin bazılarının önceden kurutma isteklerini karşılamak için biyogazın içindeki nem arındırılmalıdır. İçerisindeki su oranı gazın ısısına bağlı olarak değişmektedir. Ham biyogaz neme doymuş bir durumdadır. Bulunduğu ortamda ortam sıcaklığına göre buharlaşan su molekülleri biyogaza karışmaktadır ve



sistemden alınan biyogaz beraberinde bu nemi de götürdüğü için biyogaz neme doymuş haldedir.

Nem gaz nakil işlemlerinde, sıkıştırılmak istendiğinde ya da yakıldığında yakma sistemlerinde tıkanmalara, yoğuşmalara ve korozyona sebep olmaktadır. Bunun yanında yakıldığındaki enerji değerini de düşürmektedir. Bu sebeplerden dolayı sistemden nem arındırılmalıdır. Biyogaz saflaştırma işlemleri sırasında nemin biyogazdan ne zaman alınacağı uygulanacak olan saflaştırma tekniğine bağlı olarak da değişmektedir.

Mezofilik ortamda çalışan sistemlerde 35°C de yaklaşık olarak 35gr/m<sup>3</sup> su buharı bulunmaktadır. 20 °C için bu değer 17gr/m<sup>3</sup> 'tür. Termofilik şartlarca çalışan sistemler için ise yaklaşık olarak 50mg/lit su buharı bulunmaktadır. İçerisinde yüksek oranda su buharı bulunan gazın,yakılması sırasında alevin kırmızımsı bir renk almasından da anlaşılabilir. Gaz hatlarında yoğuşmasından, hidrojen sülfürle birleşerek korozif etki oluşturmasından dolayı donma ve tıkanma gibi sıkıntılara neden olmaktadır [39].

Biyogazın nemden arındırmak için yoğunlaştırma kullanılan yöntemlerden biridir. Bu teknikle biyogaz yoğuşma noktasının altına kadar soğutulur ve yoğuşma suyu ayrıştırılır. Bu teknik genellikle reaktörden sonraki gaz hatlarında gerçekleştirilmektedir. Daha etkili olması için gaz hatları daha derinden geçirilir. Montaj sırasında gaz hattının en derin noktasına yerleştirilen atıştırıcı sayesinde yoğuşma burada gerçekleşmektedir. Gaz hattındaki su buharının yanı sıra istenmeyen ve suda çözünen gazlar da bu ayrıştırıcıda biyogazdan uzaklaştırılmaktadır. Teknik için ön koşul gaz hatlarının yoğuşmayı sağlayacak kadar uzun ve kolay ulaşılabilir olmasıdır. Bütün hacimler için uygulanabilecek esnek bir tekniktir. Su buharının oranı %0,15 hacme kadar düşmektedir [40].

Daha iyi kurutma sonuçları elde etmek için zeolit, silika jeli ve alüminyum oksit tabanlı çalışan yöntemler de kullanılır. Bu malzemelerle -90°C'ye kadar yoğuşma noktaları mümkündür. Sabit bir yatağa monte edilmiş olan adsorberler karşılıklı olarak ortam basıncında ve 6-10 bar'da işletilirler ve küçük ve orta debilerde uygundur [41]. Materyallerin rejenerasyonları soğuk ya da sıcak olarak gerçekleştirilebilir. Bütün kullanımlara uygundur.

Glikolle yıkama bir diğer nemden arındırma yöntemidir. Bu yöntemle biyogaz absorblayıcı bir sütundan karşı akımla glikol taşıyan yöntemdir. Hem su buharı hem de hidrokarbonlar biyogazdan uzaklaştırılabilir. Bu yöntem yüksek hacimlere göre daha uygundur. Ekonomik yönden maliyeti fazladır.

## 4. BİYOGAZDAN DOĞALGAZ

Biyogazın saflaştırılmasıyla birlikte ismi biyometan olarak da bilinen saflaştırılmış biyogaz anlamına da gelmektedir. Doğalgaz hatlarına enjekte edilmesi, elektrik ve ısı üretimi, araçlarda yakıt olarak kullanması ya da taşınabilir olması gibi birçok avantajı vardır.

### 4.1 Doğalgaz Kalitesine Getirme Ve Besleme

Biyogaz üretimi tamamlanıp saflaştırma işlemlerinden geçtikten sonra elde edilen gazın doğalgaz hatlarına aktarımı hatlarına aktarılması için uygun kalite şartlarına getirilmesi gerekmektedir. Uygulanana kriterleri her ne kadar doğalgaz kriterleri belirliyor olsa da Avrupa'da uygulanan yasalarla biyogaz üreticisinin çalışma belgeleri de önemlidir.

**Çizelge 4.1 :** Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim, hacim %'si	95–98	55-65
Mol ağırlığı, kg/mol	16,04	26,16
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>	0,82	1,21
Isıl değer, MJ/m <sup>3</sup>	36,14	21,48

**Kaynak:** Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 7 Sayı 2/2 (2017)

Biyogazın içerisine, kokusuz gaz kaçaqları olduğu zaman fark edilmesi için koku içeren bileşikler eklenmelidir. Bu işleme odorizasyon denmektedir. Odorizasyon için merkaptan veya tetrahydrothiophen (THT) gibi kükürt bazlı bileşikler kullanılır. Son zamanlarda teknik sebepler ve ekolojik açıdan, içerisinde kükürt içermeyen bileşikler kullanılma başlanmıştır. Biyogazın içerisine direkt enjeksiyon ya da baypas düzenlemesi ile verilebilir. Bunların oranı ise yine Avrupa'da yasalarla belirlenmiştir.

Biyogazın yanma özellikleri doğalgazla aynı yanma özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Isı değeri, yoğunluğu ve wobble endeksi bu değerleri belirlemede birer ölçüt olarak kullanılmaktadır [42]. Biyogazın ısı değeri doğalgazdan yüksekse referans değerlerine ayarlanması için hava ilavesi yapılmakta, düşük ise propan-bütan karışımı sıvı gaz ilavesi eklenmektedir. Kullanılan propan-bütan oranı en fazla %5 ve 1.5 mol değerinde olmalıdır. İstenilen değerler Avrupa'da yasalarla belirlenmiştir.

Bunların yanında basıncının da şebekelere göre ayarlanması gerekmektedir kullanılan şebeke basınç hatlarına göre, doğalgaz basıncının çok az üzerindeki bir basınçla şebeke hatlarına aktarımı yapılabilir. Su ile yıkama ve kimyasalla yıkama gibi saflaştırma yöntemlerinden çıkan basınçlı biyogazdır ve bunlar kullanılan şebekelere göre ilaveten basınçlandırılmasına gerek kalmayabilir.

Saflaştırılmış biyogazın şebeke hatlarına verilebilmesi için ülkelerin iyi derecede doğalgaz iletim hatlarına sahip olması gerekmektedir. Doğalgaz ithalatı yapan birçok ülkede farklı boru hatları ve farklı boru hatlarının farklı basınç değerleri vardır. En iyi ekonomik optimizasyonu sağlamak, olası bir sıkıştırma işlemi gerçekleştirmemek için saflaştırma yöntemlerinden sonra biyogazın çıkış basıncı şebeke basıncına göre ayarlanmış olmalıdır. Her besleme noktasında basınç değerlerinin değerlendirilmesi ve ayarlanması için ölçüm istasyonları bulunmalıdır.

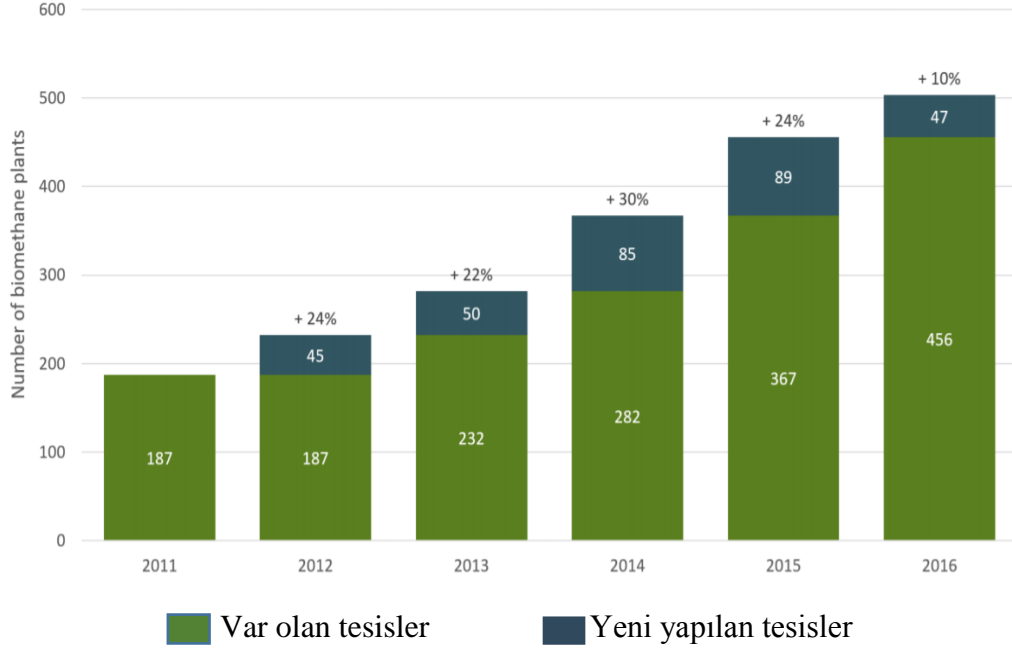
Yüksek debili ve güçlerde kompresörler bulunmasına rağmen Teknik olarak yüksek basınçlı şebekelere saflaştırılmış biyogazın beslemesi mümkün görünmemektedir.

## **4.2 Doğalgaz Hatlarında Kullanımı**

Saflaştırıldıktan sonra biyometan ismiyle de bilinen biyogaz, Avrupa'da gün geçtikçe kullanımını arttırmaktadır. Bunun yanında ülkeler doğalgaz ihtiyaçlarında genellikle dışa bağımlı olduklarından ve karbon emisyonunu en aza indirmek için biyometanı doğalgaz şebekelerinde kullanmak için çalışmalarını arttırmışlardır.

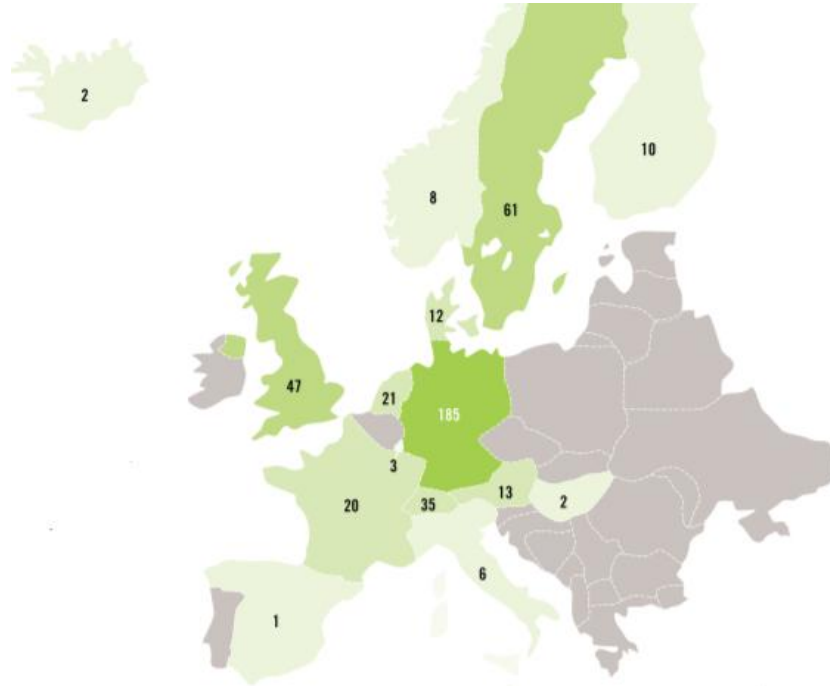
Avrupa'da biyometan üretimi yapan tesislerin sayısı ve kapasitesi her geçen yıl artmaktadır. Çeşitli yatırımlarla ve desteklerle üreticilerde artışlar sürekli devam etmektedir ve devlet politikaları gereği bu alana yönelim gösterilmektedir. Dışa bağımlılığı azaltmak, karbon emisyonunu en aza indirmek ve yerel enerji kaynaklarına yönelmek için biyometan önemli görülmektedir.

**Çizelge 4.2 : Avrupa'daki metan üretimi yapılan tesis sayısı**



**Kaynak:** Biogas to Biomethane, United Nations Industrial Development Organization, Biogaz Know How 3 Report

Her geçen sene tesis sayısı artmaktadır. Son yıllarda tesis sayısı azalsa da yapılan tesislerin büyüklüğü artmaktadır bu da toplam üretimi yüksek oranda etkilemektedir. Ülkelerdeki tesis sayılarına göre bakacak olursak eğer, Almanya tesis bakımından ilk sırada yer almaktadır ve ardından İsveç gelmektedir.



**Şekil 4.1 : Avrupadaki biyometan tesisleri sayısı**

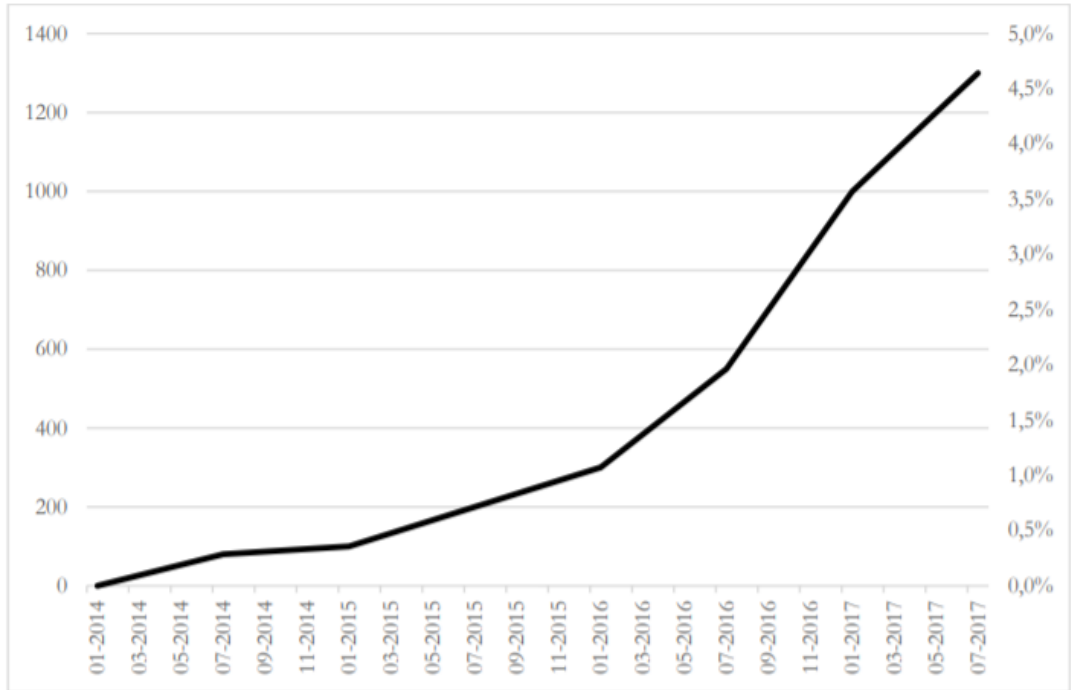
**Kaynak:** Biogas to Biomethane, United Nations Industrial Development Organization, Biogaz Know How 3 Report

Son 10 yıla bakıldığında çok önemli derecede ülkelerde gözle görünür bir şekilde artış olmuş ve bu alana yönelmişlerdir. Yasalarla ve desteklerle gerekli altyapılarla üreticiler teşvik edilmiştir

Enerji kullanımında dışarıya bağımlılığın önüne geçmek, yenilenebilir enerjiyi daha efektif bir şekilde kullanmak ve karbon emisyonlarını en aza indirmek için önemli çalışmalar yapan ülkeler biyogaz saflaştırma sistemlerini kullanarak elde ettiği biyometanı doğal gaz şebekelerinde kullanmaya başlamışlardır.

Özellikle Danimarka'da biyometanın doğal gaz şebekesine katılım payı oldukça yükselmiştir. Gaz şebekesindeki payı 2015 yılında %0,3 iken 2017 tarihinde %3,5 ve 2018 yılında yaklaşık olarak %5 civarında gerçekleşmiştir [43]. Şekil değişim grafiği verilmiştir.

**Çizelge 4.3 :** Şebekeye aktarılan Biyometanın toplam biyogaza oranı (GWh/h)



**Kaynak:** Laurent Geerolf, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology TRITA-ITM-EX 2018:29 Division of Heat & Power SE-100 44, STOCKHOLM, The biogas sector development: Current and future trends in Western and Northern Europe

Birçok ülkede olduğu gibi Avrupa'daki ülkelerin birçoğu biyogaz şebekelerine daha fazla saflaştırılmış biyogaz ekleme hedefleri vardır.

Avusturya yenilenebilir enerjide ikinci hedef olarak belirlediği biyometanın doğalgaz şebekesine verilmesidir. Hedefinin, 2020 yılına kadar doğalgazın %10'u kadarını şebekeye vermektir [44].

Fransa Çevre ve Enerji Yönetimi Ajansı'nın görüşü,2030 yılına kadar her yıl 600 biyogaz tesisi kurulacak ve üretilen biyogazın %50 doğalgaz şebekesine verilecek, %30'u elektrik üretmek için, %20 si ise ısı üretmek için kullanılacaktır [44].

Almanya biyogaz içerisindeki biyometan oranını 2012'de %6'dan %12'ye yükseltmiştir. 2018'de bu durum %14'ü bulmuştur [43]. Ayrıca üreticiye destek maksatlı, üretilen biyogazın şebekeye beslenmesi için çekilecek olan hatların maliyetinin yalnızca %25'inden üretici sorumludur.

Lüksemburg üretilen biyometanın %40'ını şebekeye aktarmaktadır [43].

Hollanda saflaştırılmış biyogazın yaklaşık olarak %23'ünü doğalgaz şebekesine enjekte etmektedir. Bu oranın 2022 yılında %30'a çıkarmayı planlamaktadır [44].

İsveç ulusal şebekesi küçük olduğundan dolayı genellikle taşıma ve biyoyakıt olarak araçlarda kullanılmaktadır. Fakat iddialı bir çabayla 2050 yılında %100 doğalgaz yerine biyometandan faydalanma hedefi vardır [44].

### **4.3 Türkiye'deki Durum**

Türkiye'de biyogaz üretim tesisi Ocak 2018 sonunda 69 tanedir. Bunların 2/3'ü çöp gazı tesisi ve geri kalanlar da biyolojik atıklardan elde edilen hammaddeyle biyogaz üretimi yapan tesislerdir [45].

Şu anda üretim yapan hali hazırda ve yapılması planlanan biyogaz saflaştırma teknolojilerinin tamamını kullanarak biyogazı biyometan olarak saflaştıran bir tesis bulunmamaktadır. Saflaştırma yöntemlerinden bazılarının kullanıldığı sistemler vardır. Bunlar gaz verimini arttırmak maksatlı ya da üretimdeki sorunları engelleme maksatlıdır.

Henüz bu konuda gerekli çalışmalar yapılmamış olup, kanunlar ya da yönetmeliklerle teşvik ya da şartlar belirlenmemiştir.

## 5. ASKERİ BİRLİKLER İÇİN BİYOGAZ SİSTEM ANALİZİ

Yenilenebilir enerji kaynakları çevresel olarak faydalı olmasının yanında sürdürülebilir enerji sistemleri olarak da ülkelere, kurumlara katkı sağlayan sistemlerdir. Çok çeşitli kullanım alanlarının olması da büyük bir avantajdır.

Türkiye’de 4 ana ordu ve bu ordulara bağlı kolordular, tümenler, tugaylar ve alaylar olmak üzere birlikler vardır. Bu birliklere bağlı olan binlerce de asker ve askeri personel vardır. Sayı olarak dünyanın en büyük 5.düzenli kara ordusuna sahip olmakla birlikte; Hava Kuvvetleri, Deniz Kuvvetleri, Jandarma ve Sahil Güvenlik olmak üzere çok geniş çapta askeri gücü yerleşkesi ve personeli bulunmaktadır. Askeri alanlarda küçük çapta olan yenilenebilir enerji projeleri yapılmakla birlikte, büyük projelerin fizibilite çalışmaları yapılmasına rağmen henüz uygulamaya geçilememiştir.

Hali hazırda bulunan “sıfır atık” projesiyle askeriyede atık geri dönüşüm gibi projeler de bulunmaktadır. Bu projelerde atıkları sınıflandırıp ayırıp belediyeler ya da özel şirketler aracılığıyla dönüştürüp, gübre olarak alıp çevre peyzaj ve ağaçlandırma uygulamalarında kullanılmaktadır.

Böyle komplike bir kurumda bulunan geniş çaplı yerleşkeler ve içerisinde bulunan personel sayısının fazlalığı atıkların da artmasına ve geri dönüşüm sistemleri projelerinin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu projelerle ve sistemlerle ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı karşılanabilir ve ülke savunması anlamında ekonomik olarak giderlerden tasarruf sağlanabilmekte ve kendine yetebilir ya da bir miktarını karşılayabilir bir duruma gelebilmektedir.

Askeri personelin ihtiyacı olan yüksek proteinli besinler birliklerde her öğünde verilmektedir. Sayıların fazla olmasından dolayı her sistemde olduğu gibi belli bir miktar atık olmaktadır. Bunun yanı sıra yerleşkelerin yeşil alanlarının fazla olması ve bu alanların bakımlarının yapılması sırasında ortaya çıkan bertaraf edilmesi gereken bitkisel kökenli atıklar olmaktadır. Bu atıkların bertaraf edilmesi, değerlendirilmesi ve bu atıklardan enerji ya da saflaştırma ile birlikte ihtiyaç doğrultusunda doğalgaz kalitesinde gaz elde edilebilir.



Kanalizasyon giderleri sisteme entegre edilebilir, birlikler dışında belediyelerden ya da bölge halkından kurumlardan da atık temin edilerek birliklerin enerji, sıcak su ya da yakıt ihtiyaçları karşılanabilir.

Bu sayede askeri birliklerin enerji dönüşümü, atıkların bertarafı, ekonomik olarak külfetlerin azaltılması, giderlerine ek yüklerin hafifletilmesine ve ihtiyaçlarının karşılanmasına katkıda bulunulabilir. Arta kalan organik atıklarla da çevre düzenlemeleri ve ağaçlandırma çalışmalarına katkı sağlayabilecek verimli gübreleme çalışmaları yapılabilir.

AB 27'deki belediye atık üretim miktarı 2012 yılında 246 milyon ton'dur. Kişi başı yıllık belediye atık üretimi ortalaması ise 492 kg'dır. Bu rakam 2003 yılında 514 kg/kişidir. Bu rakam 2020 yılında 558 kg/kişi olması beklenmektedir [46]. Bu da atık miktarının kişi başına 1,5 kg'dır.

**Çizelge 5.1 : Günlük üretilebilecek biyogazın özellikleri**

Hammaddeler	KM	Organik	Biyogaz Verimi	Metan
		kuru madde OKM		
	%	%	m <sup>3</sup> / ton	%
Soya atıkları	90.0	95.1	516,7	52.7
Yulaf gevreği	91.0	98.1	619,7	53.5
Kuru ekmek	65.0	97.2	482.0	52.8
Evsel atıklar	87.7	97.1	650.6	52.8
Süt atıklar	79.3	94.0	673,8	67.5
Yağ içeriği düşük seviyede gıda atıkları	14,4	81.5	75.4	59.8
Yağ içeriği yüksek olan gıda atıklar	18.0	92.3	126.5	62.0
Taze tereyağı-süt	8	92.3	54.4	59.2
Ayçiçeği küspesi	89.4	91.9	488.2	61.3
Muhtelif gıda atıkları	40.0	50.0	120.0	60.0
Çöp	22,5	82.5	74.3	60.0
Koyun gübresi	30.0	80.0	108.0	55.0
Sığır sıvı gübre	10	85.0	34.0	55.0
Taze inek gübresi	25.0	80.0	90.0	50.0
Süt sığır gübresi	8,5	85	20,2	55.0
At gübresi	28.0	75.0	63.0	55.0
Kuru tavuk gübresi	40.0	75.0	80.0	55.0
Taze tavuk gübresi	15.0	75.0	100.0	65

**Kaynak:** Solea Enerji

10.000 kişilik bir askeri birliği teorik olarak inceleyecek olursak eğer, kişi başına oluşan atıktan günlük ortalama 15 ton çevremize atık vermekteyiz. Atıklarımızın ortalama %60-65 oranını organik atıklar oluşturmaktadır.

15 ton atığımızın 9 tonu organik atıklar oluşturmaktadır. Şekil 5.1'deki biyogaz üretim hacimlerini ele alacak olursak çöp atıkları olarak ele aldığımızda, 9 ton organik atıktan;

Çöp atıkları için;

$$9 \text{ ton} \times 74,3 \text{ m}^3 / \text{ton} = 668,7 \text{ m}^3 \quad (5.1)$$

Toplamda günlük 668,7 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebilmektedir.

24 saat çalışma prensibiyle işleyen işletmede saatlik biyogaz üretimi 27,9 m<sup>3</sup> olmaktadır.

1 m<sup>3</sup> biyogaz = 4.70 kWh elektrik kabulü ile [47]. %40 motor verimiyle birlikte;

$$27,9 \text{ m}^3 \times 4,70 \text{ kWh} \times 0,4 = 52,5 \text{ kWh} \text{ elektrik üretimine eşdeğerdir.} \quad (5.3)$$

Atık maddelerinin çeşitlendirilmesiyle ve kompos maddelerin değiştirilmesiyle bu değerler farklılıklar gösterilebilmektedir. Bu verilerle 1 m<sup>3</sup> biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal/m<sup>3</sup>'dir. Yaklaşık olarak 131.130 kcal/m<sup>3</sup> lük bir ısı enerjisi de üretilebilmektedir.

Sistem giderleri hesaba katılmadan, bu üretimle birlikte sıcak su, ısınma ihtiyacıyla elektrik ihtiyacı belli oranda karşılanabilmektedir. Değiştirilebilecek ürün reçeteleriyle birlikte uygulanabilecek saflaştırma teknikleriyle birlikte metan oranı artacağından üretilen enerji de artabilecektir.

Ayrıca metan üretimini tamamlamış atıklar da %15 daha fazla verimle toprağa oldukça faydalı olarak istenilen peyzaj çalışmaları ya da tarım alanlarında, bitkiler için kullanılabilirler.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknolojinin her geçen gün gelişmesi, artan nüfus artışı, hayatımızın dört bir yanını saran teknolojik ürünlerin ve endüstrinin otomasyon sürecindeki gelişmelerle birlikte enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Ülkeler enerji ihtiyacındaki dışa bağımlılıklarını en aza indirip kurtulmak için çeşitli eylem planları kapsamında artık yenilenebilir enerjiye dönüş eğilimi göstermektedir. Fosil yakıtların bilimsel verilerle bir gün biteceği tükeneceği kanıtlanırsa da günümüz enerji ihtiyacının büyük bir bölümü bu yakıtlardan karşılanmaktadır. Doğa bundan zarar görmekte ve küresel ısınmayla yaşamlarımız etkilenmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle ve maliyetlerin gün geçtikçe azalmasıyla yenilenebilir enerji kaynakları daha kullanılabilir şekilde tüm dünyada karşımıza çıktığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum verimi almak, ülkeler için birer gelecek planı olmaya başlamıştır.

Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir bölümünde dışa bağımlı bir durumdadır. Dünyada ki krizler ve enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte enerji darboğazına doğru sürüklenen sektör için en iyi çıkış yolu yenilenebilir enerjiye yönelmektir. Biyogaz potansiyelinin kullanmakta bulunan doğalgazın %88'ini karşılayabilecek durumda olması bu konunun ve tezin ciddi şekilde önemli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerjinin bir çeşidi olan biyogaz enerjisinden bahsedilmiştir. Biyogazda geçmişten geleceğe uygulanan yöntemler, üretim aşamaları, karşılaşılan sorunlar, kullanımlar ve teknolojilerinden bahsedilmiştir. Kullanılabileceği alanlar anlatılıp farklı uygulamalarına bir bakış açısı olması sebebiyle detaylarına inilmiştir. Biyogazın saflaştırılmasıyla elde edilen biyometanın bir kullanım şekli olarak doğalgaz şebekelerinde kullanılmasından ve geçirilmesi gereken şartlarından bahsedilmiştir. Ülkelerin biyometanı doğalgaz şebekelerine beslemesi, küçük ve orta ölçekli şehirlerdeki ısıtma ya da yakıt olarak kullanımını biyogaz üzerinden sağlaması, ya da doğalgaz ihtiyaçlarını gelecek hedef vizyonları

dahilinde tamamen biyogazdan sağlanması gibi planları bulunmaktadır. Bu planları da göstermektedir ki yenilenemez enerji kaynaklarından olan doğalgazın gelecekte tükeneceği ve yerini alabilecek en umut verici enerjinin de biyogaz olduğudur. Ayrıca biyogaz saflaştırmayla birlikte kullanılabilirliği verimliliği de artmakta olup tesis ve motor kullanım ömrünü de uzatmaktadır. Bununla birlikte askeri birliklere uygulanmasının kısa bir analizi yapılmış ve bunların savunma giderlerini azaltarak katkı sağlanması konusunda incelemelerde bulunulmuş, yapılmış olan ve düşünülen projeler hakkında bilgi edinilmiştir. Ayrıca biyogaz saflaştırmayla birlikte kullanılabilirliği verimliliği de artmakta olup tesis ve motor kullanım ömrünü de uzatmaktadır.

Türkiye’de henüz biyogaz saflaştırma sistemi kurulu bir halde ya da proje aşamasında değildir. Biyogazın saflaştırılıp doğalgaz şebekelerine enjekte edilmesiyle ilgili herhangi bir prosedür, yönetmelik ya da kanun, devlet teşvikleri, bağlantı hatları, planları ve ücretlendirmeleri gibi bilgi bulunmamaktadır. Kısmi olarak üretimin sorunlarının bertarafı ve kalite arttırmaya yönelik saflaştırma ünitelerinden, H<sub>2</sub>O giderimi ve kurutma gibi işlemler uygulanmaktadır. Askeri birliklerde de biyogaz üretimine dayalı herhangi bir proje bulunmamaktadır.

Tezin yapılış amacı; ulaşılan bu bilgiler nezdinde, günümüzde var olan ve gelecekte artarak devam edecek olan enerji ihtiyacının, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogazla birlikte maksimum verimle karşılanması ve askeri birliklere uygulanması adına yapılacak olan çalışmalara bir ışık tutmak ve ön adım olmaktır. Türkiye’nin bu ihtiyaçlarını ve dışa bağımlılığını en aza indirmek, iç pazara yönelmek, istihdamı arttırmak, enerji için harcanan giderleri en aza indirgeyerek savunma, teknoloji, bilim, eğitim gibi alanlara yönelmesine katkıda bulunmak, savunma alanında kullanılabilmesi için bir ön çalışma olmak, bilgilendirmek, ve yapılacak projelere bir katkı sağlamaktır.

Tez hazırlama aşamasında biyogaz tesisleri yerinde ziyaret edilmiş incelenmiş, kamusal ya da özel sektöre bağlı olan işletmelerle görüşülmüş, işinde uzman teknik donanıma sahip yetkililerle fikir alışverişinde bulunulmuş, sistem kurucuları ve motor tedarikçilerinden bilgiler alınmış, teknik ulusal ve uluslararası raporlar incelenmiş, gerekli veriler CiMER de dahil olmak üzere ilgililerden talep edilmiş olup, bu bilgiler dahilinde hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Kumbur H., Özer Z., Özsoy H.D., Avcı E.D.** (2015). Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Sempozyumu, 19-21 Ekim, Mersin, Türkiye.
- [4] **Deublein, D., Steinhauser, A.** (2008). Biogas:From Waste And Renewable Energy Resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3- 527-31841-4, 2008.
- [5] **THE INTERNATIONAL ENERGY AGENCY;** (2008), World Energy Outlook 2008, İnternet Adresi: [http://www.oecd.org/ dataoecd/52/59/41701088.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/52/59/41701088.pdf), Erişim tarihi: 21.08.2009.
- [7] **Suat Karakuz,** (2007). Almanya Biyogaz Sektörüne Bakış, Biyoyakıt Dünyası
- [9] **Resmî Gazete,** (2011).
- [11] **Angelidaki, I., Karakashev, D., J. Batstone, D., M. Plugge, C., J. M. Stams, A.,** (2011). Biomethanation and its potential, Methods in Enzymology, volume 494, ISSN 0076-6879, DOI: 10.1016/B978-0-12-385112-3.00016-0.
- [12] **Van Haandel ve Lettiga,** 1994; Björnsson, 2000; Juanga, 2005
- [13] **OSTREM, K.,** 2004. Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Earth Engineering Center Colombia University, 59s.
- [14] **Eryaşar, A.,** (2007). Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [15] **Oechsner, H., Lemmer, A.,** (2009). Was kann die Hydrolyse bei der Biogasvergärung leisten, VDI-Berichte 2057,S. 37–46
- [16] **Kishore,V.V.N.,Raman,P.,Rao,V.N.N.**(1987). "Fixed Dome Biogas Plants-A Desing, Construction and Operation Manual ", Tata Energy Research Institute, New Delhi.
- [17] **Werner, U., U. Stohr, and N. Hees,** (1989). Biogas Plants in Animal Husbandry.
- [18] **Schulz, H.; Eder, B.** (1996, 2001, 2006): Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg.
- [19] **Chae K. J., Jang A., Yim S. K., Kim S.,** (2008). The effects of digestion temperature and temperatureshock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure, Bioresource Technology 99.
- [20] **Kim, J. K., Rock, B., Chun, Y.N., Kim S. W.,** (2006). Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste, Journal Of Bioscience And Bioengineering Vol. 102.

- [21] **Erden Gül**, (2011). Biyolojik Proseslerle Üretim Yapan Biyogaz Tesisinin ve Proses Sonucu Elde Edilen Biyogaz İle Çalışan Süt Soğutma Ünitesi Tasarımı ve Optimizasyonu.
- [22] **Axaopoulos, P., Panagakis, P., Tsavdaris, A., Georgakakis, D.**(2001). Simulation and experimental performance of a solar heated anaerobic digester, Pergamon PII.
- [23] **Prof. Dr. Barış Çallı**, (2012).Atıklardan Biyogaz Üretimi, Türkiye Kimya Derneği, Genç Kimyacılar Platformu.
- [25] **Weiland, P.**, (2010). Biogas production: current state and perspectives, Applied Microbiology and Biotechnology.
- [26] **Kapdi, S.S., Vijay, V.K., Rajesh, S.K., Prasad, R.**, (2005), Biogas Scrubbing, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context, Renewable Energy, 30, pp. 1195–1202.
- [27] **Arnott, M.**, (1985). The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, Peace Corps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48.
- [28] **Alonso-Vicario, A., Ochoa-Gómez, J.R., Gil-Río, S., Gómez-JiménezAberasturi, O., Ramírez-López, C.A., Torrecilla-Soria, J., and Domínguez, A.**, (2010). Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites, Microporous and Mesoporous Materials.
- [29] **Deng, L., and Hagg, M.B.**, (2010). Techno-economic evaluation of biogas upgrading process using CO<sub>2</sub> facilitated transport membrane, International Journal of Greenhouse Gas Control.
- [30] **Truong, L.V.-A., and Abatzoglou, N., A**, (2005). H<sub>2</sub>S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. Biomass and Bioenergy 29, 142-151.
- [31] **Stuckey, D.C.**, (1981). Gelişmekte Olan Ülkelerde Isı ve Katkı Maddelerinin Anaerobik Sindirime Etkisi, Uluslararası Biyogaz Semineri, 23-26 Kasım 1981, Ankara, ss. 16-40.
- [33] **Jenangi, L.**, (1981). Producing Methane Gas From Effluent, Adelaide University Diploma in Agricultural Production, <http://www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/project.pdf>
- [34] **Öztürk, M.**, (2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, s. 1-53.
- [35] **Mitzlaff, K.Von**, (1988). Engines for Biogas, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
- [36] **Boyd, R.**, (2000), Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia. <http://www.green-trust.org/%20PigSlurryADProject.pdf>
- [37] **Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş., ve Durmuş, A.**, (2010), Biyogaz Teknolojileri, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir ,s. 1-281.
- [38] **Wheeler, P.**, (2000), Biogas Upgrading and Utilization, Energy From Biological Conversion of Organic Waste, IEA Bioenergy, p. 1-20.
- [39] **Walsh, J.L., Ross, C.C., Smith, M.S., Harper, S.R.**, (1989), Utilization of Biogas, Biomass, 20, pp. 277-290.
- [40] **Urban, W., Girod, K., Lohmann, H.**, (2007-2008). Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung.
- [41] **Türk-Alman Biyogaz Projesi**, Biyogaz Kullanım Kılavuzu.

- [42] **Fremsyn.** (2017). Biogas in Scandinavia.
- [43] **Laurent Geerolf,** (2018). Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology TRITA-ITM-EX 2018:29 Division of Heat & Power SE-100 44, STOCKHOLM, The biogas sector development: Current and future trends in Western and Northern Europe
- [44] **IEA BIOENERGY Task 37 Report,** (2014). Energy from Biogas.
- [45] **Enerji Ve Çevre Dünyası Dergisi,** (Temmuz-Ağustos 2018) , Sayı: 143

### **İnternet Kaynakları**

- [2] **Url-1**<<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>>, alındığı tarih:15.05.2019.
- [3] **Url -2**<<http://www.biogas.psu.edu/pdfs/ShortHistoryAD.pdf>, >, alındığı tarih:15.06.2019.
- [6] **Url -3**<<http://biyogazlar.blogspot.com>, alındığı tarih:13.02.2019.
- [8] **İlci Tarım Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş. 2010.**  
<http://www.ilcitarim.com.tr/index.php>, alındığı tarih:11.01.2019.
- [10] **İbrahim Döner,** <http://www.muhasibetr.com>,  
<http://www.muhasibetr.com/yazarlarimiz/ibrahimdoner/002/> , alındığı tarih:07.01.2019.
- [24] **Url -4**<[http://web.deu.edu.tr/erdin/tr/ders/kati\\_atik/ders\\_not/kompost.pdf](http://web.deu.edu.tr/erdin/tr/ders/kati_atik/ders_not/kompost.pdf) >, alındığı tarih:20.03.2019.
- [32] **Anon.,** Energy From Biological Processes.  
<http://www.wws.princeton.edu/ota/disk3/1980>, alındığı tarih:12.05.2019.
- [46] **Url -5**<<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf> >, alındığı tarih:15.03.2019.
- [47] **Url -6**<[https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/ffcec9d25e4a0d2\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/ffcec9d25e4a0d2_ek.pdf) >, alındığı tarih:15.02.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Kamil YAVRUCU  
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.11.1988  
e-posta : [kamil.yavrucu@gmail.com](mailto:kamil.yavrucu@gmail.com)

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine mühendisliği
  - **Yüksek Lisans** : Devam ediyor, Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Savunma Teknolojileri
-