



**FİLİSTİN’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK BİYOGAZ
ÜRETİMİ**

Lina ANTARI

**YÜKSES LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2020

Lina ANTARI tarafından hazırlanan “FİLİSTİN’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK BİYOGAZ ÜRETİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Doç. Dr. Serhat KARYEYEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Milli Savunma Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 06/08/2020

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Lina ANTARI

06/08/2020

FİLİSTİN’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK BİYOGAZ ÜRETİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Lina ANTARI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2020

ÖZET

Bu çalışmada, Filistin’de evsel kullanım için anaerobik fermantasyonla biyogaz üretimi araştırılmıştır. İnek dışkısından biyogaz üretimi, özellikle kırsal alanlarda enerji sıkıntısı sorunlarını veya gaz/enerji faturalarını azaltmak için kolaylıkla uygulanabilecek organik atıkların alternatif kullanım yollarından biridir. Bunun yanında, inek dışkısının birikmesinden kaynaklanacak kötü etkileri azaltmak için de etkili bir çözümdür. Çalışma kapsamında, her kg inek dışkısı başına üretilen biyogaz miktarını belirlemek için deney yapılmıştır. Deneyde kullanılan 60 L kapasiteli fermentasyon çürütücü tankı, 24 kg inek gübresi ve 24 kg su ile doldurulmuş ve elde edilen çamur 40 gün boyunca (29-34) ° C sıcaklık aralığında çalıştırılmıştır. Çamurdan alınan numunenin pH değerinin kademeli olarak 6’nın altına düştüğü ancak 40 gün sonunda 7’ye yükseldiği görülmüştür. Deney sonucunda elde edilen biyogaz miktarı yaklaşık 1 kg, biyogaz verim faktörü ise 0.0389 kg biyogaz / kg gübre bulunmuştur. Numune 27. deney gününde 155 g biyogaz üretimi ile maksimum verimliliğe ulaşmıştır. Filistinli bir ailenin aylık pişirme gereksinimlerini karşılamak için 2 m³’lük biyoçürütücü gerekli olduğu ve bu sistemin ilk yatırım maliyetinin 598 \$ olacağı tespit edilmiştir. Sonuçlar ayrıca çamur kalıntısının organik bir gübre olarak satılması durumunda biyoçürütücü kullanımı ile elde edilecek toplam karın 84 \$ / ay olduğunu göstermiştir. Biyogazın sadece yakıt olarak kullanılması durumunda ise 15 \$ / ay kar sağlanacağı bulunmuştur. Basit geri ödeme süresi, çamur kalıntısı organik gübre olarak satılırsa yaklaşık 7 ay, satılmazsa 3 yıl olarak bulunmuştur.

Bilim Kodu : 92801

Anahtar Kelimeler : Biyogaz, Anaerobik Fermantasyon, Hayvan Gübresi, Evsel Biyoçürütücü

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

BIOGAS PRODUCTION AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE IN PALESTINE

(M. Sc. Thesis)

Lina ANTARI

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2020

ABSTRACT

This study concerns the biogas production by anaerobic digestion process for domestic usage in Palestine. Biogas production from animal manure is one of the alternative utilization of organic waste that could be implemented easily in rural areas in order to mitigate energy shortage problems or to reduce the gas and energy bills. Also, it is an effective solution to mitigate bad effects from the accumulating of animal manures. Experiment was conducted to determine the amount of biogas produced by every kg of cow manure. Portable biogas digester with a capacity of 60 L was fed with 1:1 ratio of cow manure and water and operated for 40 days with a temperature interval of (29-34) °C. The pH values for the manure sample dropped gradually to less than 6, then it raised to 7 on the last day. The obtained biogas amount on the last day was approximately 1kg with yield factor was 0.0389 kg biogas/kg manure. The sample reached its maximum productivity on the 27th day with 155g of biogas. It was founded that biodigester with 2 m³ is required to cover monthly cooking requirements of a Palestinian family with an initial construction cost of 598\$. The results showed that total profit from using this biodigester was 84\$/month in the case of selling the digestion residue as an organic fertilizers. It also was 15\$/month if the biogas was used only (without selling the fertilizers). The Simple payback period was about 7 months if the organic fertilizer will be sold and about 3 years if it not.

Science Code : 92801

Key Words : Biogas, Anaerobic Fermentation, Animal Manure, Household Biodigester

Page Number : 83

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında vaktini ve yardımlarını cömertçe sunan, yol gösteren ve yanında çalışmaktan onur duyduğum değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ’a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmam süresinde her zaman bana yardımcı olan, gülümseyen değerli Prof. Dr. Kurtuluş BORAN’a çok teşekkür ederim. Onun derslerine katılan öğrencilerinden biri olduğum için şanslıyım.

Bu tezi geliştirmekte bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. Öğretim Üyesi Murat ŞAHİN’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimi boyunca her daim karşını beklemeden bana destek veren, gurbetimin ağırlığını hafifleten kıymetli Araştırma Görevlisi Emine Yağız GÜRBÜZ’e sonsuz teşekkür ederim.

Beni kahkahalarla karşılayan, gözyaşları ve dualarıyla uğurlayan, yaşadığı zorluk ve acıya rağmen Türkiye’deki eğitim yolculuğumun tamamlamasında ısrar eden ve fedakârlık gösteren sevgili annemi Taghreed NOFAL’a sonsuz teşekkürler.

Her zaman arkamda olduğunu ve hayatımın her aşamasında benden maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen babam Omar ANTARİ’ye çok teşekkür ederim.

Uzakta olsalar da desteklerini hep hissettiğim ve zor anlarda bile hep yanımda duran sevgili erkek kardeşlerim, ailem ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	13
3. BİYOKÜTLE	17
3.1. Biyokütle Kaynakları.....	18
3.1.1. Enerji bitkileri	18
3.2. Biyokütle Kullanımının Avantajları	19
3.3. Biyokütleden Enerjiye Dönüşüm Yöntemleri	19
3.3.1. Mekanik ekstraksiyon	20
3.3.2. Termokimyasal dönüşüm süreçleri.....	20
3.3.3. Biyokimyasal dönüşüm süreçleri	26
4. BİYOGAZ	27
4.1. Biyogaz Teknolojisi Tarihi	27
4.2. Anaerobik Bozulma Aşamaları	28
4.3. Biyogaz Üretimini Etkileyen Değişkenler	29
4.3.1. Sıcaklık	29
4.3.2. pH değeri.....	32

	Sayfa
4.3.3. Organik yükleme oranı	32
4.3.4. Alikoyulma süresi.....	33
4.3.5. Zehirli maddeler	33
4.3.6. Mevcut besin öğeleri.....	34
4.3.7. Karbon / azot oranı	34
4.3.8. Uçucu yağ asit	34
4.4. Biyogaz Bileşenleri ve Özellikleri.....	35
4.5. Biyogaz Kullanımı Teknolojileri.....	36
4.5.1. Doğrudan yanma	37
4.5.2. Kojenerasyon tesisleri.....	37
4.5.3. Biyogaz mikro türbinleri.....	37
4.5.4. Yakıt hücreleri.....	38
4.5.5. Biyogaz yakıtlı trijenerasyon sistemi.....	38
4.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Malzemeler	39
4.7. Biyogaz Teknolojisinin Çevresel ve Sosyo-Ekonomik Etkileri.....	41
4.7.1. Çevresel etkiler	41
4.7.2. Sosyo-ekonomik etkiler	42
4.7.3. Olumsuz kısımları	42
4.8. Biyogaz Teknolojisinin Yaygınlaştırılmasında Kısıtlamalar	42
4.9. Biyogaz Tesisi Bileşenleri.....	43
4.9.1. Karıştırma odası	43
4.9.2. Katı besleyici.....	44
4.9.3. Biyo çürütücü	44
4.9.4. Biyogaz depolama	46
4.9.5. Karıştırma sistemi.....	46
4.9.6. Pompa sistemi	47

	Sayfa
4.9.7. Jeneratör ünitesi.....	47
4.10. Bioreaktör Modelleri.....	48
4.10.1. Sabit kubbeli reaktörler.....	48
4.10.2. Hareketli kubbe tipi reaktörler	49
4.10.3. Balon tipi reaktörler	50
4.11. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler	51
4.12. Biyogaz Tesisinin Yerini Seçme	53
4.13. Evsel Anaerobik Çürütücü	53
4.13.1. Evde üretilen biyogazın kullanımları.....	54
4.13.2. Dezavantajları.....	55
5. ARAŞTIRMA METODOLOJISI	57
5.1. Deneysel Çalışma	57
5.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan hammaddeler	57
5.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar	57
5.2. Deneyin Yapılışı	58
5.2.1. Bulamaç hazırlama	58
5.2.2. pH değerini ölçme	58
5.2.3. Sıcaklık	58
5.2.4. Biyogaz çekme ve ağırlıklandırma	59
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	63
6.1. pH Değerleri.....	63
6.2. Biyogaz Üretimi	64
6.3. Evsel Çürütücü Tasarımı ve Ekonomik Değerlendirmesi.....	65
6.3.1. Biyogaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı	65
6.3.2. Çürütücü hacminin belirlenmesi	66
6.3.3. Tasarım özellikleri ve şekli	68

	Sayfa
6.3.4. Ekonomik analiz	68
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
7.1. Sonuç.....	73
7.2. Öneriler	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Termal aşama ve HAS	30
Çizelge 4.2. Anaerobik arıtmada engelleyicilerin engelleme seviyesi	33
Çizelge 4.3. Bazı organik maddelerin C/N oranı	34
Çizelge 4.4. Biyogazın bileşimi	35
Çizelge 4.5. CH ₄ 'ün ana özelliği	35
Çizelge 4.6. Biyogazda tipik bileşenler ve safsızlıklar	36
Çizelge 4.7. Çürütücüler tipi	53
Çizelge 6.1. pH değerlerinin zamanla değiştirilmesi	63
Çizelge 6.2. Çalışma düzeyine gelene kadar günlük ortalama biyogaz çıkışı bulgular	64
Çizelge 6.3. Ev tipi biyogaz ünitesini inşa etmek için gereklilikler ve maliyetler	69
Çizelge 6.4. SPBP ve aylık kazançlar değeri.....	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2018 yılında, küresel enerji tüketimi	2
Şekil 1.2. 2018’de bölgelere göre yakıt tüketimi	3
Şekil 1.3. 1990’dan 2017’ye kadar yenilenebilir enerji arzının küresel yıllık büyüme oranları	4
Şekil 1.4. 2017 yılında küresel yenilenebilir enerji arzında ürün yüzde payları	4
Şekil 1.5. 2017 katı biyoyakıt sağlamak bölgesel paylar	5
Şekil 1.6. 2017 dünya sektörel yenilenebilir enerji tüketimi	5
Şekil 1.7. 2017 yılında dünya elektrik üretiminde yakıt payları.....	6
Şekil 1.8. 2018’de biyogaz üretimi	10
Şekil 3.1. Biyogazın sürdürülebilir döngüsü	17
Şekil 3.2. Biyokütleden enerji ürünlerine ve yakıtlara dönüşüm şeması	19
Şekil 3.3. Termokimyasal prosesler şeması.....	21
Şekil 3.4. Doğrudan biyokütle birlikte yakma sisteminde kullanılan teknolojileri A: Biyokütlenin kömürle karıştırılması B: Ayrı biyokütle besleme düzenlemesi.....	24
Şekil 3.5. Dolaylı biyokütle birlikte- yakma teknolojileri.....	25
Şekil 3.6. Paralel biyokütle Birlikte yakma teknolojisi.....	26
Şekil 4.1. Anaerobik bozulma akım şeması	29
Şekil 4.2. Biyogazın kojenerasyon ünitesi	37
Şekil 4.3. Trijenerasyon tesisi şematiği.....	38
Şekil 4.4. Biyogaz kaynaklarının türleri.....	40
Şekil 4.5. Yatay çürütücü tasarımı	45
Şekil 4.6. Dikey çürütücü tasarımıp	45
Şekil 4.7. Üstten monteli gaz tutucusu	46
Şekil 4.8. Karıştırma sistemi.....	47
Şekil 4. 9. Sabit kubbeli reaktörler.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Hareketli kubbe tipi reaktör	50
Şekil 5.1. Biyo çürütücünün şematığı	58
Şekil 6.1. pH değerlerinin günlerle değişimi	64
Şekil 6.2. Üretilen biyogaz miktarlarının günlerle değişimi	65
Şekil 6.3. Ev tipi biyogaz çürütücünün şematığı	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Nablus belediyesinin atıksu arıtma tesisi	9
Resim 1.2. Biyogaz meşale.....	10
Resim 1.3. Kojenerasyon ünitesi	11
Resim 4.1. Fermantasyon tankı içindeki ısıtma boruları.....	32
Resim 4.2. Katı besleyici.....	44
Resim 4.3. Depolama balonu.....	46
Resim 4.4. Kosta Rika’da görüldüğü gibi balon çürütücü	51
Resim 4.5. Garaj tipi kesikli çürütücü.....	52
Resim 5.1. Biyo çürütücü	59
Resim 5.2. Çamur örneğinin alınması.....	59
Resim 5.3. pH Metre	60
Resim 5.4. Klima	60
Resim 5.5. Gaz valfi.....	61
Resim 5.6. Çamur valfi.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
°C	Celcius
CH ₄	Metan
CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	Bütirik Asit
CH ₃ CH ₂ COOH	Propiyonik Asit
CH ₃ CH ₂ OH	Alkole
CH ₃ COOH	Asetik Asit
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glikoz Şekerini
C ₂ H ₅ OH	Etanol
CO	Karbon Monoksit
CO ₂	Karbon Dioksit
H ₂ S	Hidrojen Sülfid
K	Kelvin
K	Potasyum
kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
kWh	Kilowatt-Saat
L	Litre
m ²	Metre Kare
m ³	Metre Küp
MW	Megawatt
N ₂	Azot
NH ₃	Amonyak
ppm	Parts Per Million
s	Saniye
SO ₂	Sülfür Oksit
T	Sıcaklık

Kısaltmalar**Açıklamalar****BCCHP**

Biyogaz Yakıtlı Trijenerasyon

CCHP

Birleşik Soğutma, Isıtma ve Güç

CHP

Kombine Isı ve Güç Üretimi

HAS

Hidrolik Alıkoyulma Süresi

LPG

Liquefied Petroluem Gas

MTEP

Milyon Ton Eşdeğer Petrol

OECD

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü

SNG

Sentetik Doğal Gaz

SPBP

Basit Geri Ödeme Süresi

TBEA

Toplam Birincil Enerji Arzı

UNICEF

Milletler Çocuklara Yardım Fonu

VFA

Uçucu Yağ Asitleri

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik kalkınma, sürdürülebilir kalkınma, sosyal kalkınma ve toplumların yaşam kalitesini iyileştirmede önemli bir role sahiptir. Hızlı teknolojik gelişmeler ile yaşam standartlarının iyileşmesi ile birlikte; artan nüfus yoğunluğunun da etkisiyle, küresel enerji tüketiminde belirgin bir artış gözlenmektedir. Dünyada enerji talebinin artması, hava kirliliği, su kirliliği, iklim değişikliği, küresel ısınma, ormansızlaşma ve ozon tabakasının tükenmesi gibi birçok olumsuz çevresel değişime neden olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) yanması sırasında açığa çıkan kirletici zararlı gazlar (SO_2 , CO , NO_x ve CO_2) hava kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerjilerin kullanılması, enerji hizmetlerinin az bulunduğu bölgelere bu hizmetlerin sağlanması, ekonomik ve sosyal sektörün gelişmesi ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması gibi birçok önemli avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji teknolojileri; konut, ticaret, tarım ve sanayi gibi uygulama alanlarında gün geçtikçe daha fazla kullanılmaya devam edilmektedir [1]. Yenilenebilir enerji esas olarak güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, nükleer ve jeotermal enerji ile temsil edilmektedir [2]. Bugün kömür, doğal gaz, petrol, hidroelektrik ve nükleer enerji dünyada kullanılan en büyük enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen kaynaklar olan kömür, doğal gaz ve petrol ise süreklilik bakımından sınırlıdır [3]. Eğer fosil yakıt tüketimi aynı şekilde artmaya devam ederse, kaynaklar tükenmeyi tamamlayabilir ve milyarlarca insan soğukta ve aç kalabilir.

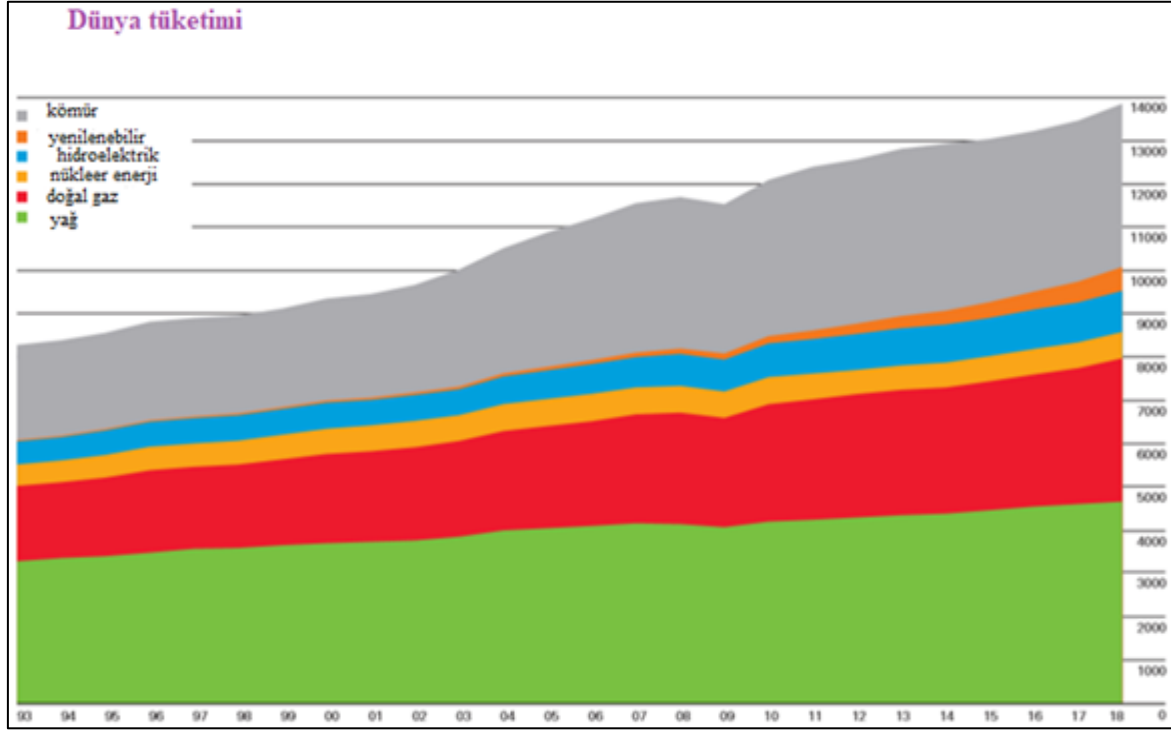
Tezin amacı

Bu tez anaerobik fermentasyon süreci ve anaerobik çürütücü çalışma prensiplerini açıklamayı amaçlamaktadır. Bu çalışma Filistin’de genel enerji durumunu ve biyoenerji üretim imkanlarını vurgulamaktadır. Filistin’deki hayvan dışkısından biyogaz üretimi için kullanılacak bir evsel çürütücünün tasarımına odaklanmakta ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmektedir.

Global enerji tüketimi

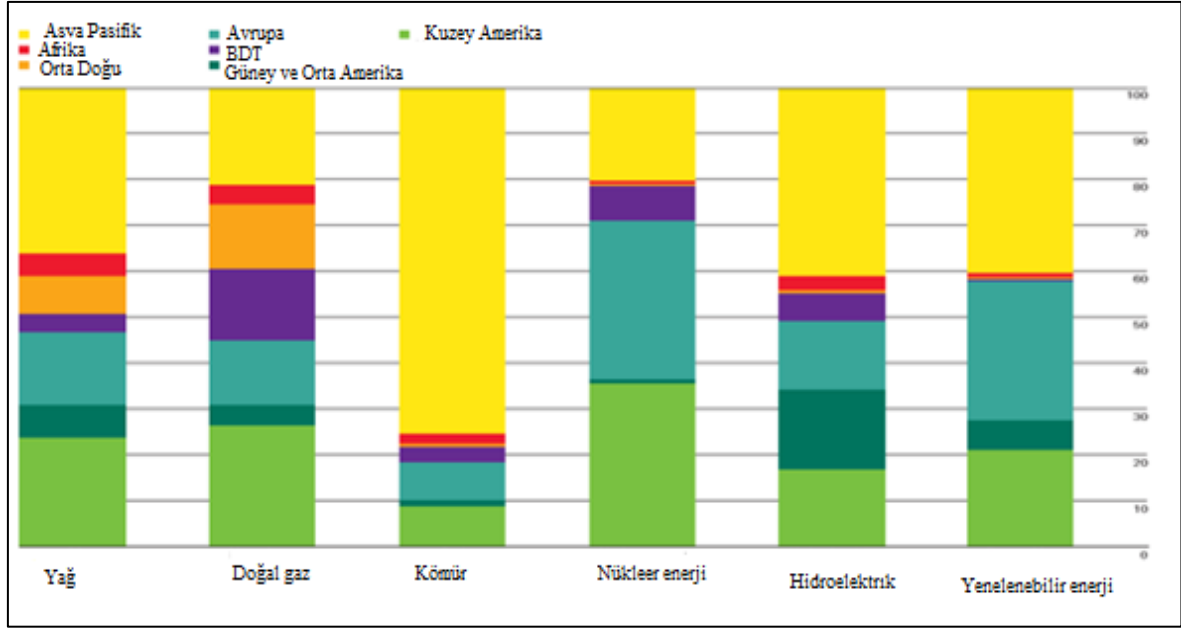
Şekil 1.1’de 2018 yılındaki kaynaklara göre küresel enerji tüketimi milyon ton eşdeğer petrol cinsinden gösterilmiştir. Bu şekli incelendiğinde küresel enerji tüketiminin 2018 yılında

%2,9 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca tüm fosil yakıtların talebi hızla artmaktadır, ancak en fazla artışın doğal gaz (168 MTEP, % 43 küresel artış) ve yenilenebilir enerji (71 MTEP, % 18 küresel artış) kaynaklarında görülmektedir [4].



Şekil 1.1. 2018’de küresel enerji tüketimi [4]

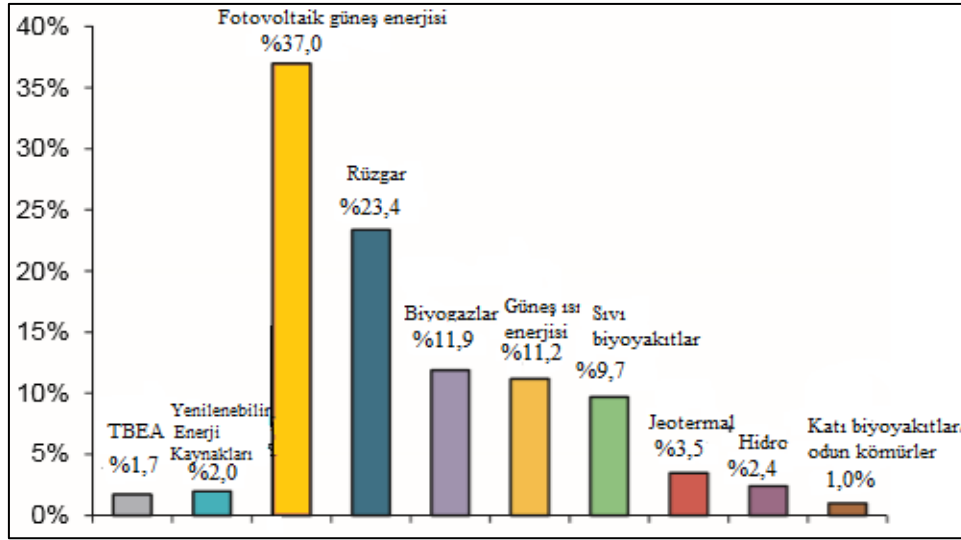
Şekil 1.2’de, 2018’de bölgelere göre yakıt tüketimini göstermektedir. Şekil 1.2 incelendiğinde petrolün çoğunlukla Asya Pasifik ve Kuzey Amerika’da tüketildiği görülmektedir. Yani küresel petrolün % 60’ı bu bölgelerde tüketilmektedir. Dünyada kömür en yoğun olarak Asya Pasifik’te tüketilmektedir. Nükleer tüketiminin ise üçte ikiden fazlası Kuzey Amerika ve Avrupa’da yoğunlaşmıştır. Şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarının % 90’dan fazlasının da Avrupa, Asya Pasifik ve Kuzey Amerika’da tüketildiği görülmektedir.



Şekil 1.2. 2018’de bölgelere göre yakıt tüketimi [4]

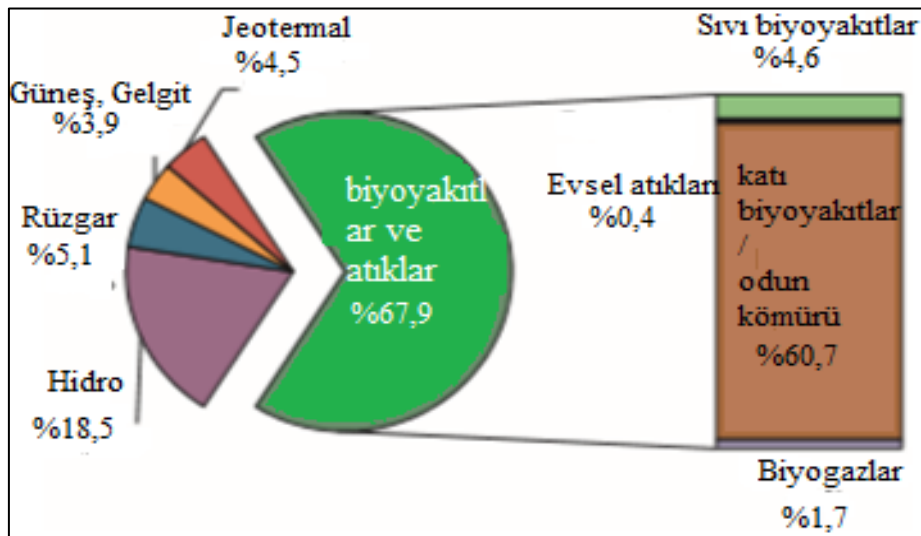
Fosil yakıta kıyasla, dünyadaki tüm yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli hakkında kapsamlı ve ayrıntılı istatistiksel veriler elde etmek kolay değildir. Bunun arkasında birkaç sebep vardır. Birincisi, fosil enerji kaynakları için raporlama önemli ölçüde iyileşmiştir ve fosil yakıtların fiyatı birçok ekonomi için önemli bir yük oluşturmaktadır. İkincisi, yenilenebilir enerji tesisleri büyümesinin, fosil kaynaklı olanlara göre daha küçük boyutlu ve daha dağınık olması nedeniyle enerji istatistikleri düzgün bir şekilde belgelenememektedir [5].

Şekil 1.3’de gösterildiği gibi 1990 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynakları yıllık ortalama % 2, 0 oranında büyümüştür ki bu da % 1, 7’ye eşit olan dünya toplam birincil enerji arzı (TBEA) büyüme oranından biraz daha yüksektir. Güneş fotovoltaik ve rüzgar enerjisi sırasıyla % 37,0 ve % 23,4 en yüksek ortalama büyüme oranına sahiptir. Biyogazlar % 11,9 ile üçüncü en yüksek büyüme oranına sahip olup, bunu güneş enerjisi (%11,2) ve sıvı biyoyakıtlar (% 9,7) izlemektedir.



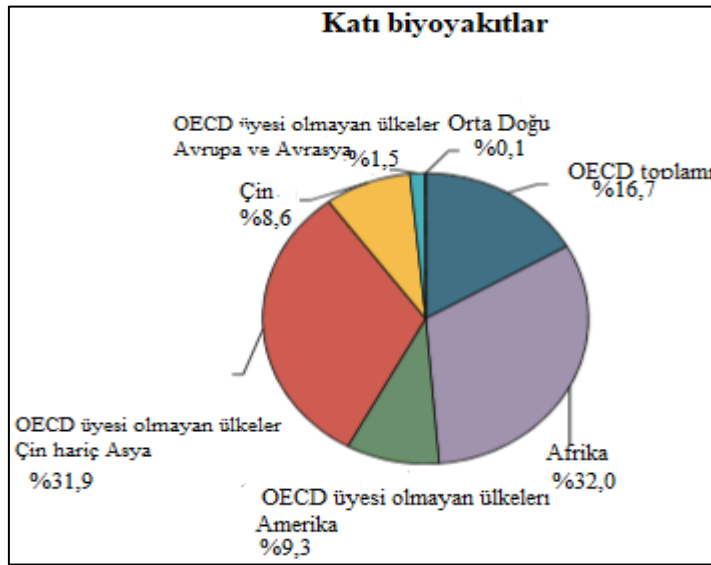
Şekil 1.3. 1990'dan 2017'ye kadar yenilenebilir enerji arzının küresel yıllık büyüme oranları [5]

Biyokütle, Brezilya, Hindistan ve Çin gibi artan talebe sahip nüfusun yoğun olduğu ülkelerde enerji kaynaklarını artırma konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Brezilya, sıvı biyoyakıtlarda liderdir ve biyoetanol ile çalışabilen en fazla sayıda araca sahiptir [6]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Brezilya, Almanya ve Çin, dünyada en çok biyoyakıt üreten ülkelerdir. Katı biyoyakıtlar, gelişmekte olan ülkelere yaygın kullanımı nedeniyle küresel yenilenebilir enerji arzının %60,7'sini temsil eden, açık ara ile en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır (Şekil 1.4) [7]. Hidro güç, dünya TBEA'nın % 2,5'ünü ve yenilenebilir enerjilerin % 18,5'ünü sağlayan ikinci en büyük küresel enerji kaynağıdır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ise daha küçük bir paya sahiptir.



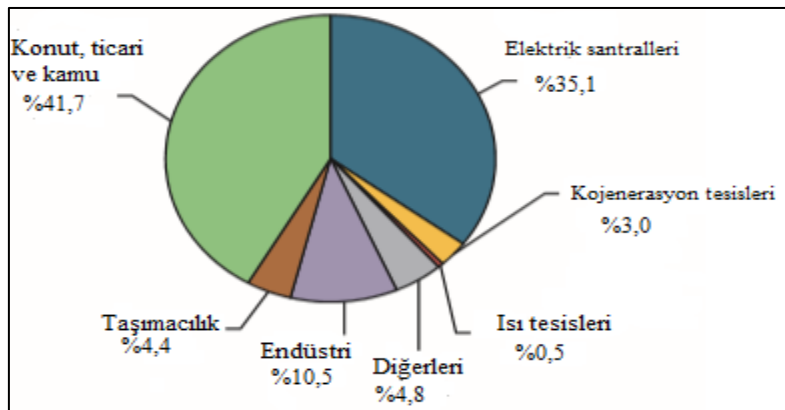
Şekil 1.4. 2017'de küresel yenilenebilir enerji arzında ürün yüzde payları [5]

Şekil 1.5’de gösterildiği gibi ekonomik kalkınma ve İşbirliği örgütü (OECD) üyesi olmayan ülkeler katı biyoyakıtların çoğunu üretmektedir. 2017 yılında katı biyoyakıtların % 83,4’ü OECD üyesi olmayan ülkeler tarafından üretilmiştir. Özellikle Asya ve Afrika’da bulunan ve gelişmekte olan ülkelerin konutlarda yemek pişirmek ve ısınmak için biyokütle kullandıkları gösterilmiştir. 2017 yılında dünyanın toplam TBEA sadece % 5,8’ini oluşturan Afrika, dünyadaki katı biyoyakıt arzının % 32,0’ını oluşturmuştur.



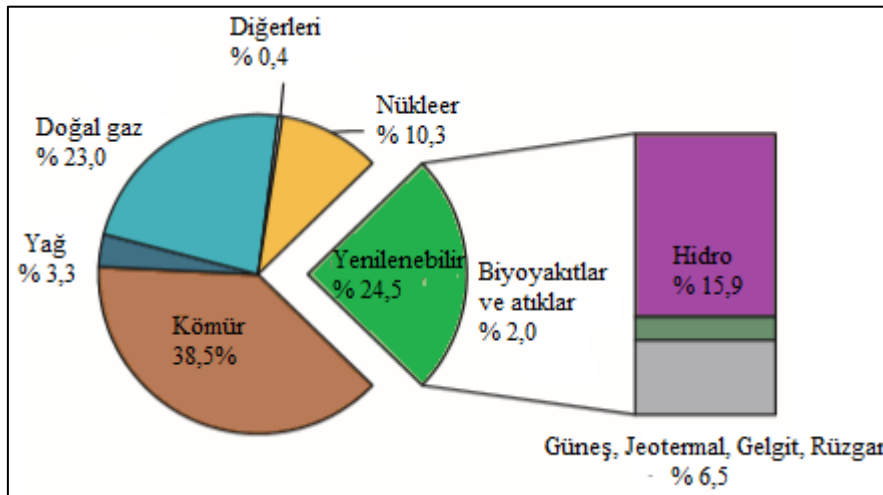
Şekil 1.5. 2017’de katı biyoyakıt sağlamak bölgesel paylar [5]

Şekil 1.6’ya göre, küresel düzeyde, yenilenebilir enerjilerin çoğunluğu konut, ticari ve kamu hizmetleri sektörlerinde tüketilmektedir. 2017’de yenilenebilir enerjilerin %38,6’sı dünyada elektrik ve ısı üretimi için kullanılırken, %41,7’si konut, ticaret ve kamu sektörlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. 2017’de dünya sektörel yenilenebilir enerji tüketimi [5]

Yenilenebilir enerji kaynakları, 2017 yılında küresel elektrik üretimine en çok katkıda bulunan ikinci kaynaktır. Şekil 1.7’de gösterildiği gibi, kömürden sonra dünya elektriğinin % 24,5’ini üretimi yenilenebilirlerden sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerjileri fosil yakıtlara tercih eden politikalar da yenilenebilir enerjilerin dünya elektrik üretiminde artan önemine katkıda bulunmuştur. Hidroelektrik, yenilenebilir elektriğin büyük çoğunluğunu sağlamaktadır. 2017 yılında dünya elektriğinin %15,9’unu ve toplam yenilenebilir elektriğin % 65,1’ini üretmiştir. Jeotermal, güneş, rüzgar ve gelgit enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları, dünya elektrik üretiminin % 6,5’ini oluşturmuştur; bu pay 2017 yılında toplam yenilenebilir elektriğin yaklaşık % 26,6’sını oluşturmuştur. Elektrik üretiminde dünyadaki elektriğinin % 2,0 gibi küçük bir payı ise biyoyakıtlar ve katı biyoyakıtlardan sağlanmaktadır.



Şekil 1.7. 2017’de dünya elektrik üretiminde yakıt payları [5]

Filistin’deki enerji durumu

Filistin’deki enerji sektörünün durumu; doğal kaynakların eksikliği, dengesiz politika koşulları, finansal kriz ve yüksek nüfus yoğunluğu gibi nedenlerden dolayı Ortadoğu ve dünyaya göre oldukça farklıdır. Abu Hamed ve ark. Filistin’deki enerji maliyetlerinin bölgedeki herhangi bir yerden daha pahalı olduğunu tespit etmişlerdir [8]. Ayrıca, Filistin’deki fosil yakıtların %100’ü ve elektriğin %87’si dışarıdan ithal edilmektedir [9]. Literatüre bakıldığında, enerji maliyetlerindeki olumsuz etkileri azaltmak için Filistin’de yenilenebilir enerji sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir.

Filistin, tüm sektörlerde enerji taleplerinde sürekli büyüme ile karşı karşıyadır. Filistin'deki enerji fiyatları, uluslararası fiyatlara ve bölgedeki diğer ülkelere göre daha yüksektir. Dolayısıyla, bu nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılmasını ekonomik ve çevresel anlamda zorunlu kılmaktadır [10]. Filistin'de güneş, rüzgar ve biyokütle gibi birçok alternatif enerji kaynağı bulunmaktadır. Filistin Enerji Kurumu, güç kaynağı sistemlerinin güvenilirliğini arttırmak ve çevresel durumu iyileştirmek için yenilenebilir enerji sistemlerine olabildiğince yatırım yapmaktadır [11]. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları, 2018 yılında Filistin'deki toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %10,7'sini karşılamıştır [11].

Güneş enerjisi

Filistin yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Yılda ortalama 3000 saat güneş ışığı bulunmaktadır. Yatay yüzeydeki yıllık ortalama güneş ışıınımı $5,4 \text{ kWh/m}^2$ gündür. Bu değerler Filistin'in güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Filistin'deki güneş enerjisi, bitki ve sebze kurutma ile PV sistem uygulamasında kullanılmaktadır. Ayrıca, Filistin'li evlerde güneş enerjili su ısıtıcıları yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (yaklaşık %70) [12].

Rüzgar enerjisi

Filistin'de yıllık rüzgar hızı ortalaması 3 m/s 'dir. Hatta bazı yerlerde $5,5 \text{ m/s}$ değerine ulaşabilir. Rüzgar enerjisini kullanan küçük rüzgar türbinlerini, özellikle kırsal alanlarda su pompalamak için yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır [13].

Biyokütle enerjisi

Filistin'de biyokütle enerji kaynakları kolaylıkla bulunmaktadır. Biyoenerji kullanımı, dışarıdan ithal edilen enerjiye bağımlılığı önemli ölçüde azaltabilir. Biyokütle enerjisinin kullanımları iki bölüme ayrılır; geleneksel kullanımları (örneğin yemek pişirme ve ısıtma) ve modern kullanımları (örneğin, elektrik, buhar ve sıvı yoluyla biyo yakıt üretmek). Şu anda, biyokütle enerjisi Filistin enerji oranının yaklaşık %8'ine katkıda bulunmaktadır [11]. Evsel atıklar, hayvan gübresi (keçilerden, tavuklardan ve ineklerden) ve tarımsal artıklar Filistin'deki farklı biyokütle kaynaklarından örneklerdir. Filistin'de yılda üretilen organik

atıklar toplamda 74,391,996 ton olup şöyle sıralanabilir; odun ve kömür 2,7917 ton, evsel atıklar 7,325,741,5 ton, prina 47,921 ton, yağlar ve yağlayıcılar 1,083 ton, hayvan gübresi 628,660 ton. Organik atıklardan çıkarılabilen biyogaz miktarı atığın kendisine ve çürütücü sisteminin tasarımına bağlıdır. Ton başına 20 m³ ila 800 m³ biyogaz arasında değişir. Her metreküp biyogaz, 6kWh kalorifik enerjiye eşdeğerdir [9]. Filistin’de kullanılan en popüler biyokütle kaynaklarından biri prina’dır. Filistin’de bu tip yakıtın hanelerde ısıtma ve pişirme için kullanılmasının yanı sıra bazı ekonomik kuruluşlarda da ısıtma için kullanıldığı bilinmektedir [14].

Filistin’deki atıksu arıtma tesislerinden biyogaz üretimi

Atık su arıtımı genellikle çevresel olarak güvenli bir su akışı üretmek için kirleticilerin atık sudan fiziksel yollarla, biyolojik arıtım ve kimyasal arıtma yoluyla uzaklaştırılmasına bağlıdır [15]. Son birkaç yılda, atık su arıtma tesisleri Filistin’de yaygınlaşmaya başladı; birkaç belediye kendi atıksu arıtma tesislerini kurmuş ve bir kısmı yeterli miktarda biyogaz üretmeye başlamıştır. Atıksu arıtma tesislerinin amaçları;

- Atık su akışının çevresel etkisinin azaltılması
- Yüzey suyunun ve yeraltı sularının ve kaynak sularının kirlenmeden korunması
- Suyu tarım ve endüstriyel amaçlar için tekrar kullanın

Aşağıdaki resimde gösterilen Nablus belediyesinin batı atıksu arıtma tesisi, Filistin’deki en etkili tesislerden biridir. Bu tesis, Temmuz 2013’te toplam 40 Milyon Avro sermaye maliyeti ile Filistin’de kuruldu. Tesisin arıtma kapasitesi 14,000 m³/gün’dür, ancak 15,000 m³/gün arıtmak için genişletilebilir [16]. 2018 yılında bu tesiste arıtılan toplam atık su miktarı 4,647,000 m³’tür. Atık su arıtma tesisi, aylık olarak büyük bir elektrik faturası ile sonuçlanan yaklaşık 3,148,000 kWh büyük miktarda elektrik enerjisi tüketmektedir [16].

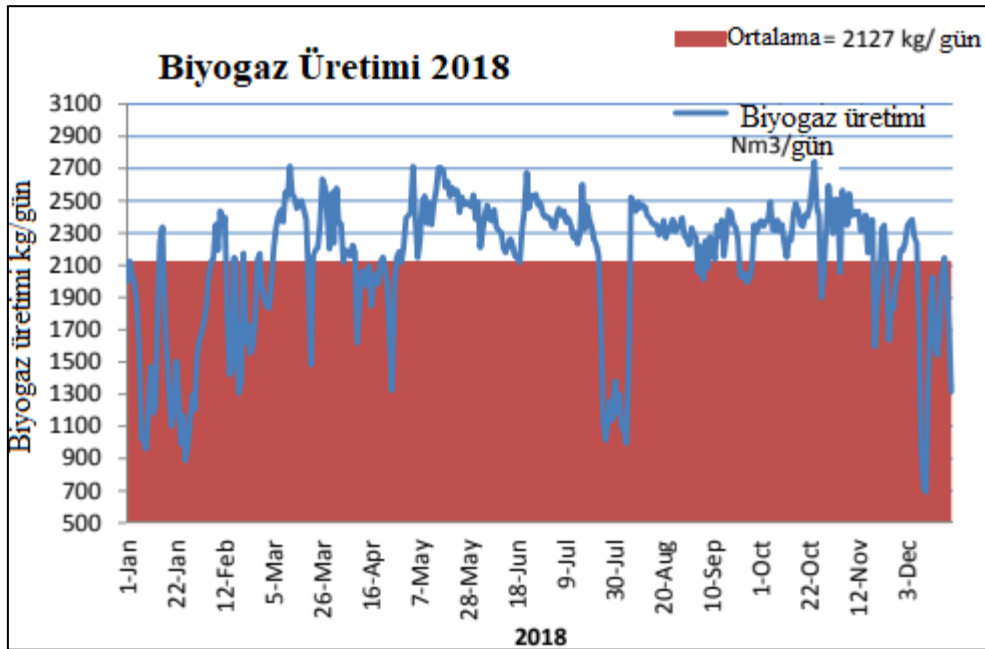


Resim 1.1. Nablus belediyesinin atıksu arıtma tesisi

Tesisin yıllık raporuna göre, 2018'deki ortalama gaz üretiminin aşağıdaki şekil 1.10'de gösterildiği gibi $2,127 \text{ nm}^3/\text{gün}$ olduğu tespit edilmiştir. Üretilen gaz kojenerasyon ünitesine elektrik ve termal enerji üretmek için beslenir. Bu termal enerjinin büyük miktarı çürütücüyü ısıtmak için kullanılır. Ayrıca, çürütücüdeki mezofilik koşulları 36°C civarında tutmak için çamur kazan tarafından ısıtılır. Hidrolik alıkoyulma süresi yaklaşık 21 gündür. Tesiste kullanılan anaerobik çürütücü, anaerobik bakteriler için optimum sıcaklık ve pH değerini korumak amacıyla özel bir izleme sistemi içerir. Bu tesiste üretilen biyogaz genellikle %33 CO_2 ve %66 CH_4 gazı içerir. Çürütücüden üretilen CH_4 gazı nemi uzaklaştırmak için taş filtrelerde işlendi. Ve sonra gaz tutucusunda toplanır. Fazla gaz, gaz meşale ile yakılır. Balondaki depolan gazı %90'a ulaştığında alevlenme başlar ve gaz balonu hacminin % 80'ine ulaştığında durur [16].



Resim 1.2. Biyogaz meşale



Şekil 1.8. 2018’de biyogaz üretimi

18/6/2017 tarihinde Nablus batı atıksu arıtma tesisinde kojenerasyon ünitesi kuruldu ve çalışmaya başlamıştır. Kükürt giderme ünitesindeki arıtılmış biyogaz bu üniteye yakıldı ve elektrik ve termal güç üretir. Üretilen elektrik, atık su arıtma tesisinin toplam elektrik tüketiminin yaklaşık% 60’ını karşılamaktadır. Bu, belediyenin günde 1000 avro tasarruf etmesine yardımcı olur. Biyogazın desülfürizasyon ünitesi, operasyonun sürdürülebilirliğini

sağlayan kojenerasyon ünitesinin ana bileşenlerinden biridir. Bu ünite motor korozyonu neden olan H_2S ve siloksan biyogazdan uzaklaştırılır.



Resim 1.3. Kojenerasyon ünitesi

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Al-Maghalseh ve diğerleri yaptıkları çalışmada, Filistin’de biyogazdan elektrik üretmenin mümkün olduğunu bulunmuş. Filistin şehirlerinde biyogaz potansiyellerini incelediler ve Jenin Valiliği’nin en yüksek biyogaz potansiyeline sahip olduğunu bulmuşlar. Çalışmalarına göre, Jenin Valiliği’ndeki biyogaz potansiyel, diğer Filistin şehirlerine göre toplam biyogaz potansiyeli % 29’una ulaşır [17].

Jyothilakshmi ve diğerleri çalışmalarında, tüm hava koşullarında kullanılabilecek bir evsel biyoçürütücü tasarımı incelenmiş. Deneysel çalışma yapmak için yaklaşık 30 litre kapasiteli bir biyoçürütücü kullanılmıştır. Biyoçürütücü, ilk kez su ve inek gübresi ile, ikinci kez su ve evsel atıklarla % 80’e kadar doldurulmuştur. çalışma sonuçlarına göre inek gübresi veya evsel atık kullanılırken gaz verim faktörü aynı aralıkta bulunmuştur [18].

Alia yaptığı çalışmasında, biyogaz tesislerinden elektrik enerjisi üretimi için çevresel etki değerlendirmesi incelenmiştir. Bu çalışmada, çoğu Filistin kentinde hayvanların türü, sayısı ve günlük dışkısı hakkında birçok istatistiksel veri toplanmıştır. Bu çalışmada, merkezi biyogaz tesislerinin tasarımı araştırılmıştır. Çalışma, önerilen tüm merkezi biyogaz santralının merkezi olmayan biyogaz santralinden daha uygun ve ekonomik olduğunu göstermiştir. Çalışma, önerilen tüm merkezi biyogaz santrallerinin, merkezi olmayan biyogaz santraline göre ekonomik açıdan daha uygun olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, merkezi biyogaz tesisi üzerindeki olumsuz potansiyel çevresel etkinin, merkezi olmayan biyogaz tesisinden daha az olduğunu tesbit edilmiştir [19].

Mukumba ve diğerleri yaptıkları çalışmada, Zimbabve Lisesi’nde biyogaz potansiyelini değerlendirmek için bir araştırma yapılmıştır. Bu okul ulusal elektrik şebekesine bağlandı, ancak şebekedeki yüksek yük talebi nedeniyle okula verilen elektrikte hep kesinti olmuş. Okul için toplam enerji günlük gereksinimi 2710 kWh ve biyogazdan elde edilen toplam enerji 450 kWh / gün olarak bulunmuştur. Bu çalışmada yapılan analiz, biyogaz kullanılması okulun toplam enerji ihtiyacının % 16’sına katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Çalışma sonuçları; ham maddelerden elde edilen toplam biyogaz veriminin hacmi günde 50 m³ olduğu bulunmuştur; sığır gübresinden günde 18 m³, tavuk gübresinden günde 4 m³ ve insan atıklarından günde 28 m³, sığır gübresi için çürütücü hacmi ise 50 m³ ve tavuk gübresi için

27 m³ ve son olarak insan atıkları için 37 m³ bulunmuştur. Bu çalışmada toplam yatırım maliyeti 9957 \$ ve SPBP 2 yıl olarak bulunmuştur. Çalışma, biyogazın bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının Zimbabwe’de çok yararlı olduğunu göstermiştir [20].

Zhang ve diğerleri çalışmalarında, birlikte çürüme değerlendirilmiştir. Bu çalışmada inek gübresi ve evsel atıklar hammadde olarak kullanılmıştır. Çalışma sonuçları toplam metan gazı üretiminin ‘birlikte çürüme’ ile arttırıldığını göstermiştir. Evsel atıkların sığır gübresine optimum oranı 2 olarak bulunmuştur. Bu oranda, toplam metan üretiminin (kesikli sistemde) % 41.1 ve (yarı sürekli besleme sisteminde) % 55.2 oranında arttığı görülmüştür [21].

Kavuma yaptığı çalışmasında, biyogaz tesisinde metan ve karbondioksit veriminin değişimini değerlendirilmiştir. Farklı hammaddeden metan ve karbondioksit verimini değerlendirmek için bir laboratuvar ölçekli kesikli çürütücü (5 litre) tasarlamış ve inşa etmiş. Kullanılan hammadde ise; inek gübresi, domuz gübresi ve 1:1 domuz ve inek gübresi karışımıdır. Bu karışımdan elde edilen biogaz hacminden maksimum metan veriminin hacmi % 61.2’dir. Çalışma sonucuna göre, deneyin başlangıcından itibaren bir zaman aralığı (15-18) gün içinde maksimum metan üretkenliğine ulaşır. Çalışma, metan ve CO₂ yüzdesinin büyük ölçüde hammaddeye bağlı olduğunu göstermiştir. Metan üretimi, metan üreten bakterileri sınırlayan hidrojen sülfür gibi bazı eser gazların varlığı ile engellenmiştir [22].

Sreekrishnan ve diğerleri çalışmalarında, katılardan gaz üretimini arttırmak için kullanılabilecek çeşitli teknikleri incelenmiştir. Bu çalışma, bazı inorganik ve organik katkı maddelerinin kullanımı biyogaz üretiminin arttırmasında umut verici olduğunu gösterdi. Çalışma biyogaz üretimini etkileyen değişkenlerin (pH, sıcaklık, uçucu yağ asidi oluşumu ve hidrolik tutma süresi) istenen aralıkta tutulmasını gaz üretiminin iyileştirdiğini tesbit edilmiştir [23].

Watson ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında, sentetik yakıt ve biyogaz yakıt karışımlarının emisyon bakımından bir karşılaştırmasını hem deneysel hem de kinetik modellerle gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan deneysel düzenek, atmosferik şartlardaki jet-duvar durgun alev sistemidir [24].

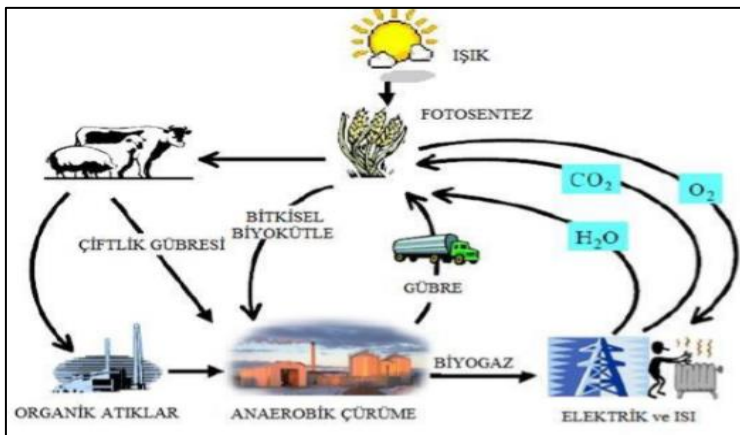
Horikawa ve diğerleri yaptıkları çalışmada, kimyasal soğurma süreçler ile biyogazdan hidrojen sülfür gazının (H₂S) uzaklaştırılması incelenmiştir. Ortam sıcaklığında çalışan

demir-şelatlı bir işlem kullanılarak H_2S 'nin biyogazdan tamamen uzaklaştırılmasının mümkün olduğu gösterilmiştir [25].

Al Seadi ve diğerleri yaptıkları çalışmada, biyogaz teknolojileri hakkında temel bilgiler verilmiştir. Anaerobik bozulma aşamaları, biyogaz üretimini etkileyen değişkenler araştırılmıştır. Ayrıca, biyogaz tesisi bileşenleri ve biyogaz teknolojileri incelenmiştir [26].

3. BİYOKÜTLE

Biyokütle enerjisi, insanoğlunun en eski enerji kaynaklarından biridir. Biyokütle, elektrik üretimi, evlerin ısıtılması, araçlara yakıt sağlamak ve endüstriyel tesisler için proses ısısı sağlamak da dahil olmak üzere çeşitli enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Biyokütle, güneş enerjisinin fotosentez ile suyu ve CO₂'yi organik maddeye dönüştürmesi sonucu oluşan bitki maddesidir. Biyokütle enerjisi, bitki ve hayvansal gübre gibi farklı kaynaklardan elde edilebilir[2]. Biyokütle kaynağı, güneş ışığı enerjisinin fotosentez yoluyla kimyasal bağlarda depolandığı organik bir madde olarak kabul edilebilir. Genellikle fotosentez, mevcut güneş ışığının % 1'inden daha azını depolanan kimyasal enerjiye dönüştürür [27]. Bitişik karbon, hidrojen ve oksijen molekülleri arasındaki bağlar bozulma, yanma veya ayrışma ile kırıldığında, bu maddeler depolanmış kimyasal enerjilerini serbest bırakırlar [27]. Biyokütle enerjisinin kullanımı çevreye karbondioksit salmaz, bu nedenle enerji üretmek için yenilenebilir ve çevre dostu bir yoldur [28]. Biyokütle katı, sıvı ve biyogaz halindeki yakıtlara dönüştürülebilirler. Aşağıdaki şekilde anaerobik bozulma yoluyla biyogaz üretiminin sürdürülebilir döngüsünü göstermektedir. Atmosferdeki karbondioksit bitkiler tarafından alınır ve fotosentez yoluyla organik bileşiklere dönüştürülür. Bu organik bileşiklerin bazıları otoburlar ve insanlar tarafından gıda olarak kullanılır ve daha sonra solunum sırasında atmosfere CO₂ olarak salınırlar. Karbon bileşikleri yakıt olarak yakıldığında CO₂ de atmosfere geri gönderilir [19].



Şekil 3.1. Biyogazın sürdürülebilir döngüsü [29]

3.1. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle, modern biyokütle ve geleneksel biyokütle olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Modern biyokütle, genellikle büyük ölçekli enerji kullanımlarıyla ilgilidir ve geleneksel enerji kaynaklarının yerini almayı hedeflemektedir. Ayrıca, tarımsal atıkları, evsel atıkları ve biyoyakıtları içerir. Geleneksel biyokütle ise genellikle gelişmekte olan ülkelerde, küçük ölçekli kullanımlarla sınırlıdır. Mangal kömürü, bitki atıkları ve hayvan atıklarını içerir [30].

Biyokütle enerji kaynakları aşağıdaki gibi 3 ana kategoriye ayrılabilir [30];

- Atık: Tarımsal üretim atıkları, hasat kalıntıları ve hayvan atıkları gibidir
- Orman ürünleri: Odun ve odun atıkları
- Enerji Bitkileri: Nişasta bitkileri (mısır gibi), Şeker bitkileri (pancar gibi) ve yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği gibi)

3.1.1. Enerji bitkileri

Enerji bitkileri, özellikle enerji üretmek amacıyla yetiştirilen bir üründür [30]. Günümüzde, hem dönüştürme yönteminde hem de enerji bitkileri üretimindeki teknolojik gelişmeler, biyokütlenin uygulanmasını daha düşük maliyetli ve daha yüksek dönüşüm verimliliği ile mümkün kılmaktadır. Biyokütle kaynağı olarak enerji mahsulleri kullanıldığında enerji üretimi, enerji üretiminde geleneksel biyokütle kaynakları kullanılmasına göre daha büyüktür. Potansiyel enerji bitkileri; odunsu atıklar, otlar, nişasta, şeker mahsulleri ve yağlı tohumları içerir [27].

Genel olarak, ideal enerji bitkilerinin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yüksek verim (hektar başına maksimum kuru madde üretimi)
- Düşük enerji gereksinimi
- Düşük maliyet
- Temiz kaynaklar ile büyüme
- Düşük besin gereksinimi

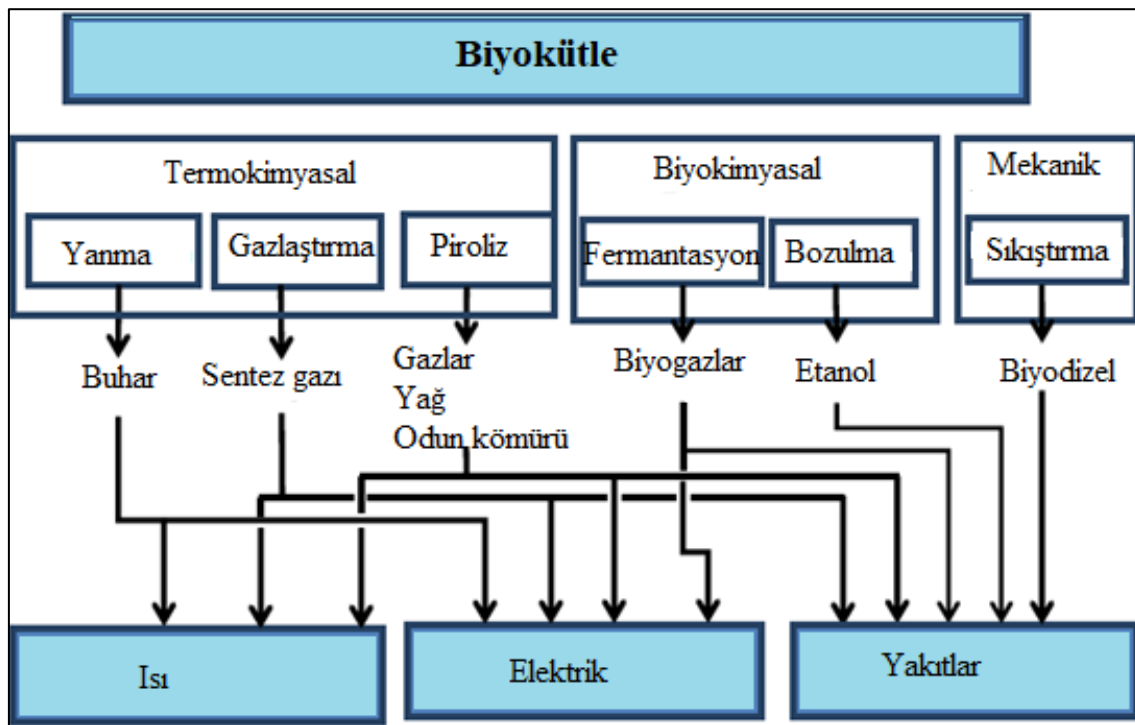
İstenen özellikler aynı zamanda yerel iklim ve toprak koşullarına da bağlıdır. Su tüketimi dünyanın birçok bölgesinde büyük bir sorundur ve mahsulün kuraklığa karşı direncini önemli bir faktör haline getirir. Diğer önemli özellikler haşere direnci ve gübre gereksinimleridir.

3.2. Biyokütle Kullanımının Avantajları

Biyokütle enerjisi kullanılmasının toplum açısından birçok ekonomik faydası vardır. Ayrıca, küçük toplumlarda veya küçük sanayi bölgelerinde enerji için yararlı bir kaynak olabilir. Gelişmiş ülkeler biyoenerjiyi petrol, gaz veya kömür gibi diğer kaynakların eksikliğini telafi etmek için de kullanabilirler. Bunların yanında sera salınımını azaltan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin en önemli avantajlarından biri ucuz olmasıdır. Buna ek olarak, kolayca, her zaman ve hemen hemen her yerde bulunabilmesidir.

3.3. Biyokütleden Enerjiye Dönüşüm Yöntemleri

Biyokütleden elektrik, ısı ve biyoyakıt üretim işlemleri aşağıdaki şematikte gösterilmiştir. Dönüşüm sırasında farklı biyokütle tiplerinin davranışı organik ve inorganik kimyasal yapılara bağlıdır [31].



Şekil 3.2. Biyokütleden enerji ürünlerine ve yakıtlara dönüşüm şeması [32]

3.3.1. Mekanik ekstraksiyon

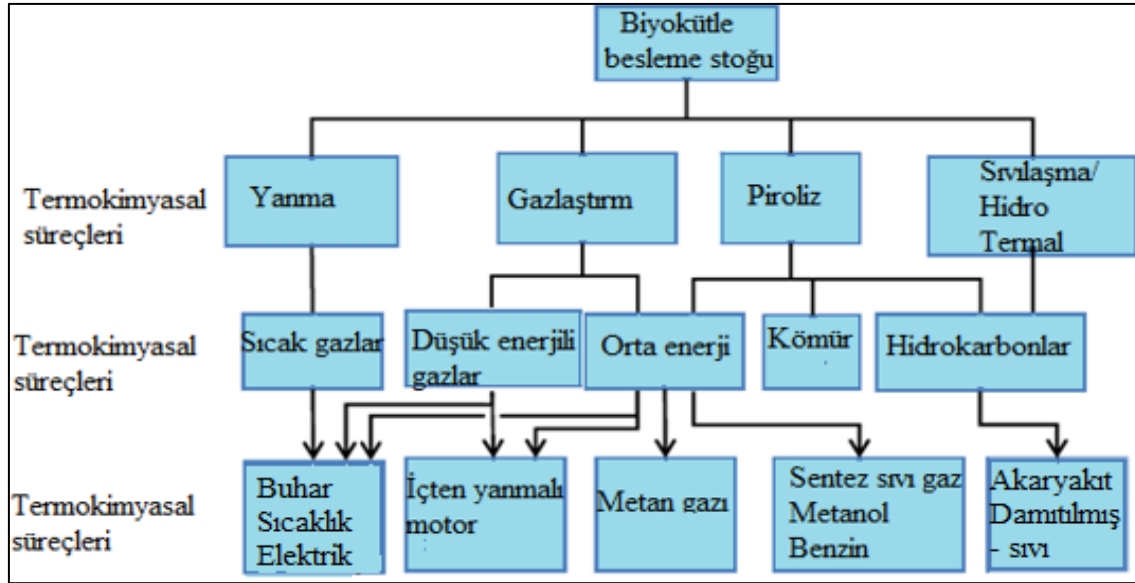
Ekstraksiyon, çeşitli biyokütle bitkilerinin tohumlarından yağ üretmek için kullanılan mekanik bir dönüştürme işlemidir. Bu işlem, yağ ve hayvan yemi için uygun bir artık katı üretir. Tohum yağı, biyodizel elde etmek için esterleştirme adı verilen bir işlem kullanılarak alkol ile reaksiyona sokularak daha da işlenebilir [33].

3.3.2. Termokimyasal dönüşüm süreçleri

Termokimyasal işlem, organik madde bağlarını parçalayan yüksek sıcaklıkları içerir. Bu işlem sırasında elde edilen ana yan ürünler biyoyakıt, sentetik gaz ve kömürdür. Bu sürecin ana avantajı, patojenlerin yok edilmesi, emisyonların azaltılması ve işlem süresinin azaltılması. Biyokütlenin termokimyasal dönüşümü, büyük biyokütlenin çeşitli yakıtlara ve yan ürünlere dönüştürülmesindeki esnekliği nedeniyle biyoenerjinin büyük ölçekli uygulaması için daha elverişlidir. Biyokütlenin termal parçalanması üç farklı yöntem ile gerçekleşmektedir; yanma, piroliz ve gazlaştırma. Tüm bu süreçler arasında, biyokütlenin gazlaştırılması yüksek enerji verimliliği nedeniyle en umut verici süreçtir [32]. Termokimyasal dönüşüm işlemlerinin avantajları aşağıdaki noktaları içerir;

- Reaksiyonların hızlı bir şekilde tamamlanması.
- Biyokütlenin büyük boyutunun azaltılması.
- Katı, sıvı ve gaz yakıtların üretimi.
- Genel olarak, termokimyasal işlemlerin tamamlanması için ek ısı gerekmez

Termokimyasal dönüşümden kaynaklanan ana işlemler ve nihai enerji ürünleri şematik gösterimi aşağıdaki gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Termokimyasal prosesler şeması [33]

Piroliz

Piroliz, katı, sıvı ve gaz halinde bir yakıt oluşturmak için oksijen olmadan veya az oksijen varlığında uygulanan ısı ile hammaddede kimyasal değişiklik olarak tanımlanır [34]. Bu yöntem, organik maddelerden kimyasalların, çözücülerin ve farklı yakıtların ekstraksiyonu için kullanılmaktadır. Piroliz üç ana tipe ayrılmaktadır; yavaş piroliz, hızlı piroliz ve flash piroliz [34]. Bu tipler sıcaklık, ısıtma hızı ve kalma süresi bakımından birbirinden farklıdır. Yavaş pirolizde (kömürleşme), ısıtma oranı diğer piroliz işlemlerine kıyasla çok daha yavaştır ve geleneksel olarak kömür üretmek için kullanılır. Bu teknolojiye biyokütle besleme stoğu düşük veya sabit bir sıcaklığa ısıtılır ve oluşan buhar sürekli olarak giderilir [35]. Hızlı piroliz, biyokütlenin katran elde etmek için oksijen olmadan daha yüksek bir sıcaklıkta (675-775 K) ısıtılması ile ilişkilidir [36]. Flaş pirolizinde ise ısıtma oranları yaklaşık 1000 °C /s'ye ulaşır. Katının bekleme süresi, reaktörün tipine bağlı olarak bir saniyeden az olabilir. Bu tip pirolizin en büyük avantajı, işlemin enerji verimliliğinin artmasıdır [37].

Gazlaştırma

Gazlaştırma, biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda, tipik olarak 800-900 °C aralığında ve kontrollü bir miktarda oksitleyici altında kısmi oksidasyonu ile yanıcı gaz oluşturmak için biyokütlenin parçalanmasıdır. Gazlaştırma, ilave edilen oksijenin tam yanma için gereken

stokiyometrik miktardan daha az olduğu kısmi oksidasyon işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işleminden çıkan gazlar esas olarak hidrojen (H_2), karbon monoksit (CO), bir miktar karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), az miktarda diğerk hafif hidrokarbonlardan (C_5H_{10}), su buharı (H_2O) ve azot (N_2) içerir ve bu gazlardan oluşan karışım sentez gazı olarak bilinir. Bu gaz, bir gaz türbini kullanılarak büyük sistemlerde elektrik üretmek için de kullanılabilir, ayrıca bir ulaşım yakıtı olarak da yararlanılabilir. Sentez gazı doğrudan içten yanmalı motorlarda, pistonlu motorlarda, mikro türbinlerde, karıştırma motorlarında, yakıt hücrelerinde yakılabilir. Ayrıca kimyasallar, sıvı yakıtlar, sentetik doğal gaz (SNG) veya hidrojen üretmek için tekrar işlenebilir.

Gazlaştırmanın yanmaya göre birçok avantajı vardır. Doğrudan yanma yerine gazlaştırma ile ısı ve elektrik üretmenin ana avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [37];

- Gaz motorları, gaz türbinleri ve yakıt hücreleri gibi gazlaştırma işleminde güç üretimi için çok sayıda seçenek kullanılabilir. Doğrudan yanma esas olarak buhar prosesleri, stirling motorları ve gaz türbinleri ile sınırlıdır.
- Gaz yakıtın yanma kontrolü (gazlaştırma) katı yakıtların yanma kontrolü (doğrudan yanma) ile karşılaştırıldığında daha kolaydır.
- Gazlaştırma işlemi doğrudan yanmadan daha temizdir, çünkü bazı bileşenlerin gazlaştırıcının kendisinde ve gaz temizleme sisteminde çıkarılabilmesi nedeniyle daha düşük emisyon üretir.
- Mevcut doğal gaz veya kömür santrallerine gazlaştırma işleminin entegre edilmesi, net CO_2 emisyonlarını azaltır.
- Hidrojen veya yüksek verimli hidrojen gazı karışımı üretilir
- Genel gazlaştırma verimliliği yanmadan daha yüksektir çünkü yanma özelliği iyileştirilmiş gaz yakıtları katı yakıttan daha verimli yanar.
- Çok çeşitli kimyasallar üretme imkanı sağlar.

Katran oluşumu gazlaştırmanın ana dezavantajlarından biridir. Genel olarak katranlar, yoğunlaşabilir hidrokarbonların bir karışımı olarak tanımlanır. Katranlar kimyasal veya fiziksel yöntemlerle üretilen sentez gazından çıkarılabilir. Kimyasal yöntemlerde, katran daha küçük moleküllere ayrışır. Ancak, fiziksel yöntemlerde katran, siklonlar, filtreler,

elektrostatik çöktürücüler ve yıkayıcılar gibi çeşitli cihazlar vasıtasıyla sentez gazından tamamen çıkarılır [38].

Yanma

Yanma işleminde, biyokütle içinde depolanan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, mekanik güce ve elektriğe dönüştürmek için fırın ve kazan gibi farklı cihazlar ve işlem kullanılır. Her türlü biyokütleyi yakmak mümkündür, ancak pratikte yanma sadece nem içeriği % 50'den az olan biyokütle için etkili uygulanabilir. Yüksek nem içeriğine sahip biyokütle biyolojik dönüşüm süreçlerine daha uygundur. Yakma tesisinin ölçeği çok küçük ölçekli (örneğin evsel ısıtma için) ile 100-3000 MW arasında değişen büyük ölçekli sanayi tesislerine kadar uzanmaktadır [39].

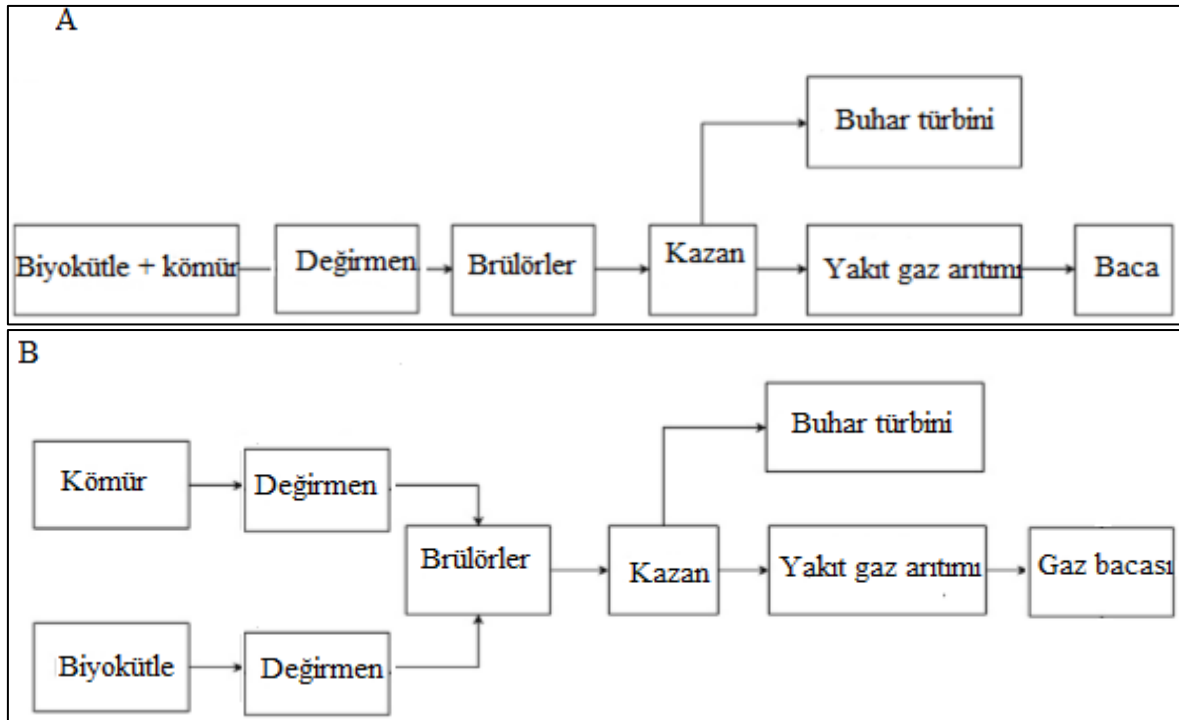
Biyokütlenin diğer yakıtlarla birlikte yakılması (Birlikte yakma)

Birlikte yakma, elektrik üretmek için biyokütlenin bir kazandaki kömür veya doğal gaz gibi diğer fosil yakıtlarla aynı anda karıştırılması ve yakılması olarak tanımlanır [40]. Mevcut enerji santrallerinde biyokütlenin fosil yakıt (çoğunlukla kömür) ile birlikte yakılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde payının artırılması ve CO₂ emisyonlarının azaltılması için faydalı bir seçenektir. Küresel ticari ölçekli çalışmalar ve denemeler, biyokütlelerin diğer yakıt türleriyle birleştirilmesinin ve çeşitli yanma teknolojilerinde kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir [41]. Son yılda, mevcut kömür kazanları ve gaz enerji santrallerinde çeşitli biyokütle yakıt formları yakılmıştır. Biyokütlenin diğer fosil yakıtlarla birlikte kullanılması sera gazı emisyonlarını en aza indirerek çevreyi korumak için çeşitli fırsatlar sunar [42]. Ekonomik açıdan , mevcut bir kömür santralini biyokütle ile birleştirmenin maliyeti, sadece biyokütle enerjisi için kullanılacak yeni sistemlerin inşa edilmesinden önemli ölçüde daha düşüktür. Tamamen biyokütle kaynakları ile enerji üretimi önemli çevresel faydalar sağlar. Fakat biyokütle kaynaklarının mevsimsel olarak değişken göstermektedir. Bunun yanı sıra dünyanın birçok yerinde tedarik altyapısı bakımından zayıf olduğundan da öngörülemeyen arz bakımından risk teşkil etmektedir. Yalnızca biyokütleden güç üretmenin diğer sakıncalarından birisi de, biyokütlenin düşük ısıtma değeri ve düşük kütle yoğunluğudur. Ancak birlikte yakılma işlemi ile yalnızca biyokütle yakılması sırasında karşılaşılabilecek bu zorlukların üstesinden gelinmiş olacaktır [40].

Biyokütlenin birlikte yakma sistemi genellikle üç teknolojik yaklaşım altında sınıflandırılır. Bu yaklaşımlar, kazan sistemi tasarımı ve işlemde kullanılacak biyokütlenin yüzdesi bakımından farklılık gösterir. Bu yaklaşımlar; doğrudan birlikte yanma, dolaylı birlikte yakma ve paralel birlikte yakma olarak sınıflandırılmıştır.

Doğrudan birlikte yakma

Doğrudan birlikte yakma çok basit bir yaklaşımdır, bir kazanda biyokütlenin kömürle yakıldığı en yaygın ve en ucuz yöntemdir. Şekil 3.4’de gösterildiği gibi, doğrudan birlikte yakma teknolojisinde biyokütle, baz yakıtla birlikte öğütüldükten (şekil 3.4.A) veya ayrı olarak öğütüldükten sonra doğrudan fırına beslenir (şekil 3.4.B). Yakıt karışımı daha sonra brülörde yakılır.

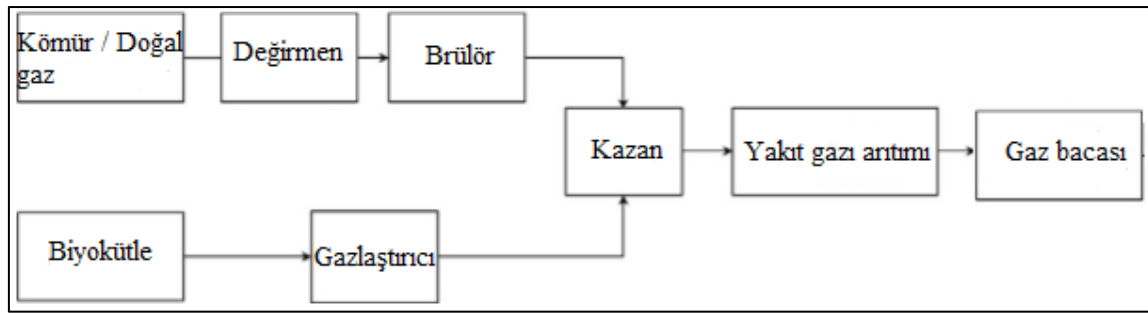


Şekil 3.4. Doğrudan biyokütle birlikte yakma sisteminde kullanılan teknolojileri
A: Biyokütlenin kömürle karıştırılması B: Ayrı biyokütle besleme düzenlemesi [40]

Dolaylı birlikte yakma

Bu teknolojiye, bir kömür veya gaz ateşleme sisteminde biyokütle başka bir yakıt ile birlikte yakılmaktadır. Dolaylı birlikte yanmanın iki şekli vardır: gazlaştırma bazlı birlikte yakma ve

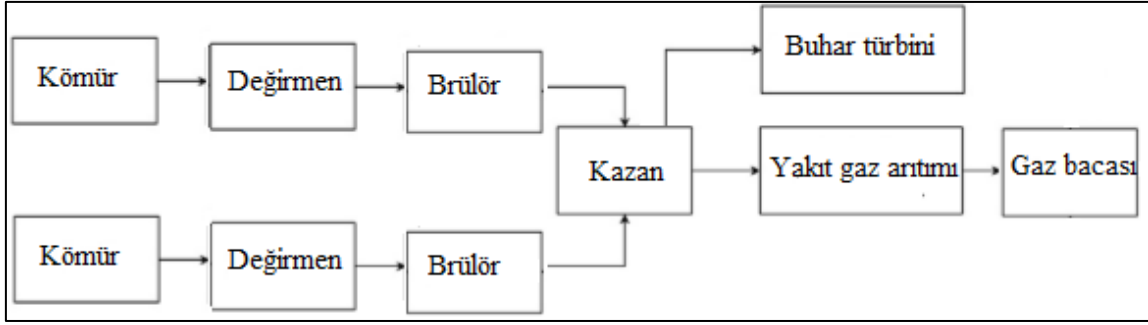
piroliz bazlı birlikte yakma. Gazlaştırma bazlı birlikte yakmada, biyokütle besleme stoğu sentez gazı üretmek için sürecin ilk aşamalarında bir gazlaştırıcıya beslenir. Bu sentez gazı daha sonra özel bir gaz brülöründe doğal gaz veya gazlaştırılmış kömür ile birlikte yakılmaktadır. Gazlaştırma işleminden üretilen sentez gazının net ısıtma değerinin, besleme stoğunun nem içeriği ile ters bir ilişkisi vardır. Piroliz bazlı birlikte yakma sisteminde, biyokütle biyoyağ gibi sıvı bir yakıtın yanı sıra katı kömür üretmek için yıkıcı bir damıtma işleminden geçer. Daha sonra bu biyoyağ, bir güç istasyonunda doğal gaz gibi bir baz yakıt ile yakılmaktadır. Dolaylı birlikte biyokütle yakma sistemi şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Dolaylı biyokütle birlikte- yakma teknolojileri [40]

Paralel biyokütle birlikte yakma

Paralel biyokütle birlikte yakma teknolojisinde, biyokütlenin ön işleme, besleme ve yanma aşamaları, şekil 3.6’de gösterildiği gibi ayrı, özel biyokütle brülörlerinde gerçekleştirilir. Bu sistemde buhar üretmek için tamamen ayrı harici bir biyokütle brülör kullanılır. Sonra bu üretilen buhar, güç santralinde elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Paralel biyokütle birlikte yakma sistemi, kazanda kullanılacak daha yüksek biyokütle yakıt yüzdeleri için fırsat sunar. Bu teknoloji ayrıca, mevcut kazan ünitesine paralel çalışan ayrı ve özel biyokütle brülörlerinin bulunmasından dolayı operasyonel riski azaltır. Bu teknolojinin birçok faydasına rağmen, özel kazan sistemi kurmak nedeniyle başka sistemlerden daha pahalıdır. Uygulama alanları açısından endüstriyel kağıt hamuru ve kağıt tesislerinde yaygındır [40].



Şekil 3.6. Paralel biyokütle Birlikte yakma teknolojisi [40]

3.3.3. Biyokimyasal dönüşüm süreçleri

Biyokimyasal dönüşüm, biyokütlenin fermentasyon ve anaerobik sindirim yoluyla biyoyakıtlara dönüştürülmesini içerir.

Anaerobik bozulma

Anaerobik bozulma, oksijen olmadan yüksek nemli organik atıkların biriktiği her yerde doğal olarak meydana gelir. Bu sürecin ana ürünü biyogazdır. Anaerobik süreçler doğal olarak veya biyogaz tesisi gibi kontrollü bir ortamda uygulanabilir [43]. Anaerobik bozulma sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Alkollü fermentasyon

Fermentasyon, şeker ve yüksek miktarda nişasta içeren ürünlerden etanol üretmek için kullanılır. Motor yakıtı olarak etanol kullanımı uzun bir geçmişe sahiptir. Fermentasyonun genel kimyasal işlemi, glikoz şekerini ($C_6H_{12}O_6$), alkole (CH_3CH_2OH) ve karbon dioksit gazına (CO_2) dönüştürmektir [43]. Fermentasyon işleminden elde edilen katı tortu, sığır yemi olarak kullanılabilir [33].

4. BİYOGAZ

4.1. Biyogaz Teknolojisi Tarihi

Eski uygarlıklarda biyogaz kullanımı olduğuna dair kanıtlar vardır. Biyogazın M.Ö. 10. yüzyılda Asur'da banyo suyunun ısıtılmasında kullanıldığı bilinmektedir. Marco Polo, M.S. 13. yüzyılda Çin'de ısı üretmek için kanalizasyon suyundan yararlanıldığını keşfetmiştir. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont, çürüyen organik maddelerin yanıcı gaz ürettiğini belirlemiştir. Ek olarak, 1808'de Sir Humphrey Davy, sığır gübresi yığınlarında üretilen gazlarda metanın bulunduğunu keşfetmiştir [44]. Arap ülkelerinde biyogaz tesislerinin uygulanması 1970'lerde Mısır, Fas, Sudan ve Cezayir'de başlamıştır. Ayrıca 1980'lerde Irak, Ürdün ve Yemen gibi diğer Asya Arap ülkelerinde başlamıştır. Mısır'da 1998 yılında inşa edilmiş 18 biyogaz tesisi vardır. Filistin, enerji kaynağı olarak kullanılabilecek farklı türlerde bitkisel ürünlere sahiptir. Bu ürünlerin ana türü, kışın ısınma için evde kullanılan pirinadır. Hayvan gübresi Filistin'deki en önemli enerji kaynaklarından biridir. Arap ülkelerindeki biyogaz tesislerinin sayısı diğer ülkelere göre çok azdır. Çin, 4.5 milyon biyogaz çürütücü tesisi ile dünyadaki en büyük biyogaz programına sahiptir. Ardından Hindistan, 200000 adet biyogaz çürütücü tesisi ile ikinci olmaktadır [19]. Kaliforniya Enerji komisyonu web sitesine göre, California 2006 yılında yaklaşık 60 milyon ton biyokütle üretmiştir. Amerika, Kanada ve Batı Avrupa'da anaerobik bozulma esas olarak 1970'lerin ortalarına kadar hayvan gübresi işlemek için kullanılmış [19]. Türkiye'de biyogaz üretimi ile ilgili çalışmalara yaklaşık altmışlı yıllarda araştırma enstitüleri ve devlet üretme çiftliklerinde başlamıştır. Eş zamanlı olarak aynı yıllarda akademik olarak sürdürülen bu çalışmalar geliştirilerek, Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde bir biyogaz üretici kurulmuştur [45]. 1980'den beri Türkiye'de biyogaz teknolojisinin gelişimi giderek artmaya başlamıştır. 1980'den önce, üniversitelerden ve devlet kurumlarından birkaç bireysel kişinin çabalarıyla biyogaz alanında araştırmalar yapılmıştır ve çok az teknik bilgi mevcuttur. 1980 yılında Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF) ile Türk hükümeti arasında ülkede biyogaz araştırması düzenlemek için bir anlaşma imzalanmıştır. Bu da biyogaz teknolojisinin ilerlemesi için yeni ufuklar açmıştır. Bu anlaşma ile UNICEF hem teknik yardım hem de ekonomik destek sağlamıştır. Proje, birkaç bakanlık ve enstitü arasında koordine edilmiştir. Konya, Sivas, Polatlı-Ankara ve Erzurum'un çeşitli yerlerinde gelişmiş çürütücüler tasarlanmış ve kurulmuştur. 1982 yılında kırsal alanlarda kullanılmak üzere 6,

8, 12 ve 50 m³ kapasiteli yaklaşık 1000 biyogaz çürütücü kurulmuştur. Hükümet ayrıca köylülere yıllık %16 oranında kredi faiziyle 2 milyon TL'ye kadar kredi sağlamaktadır [46]. Türkiye'nin biyoyakıt üretiminde 2005 yılına göre 2011 yılında 2,2 katlık bir artış olmuştur[47]. Günümüzde biyogaz ile ilgili çalışmalar, yüksek lisans ve doktora tezlerinin en önemli konularını oluşturmaktadır. Aynı zamanda farklı biyogaz üretim tesisleri mevcuttur. Türkiye'de EPDK (Enerji Piyasası Denetleme Kurumu)'nın yıllık raporları incelendiğinde, biyogaz teknolojisinin zamanla gelişimini net bir şekilde görmek mümkündür.

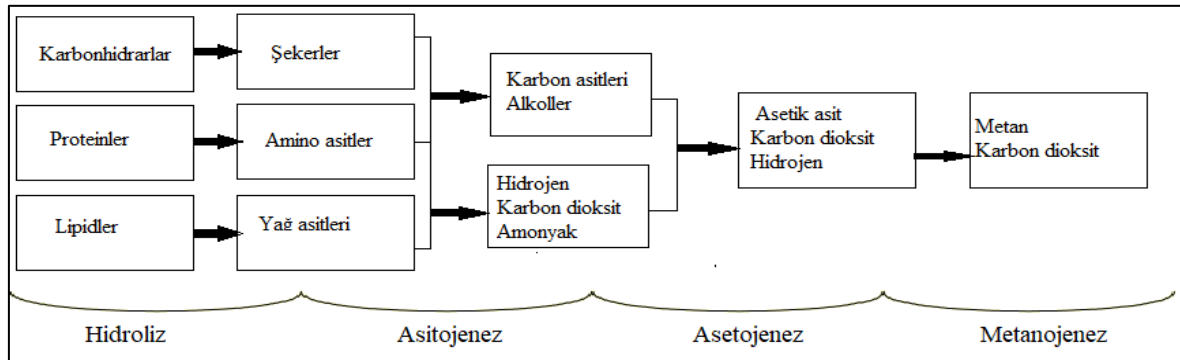
4.2. Anaerobik Bozulma Aşamaları

Anaerobik bozulma, oksijen yokluğunda karmaşık yapıli organik maddelerin ayrışması temeline dayanan mikrobiyolojik bir işlemdir. Bu işlemin temel ürünü metandan (CH₄) ve karbon dioksitten (CO₂) oluşan bir gaz karışımıdır. Metan gazı enerji üretimi için kullanılır. Çamur kalıntısı işlemin ikinci ürünü olarak, toprak iyileştirme ve bitkiler gübreleme için kullanılabilir. Bozulma işlemleri dört ana aşamada gerçekleşmektedir; hidroliz, asidojenez, asetojenez ve metanojenez. Bozulma işlemi tamamlamak için çeşitli mikroorganizma türleri görev alır. Bunlar hidroliz bakterileri, asidojenik bakterileri, asetojenik bakterileri ve metanojenik bakterileri. Şematik 4.1'de anaerobik bozulmanın genel sürecini özetlemiştir. İlk evrede suda çözünmeyen kompleks maddeler suda çözünebilir daha basit organiklere dönüştürülür. Karbonhidratlar şekere dönüştürülür, lipitler yağ asitlerine ayrılır ve proteinler amino asitlere ayrılır [48]. Bir sonraki adım olan asidojenezde suda çözünebilir moleküller asetik asite ve daha uzun uçucu yağ asitlerine, alkollere, karbon dioksit ve hidrojene dönüştürülür. Üretilen en başta gelen asitler asetik asit (CH₃COOH), propiyonik asit (CH₃CH₂COOH), bütirik asit (CH₃CH₂CH₂COOH) ve etanoldür (C₂H₅OH). İkinci aşamada oluşan ürünler asetojenez aşamada asetik asit ve hidrojene oksitlenir. Asetojenez reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir;



İşlemin son aşaması olan metanojenezde bakteriler tarafından metan ve karbondioksit üretmek için asetik asit, karbondioksit ve hidrojen kullanılır. Metanojenik bakterileri sıcaklık değişimlerine çok duyarlıdır. Metanojenez, sürecin en yavaş biyokimyasal reaksiyonu olduğu için tüm anaerobik sindirim sürecinde kritik bir adımdır. Metanojenez

çalışma koşullarından ciddi şekilde etkilenir. Hammaddenin bileşimi, besleme hızı, sıcaklık ve pH, metanojenez sürecini etkileyen faktörlerin örnekleridir. Metanojenez reaksiyonları aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir [49].



Şekil 4.1. Anaerobik bozulma akım şeması [26]

Anaerobik fermantasyonun tüm evreleri fermantasyon tankında paralel olarak aynı zamanda olmaktadır. Toplam ayrışma işleminin hızı, en yavaş reaksiyonu ile belirlenir. Hidroliz sırasında nispeten az miktarda biyogaz üretilir. Biyogaz üretimi olan metanojenez sırasında zirveye ulaşır.

4.3. Biyogaz Üretimini Etkileyen Değişkenler

Biyogaz tesislerinin performansı, anaerobik bozulma prosesinin etkin bir şekilde çalışmasına bağlıdır. Biyogaz tesisinin yüksek düzeyde etkili bir şekilde çalıştırılması için aşağıdaki parametreler istenen aralıkta tutulmalıdır.

4.3.1. Sıcaklık

Anaerobik sindirim işlemi farklı sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Bu sıcaklık üç ana aralığa ayrılabilir; psikrofilik (10-20 °C), mezofilik (25-38 °C) ve termofilik (44-57 °C). Anaerobik reaktörde kullanılan en yaygın sıcaklık aralığı mezofilik (35 °C'de optimum) ve termofiliktir.

(optimum olarak 55 °C’de) [50]. Pratikte mezofilik ve termofilik sindirim işlemlerinde en çok kullanılanlarıdır. Gaz üretimi oranı sıcaklığa duyarlıdır ve genel olarak, bozulma yüksek sıcaklıkta daha hızlıdır [50]. Biyogaz tesisinin tasarımında, işlem için uygun bir sıcaklık seçmek önemlidir, çünkü 1°C’lik bir değişiklik dahi organizmaları etkisiz hale getirebilir [51]. Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi, proses sıcaklığı ile hidrolik alıkoyulma süresi (HAS) arasında doğrudan bir ilişki vardır.

Çizelge 4.1. Termal aşama ve HAS [45]

Bakteri	Sıcaklık	Alıkoyulma süresi(gün)
Psikrofilik	<20 °C	70- 80
Mezofilik	30 – 40 °C	30-40
Termofilik	43 -55 °C	15-20

Anaerobik fermentasyon işlemin gerekli sıcaklığı genellikle çürütücü içindeki zemin veya duvar ısıtma sistemleri tarafından sağlanır. Çalışma sıcaklığı amonyak toksisitesini etkiler. Amonyak toksisitesi artan sıcaklıkla artar ve işlem sıcaklığı düşürülerek azaltılabilir. Bununla birlikte, sıcaklığı 50°C veya altına düşürürken, termofilik mikroorganizmaların büyüme hızı önemli ölçüde düşürür ve mikrobiyal popülasyonun artmama riski oluşur[52]. Çeşitli bileşiklerin (NH₃, H₂, CH₄ ve H₂S) çözünürlüğü de sıcaklığa bağlıdır. Bu, işlem üzerinde engelleyici etkisi olan malzemeler için büyük önem taşır. Sindirim işlemi sırasında sabit bir sıcaklığın korunması çok önemlidir, çünkü sıcaklıktaki değişiklikler veya dalgalanmalar biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir.

Termofilik işlemin faydaları

Termofilik işlem mezofilik ve psikrofilik işlemlere göre daha faydalıdır. Bundan dolayı birçok modern biyogaz tesisi, termofilik işlem sıcaklıklarında çalışmaktadır. Termofilik işlemin faydaları aşağıdaki gibi listelenmiştir [26];

- Metanojenik bakterilerin daha yüksek büyüme oranı.
- Termofilik sıcaklık alıkoyulma süresini azaltır, süreci daha hızlı ve daha verimli hale getirir.
- Organiklerin sindirilebilirliğini artırır.
- Katı organik maddelerin daha iyi ayrışmasını sağlar.

- Sıvı ve katı maddelerin ayrılmasını kolaylaştırır.

Termofilik sürecin birçok faydasına rağmen, aşağıdaki bazı dezavantajları vardır [26];

- Yüksek kararsızlık derecesine sahiptir.
- Yüksek amonyak inhibisyonu riski mevcuttur.
- Yüksek sıcaklık nedeniyle daha büyük enerji talebine sahiptir.

Isıtma sistemi

Çürütücü içindeki sabit proses sıcaklığı, istikrarlı çalışma ve yüksek biyogaz verimi için en önemli koşullardan biridir. Mevsimsel değişiklikler ve hava koşullarından kaynaklanan sıcaklık dalgalanmaları çürütücü içinde mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Büyük sıcaklık dalgalanmaları anaerobik bozulma sürecinin dengesizliğine ve en kötü durumlarda işlem başarısızlığına yol açar. Sıcaklık dalgalanmalarının nedenleri aşağıda sıralandığı gibidir [26];

- Farklı sıcaklıkta yeni hammadde ilavesi
- Yetersiz yalıtım, ısıtma sisteminin etkisiz veya yanlış boyutlandırılması veya yetersiz karıştırma nedeniyle sıcaklık katmanlarının veya sıcaklık bölgelerinin oluşumu
- Yetersiz ısıtma elemanları
- Yaz veya kış aylarında aşırı dış ortam sıcaklıkları

Sabit bir proses sıcaklığı elde etmek ve ısı kayıplarını telafi etmek için, fermantasyon tankı harici ısıtma kaynakları tarafından ısıtılmalı ve yalıtılmalıdır. Fermantasyon tankı ısıtmak için en sık kullanılan ısı kaynağı biyogaz tesisinin kojenerasyon ünitesinden (CHP) çıkan atık ısıdır. Besleme malzemenin ısıtılması, besleme işlemi sırasında (ön ısıtma), ısı değiştirici ile yapılabilir veya çürütücü içinde ısıtma elemanları ile yapılabilir (Resim4.1). Besleme malzemesinin ön ısıtılması, çürütücüdeki sıcaklık dalgalanmalarından kaçınma avantajına sahiptir.



Resim 4.1. Fermantasyon tankı içindeki ısıtma boruları [26]

4.3.2. pH değeri

pH değeri, bir çözeltinin asitliğini/alkalinitesini ölçmenin bir yoludur. Anaerobik bozulma sürecindeki pH değeri, metanojenik mikroorganizmaların büyümesini ve bazı bileşiklerin (amonyak, sülfat, organik asitler) ayrışmasını etkiler. Metan oluşumu yaklaşık 5,5 ila 8,5 arasında bir pH aralığında gerçekleşir. Metanojenikler için optimal pH aralığı 7,0 ila 8,0 arasındadır. Asidojenik mikroorganizmalar genellikle daha düşük optimum pH değerine sahiptir [53]. pH değeri, proteinlerin parçalanması sırasında üretilen amonyak veya besleme akışında amonyak varlığı ile arttırılabilir. Uçucu yağ asitleri (VFA) birikimi pH'ı düşürür. Fermantasyon tankı içindeki pH, kısmi CO₂ basıncına ve sıvı fazdaki alkalın ve asit bileşenlerinin konsantrasyonuna bağlıdır [53]. pH değeri 5'ten az olduğunda biyogaz üretimi önemli ölçüde düşer (bu koşullar altında bakteri sayısı çok azalmıştır) [54].

4.3.3. Organik yükleme oranı

Organik yükleme oranı, birim hacim (m³) biyo çürütücü başına beslenen organik madde olarak bilinir. Yükleme hızının yüksek olması metan üretimi ile ters orantılıdır, dolayısıyla yükleme hızının optimize edilmesi önemlidir. Bununla birlikte, tesisin yetersiz beslenmesi düşük gaz üretimine ve ekonomik olarak etkin olmayan işlemlere yol açar [55].

4.3.4. Alıkoyulma süresi

Alıkoyulma süresi, atıktaki organik maddenin mikroorganizmalar tarafından tamamen çürütülmesi için gereken ortalama süredir. Mikroorganizmalar (organik maddeyi parçalayanlar), sindirim oranını kontrol eder ve bu nedenle, organik maddenin reaktörde ne kadar süreyle bulunması gerektiğini belirler[56]. Hidrolik alıkoyulma süresi (HAS) günden güne veya mevsimden mevsime değişebilir. Tropikal bölgelerde HAS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür [57]. Hidrolik alıkoyulma süresi, çürütücünün boyutunu ve maliyetini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Hidrolik alıkoyulma süresi (HAS) organik maddenin bileşimine, mevcut spesifik teknolojiye, reaktör tipine ve işlem sıcaklığına bağlıdır. Hidrolik alıkoyulma süresini azaltmak reaktörün boyutunu azaltır ve maliyet tasarrufu sağlar. Bu nedenle, daha kısa HAS'nde tam bir çürütme prosesi elde edilebilecek anaerobik çürütücüyü tasarlamak için büyük bir çaba göstermek gerekmektedir [12]. HAS yeterli değilse, bakteriler reaktörden daha hızlı kaçır ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu biyogazın üretiminin miktarı azalmasına neden olur. Sindirim işlemi gerektiği gibi gerçekleşmez. Bu sorun bazen tarımsal biyogaz tesislerinde görülür. HAS sıcaklıktan açıkça etkilenmiştir. Biyoreaktör sıcaklığı arttıkça, HAS azalır [57].

4.3.5. Zehirli maddeler

Bakteri gelişimi için bakır, nikel, krom, çinko ve kurşun gibi az miktarda ağır metaller gereklidir. Ancak bu metallerden daha yüksek miktarlar kullanıldığında ve düşük sıcaklıklarda toksik bir etki oluşturabilirler[58]. Mineral iyonları, ağır metaller ve deterjanlar, anaerobik çürütücülerde normal bakteri üremesini engelleyen toksik maddelerden bazılarıdır. Aşağıdaki Çizelgede çeşitli toksik maddelerin sınır konsantrasyonunu gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Anaerobik arıtmada engelleyicilerin engelleme seviyesi [58]

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/L)
Sülfat (SO_4^{2-})	5,000
NaCl ve Genel Tuzlar	40,000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0,05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom(Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum(Na^{+1})	3,500-5,500
Potasyum(K^{+1})	2,500-4,500
Kalsiyum(Ca^{+2})	2,500-4,500
Magnezyum(Mg^{+2})	1,000-1,500
Mangan (Mn^{+2})	1,500 üzeri

4.3.6. Mevcut besin öğeleri

Bakterilerin büyümesi için organik maddeler yoluyla bir karbon ve enerji kaynağı sağlamanın yanı sıra, diğer mineral besinlere de ihtiyaç duyulur. Biyokütle üretimi için karbon, oksijen ve azot haricinde yeterli miktarda kükürt, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kobalt, çinko, selenyum ve nikel gibi eser miktarda elementlere de gerek vardır [55].

4.3.7. Karbon / azot oranı

Hayvan gübresinden biyogaz üreten sistemlerde C/N oranı 20/1 ile 30/1 arasında değişmektedir. Taze hayvan gübresi çoğunu bu oranı elde edebilir [45]. C/N oranı belirli bir oranda korunmalıdır. Aksi takdirde tüm süreci olumsuz şekilde etkileyecektir. C/N oranı optimum değerden yüksekse, metanojenez aşaması sırasında mikrobiyal gruplar çok azot tüketecek ve biyogaz üretiminin azalmasına neden olacaktır. Tersine, düşük C/N oranı çürütücüde pH seviyesinde artışa neden olacaktır. pH 8,5'ten yüksekse, bakteri popülasyonu üzerinde toksik bir etki yaratır [59]. Genellikle, organik katıların kanalizasyon veya hayvan gübresi ile karıştırılmasıyla optimum C/N oranı elde edilmektedir [56]. Aşağıdaki Çizelgede farklı malzeme için C/N oranı gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Bazı organik maddelerin C/N oranı

Ham Maddeler	C/N oranı
İnsan dışkısı	8
Çimen	12
İnek dışkısı	24
Keci dışkısı	12
Koyun dışkısı	19
Tavuk dışkısı	10
Ördek	8
Buğday samanı	130

4.3.8. Uçucu yağ asit

Uçucu yağ asit (VFA), asidojenez sırasında üretilen ve altı atoma kadar bir karbon zinciri olan bileşiklerdir (asetat, propionat, butirat, laktat). Çoğu durumda, anaerobik sidirim sürecinin dengesizliğinden dolayı çürütücü içinde VFA birikmektedir (bu da pH değerinde bir düşüşe yol açabilir) [26].

4.4. Biyogaz Bileşenleri ve Özellikleri

Biyogazın anaerobik çürütülmesinden kaynaklanan enerji içeriği, kimyasal olarak metanda depolanır. Biyogaz, yoğunluğu 1.2 kg/m^3 [60]. Oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700°C , alev sıcaklığı 870°C olan bir gaz karışımıdır [45]. Biyogazın bileşiminde % 40'dan az metan olduğunda yanma için uygun olmamaktadır [61]. Çizelge 4.4'de biyogazın bazı ortalama kompozisyon değerleri listelenmiştir [26]. Biyogazın yakıt değerini belirleyen, karışımdaki metan gazıdır. Saf metan 9100 kcal/m^3 ısı değerine sahiptir. Biyogazın ısı değeri ise karışımın içerisindeki metan oranına bağlı olarak $4800\text{-}6900 \text{ kcal/m}^3$ arasında değişmektedir [61].

Çizelge 4.4. Biyogazın bileşimi

Bileşik	İçerik	Ortalama değer
Metan	45-70%	60%
Karbon dioksit	25-55%	35%
Su buharı	0-10%	3-10%
Oksijen	0,01-5%	1%
Azot	0,01-2%	0,3%
Hidrojen	0-1%	<1%
Amonyak	0,01-2,5 mg/m^3	0,7%
Hidrojen sülfid	10- 3000 mg/m^3	<500 mg/m^3

Karbondioksit kokusuz ve renksiz gazdır. Hidrojen sülfür renksiz, toksiktir ve çürük yumurta gibi kokar [62]. Karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve su buharı aşındırıcı maddeler olarak kabul edilir. Tüm bileşenleri ile biyogaz renksiz, kokusuz ve havadan daha hafif bir gazdır [62]. Aşağıdaki Çizelgede CH_4 'ün özelliklerini gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. CH_4 'ün ana özelliği [12]

Fiziki özellikleri	Form: kokusuz, renksiz gaz Kararlılık: kararlı Erime noktası: -182°C Kavnama noktası: -164°C Alevlenme noktası: -1221°C su çözünürlüğü: 25 mg/L at 20°C yoğunluk: $0,717 \text{ kg/m}^3$ at 20°C
Tehlikeler	Metan gazı (CH_4) çok yanıcıdır CH_4 oksijen, halojen ve interhalojen bileşiği gibi oksitleyici maddelerle şiddetli reaksiyona girebilir. yüksek metan konsantrasyonu boğulmaya neden olur
Güvenlik prosedürleri	Güvenlik gözlükleri takma Ana tehlike yangın ve patlamadan kaynaklanır, bu nedenle iyi havalandırılan bir alanda ve ateş kaynaklarından uzakta çalıştığınızdan emin olmalı
Acil durum	Göz teması: oluşması muhtemel değildir Ten teması: oluşması muhtemel değildir Solunursa: Gaz kaynağından çıkarın , solunan miktar büyükse veya nefes kesildiyse derhal tıbbi yardım isteyin

Metan gazı yanma ve termal değerleri açısından diğer yanıcı gazlara benzemesine rağmen fiziksel özellikler bakımından onlardan (özellikle propan ve bütan) farklıdır. Yanıcı gazlar düşük basınç ve oda sıcaklıklarında sıvılaşırken, biyogazın sıvılaştırılması için çok yüksek basınç ve düşük sıcaklık gereklidir [63]. Metan renksiz, kokusuz ve dengeli bir gazdır. 20 °C’de yaklaşık 0.717 kg /m³ yoğunluğa sahiptir. CH₄ çok yanıcıdır. CH₄, oksijen, halojen veya halojen bileşikler gibi güçlü oksitleyici elementlerle şiddetli veya patlayıcı reaksiyona girebilir. Biyogazdaki tipik bileşenler ve safsızlıklar Çizelge 4.6’de verilmiştir. Gaz bileşenleri belirli aralıklarla düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Çizelge 4.6. Biyogazın karakteristik bileşenleri ve safsızlıkları [64]

Bileşik	İçerik	Etki
CO ₂	%25-50	-Kalorifik değeri düşürür. -Metan içeriğini ve sistem çalışmasını artırır. -Gaz ıslak ise korozyona neden olur.
H ₂ S	%0-0,05	-Ekipman ve boru sistemlerinde aşındırıcı etki yapar. -Yanma sonrası SO ₂ emisyonları veya tam yanmama sonucu H ₂ S emisyonları oluşur(Sınır değer % 0,1 olmalıdır.)
NH ₃	%0-0,05	-Yanma sonucu oluşan NO _x emisyonları yakıt hücrelerine zarar verir.
Su Buharı	%1-5	-Ekipman ve boru sistemlerinde aşındırıcı etki yapar. -Boru sistemi ve nozullarda donma riski oluşturur.
Toz	>5µm	-Nozulları ve yakıt hücrelerini tıkar.
N ₂	%0-5	-Kalorifik değeri düşürür.
Siloksan	0-50mg/m ³	-Motor sistemlerine zarar verir ve aşındırır.

4.5. Biyogaz Kullanımı Teknolojileri

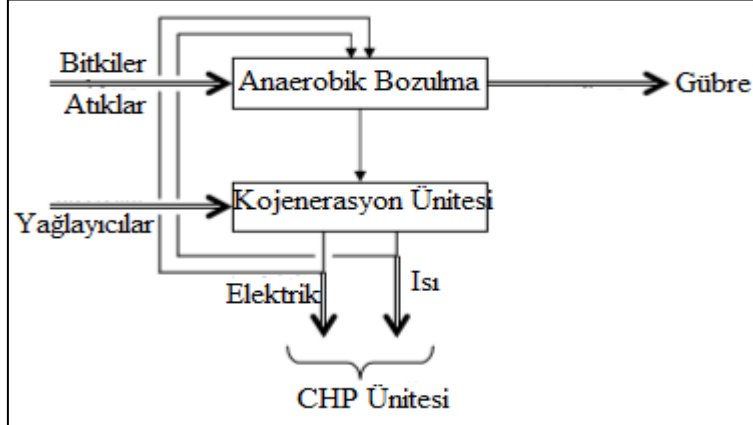
Biyogaz, gaz kaynağına ve kullanım amacına göre çeşitli yöntemlerde kullanılabilir. Genellikle, biyogaz ısı ve güç üretimi için kullanılan kojenerasyon proseslerinde ve bunun yanı sıra araç yakıtı olarak kullanılmaktadır.

4.5.1. Doğrudan yanma

Biyogaz kullanmanın en basit yolu, kazanlarda, brülörlerde veya ocaklarda doğrudan yanmadır. Bu yöntem, evsel işleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyogaz ısı üretimi için yakılabilir veya boru hattı ile son kullanıcıya taşınabilir [26].

4.5.2. Kojenerasyon tesisleri

Birlik ısı ve güç (CHP) üretimi, gelişmiş biyogaz sektörüne sahip olan ülkelerde biyogazın çok verimli bir kullanım yöntemidir. Genel olarak CHP enerji santrali % 90'a bir verime sahiptir ve % 35 elektrik ve % 65 ısı üretir. Biyogazdan üretilen elektrik, pompalar ve kontrol sistemleri gibi elektrikli cihazlar için proses enerjisi kaynağı olarak kullanılabilir. Birçok ülkede üretilen elektriğin tamamı şebekeye satılır ve işlem elektriği aynı ulusal elektrik şebekesinden satın alınır. Üretilen ısıya göre bir kısmı çürütücülerin ısıtılması için kullanılır [26]. Biyogazın kojenerasyon ünitesi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Biyogazın kojenerasyon ünitesi [65]

4.5.3. Biyogaz mikro türbinleri

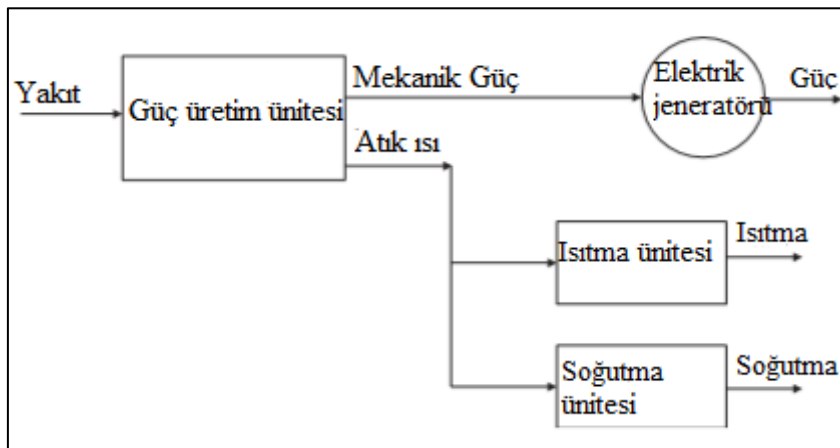
Biyogaz mikro türbinlerinde, hava yüksek basınçta bir yanma odasına sıkıştırılır ve biyogaz ile karıştırılır. Hava-biyogaz karışımı yakılarak sıcaklık artışına ve gaz karışımının genişlemesine neden olur. Sıcak gazlar elektrik jeneratörüne bağlı olan bir türbin yoluyla salınır. Biyogaz mikro türbinlerinin maliyeti yüksektir, bu nedenle bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmaları gelecekteki modeller için maliyet azaltmayı hedeflemektedir [26].

4.5.4. Yakıt hücreleri

Yakıt hücreleri, bir reaksiyonun kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Gaz halindeki bir yakıt olarak, biyogaz yakıt hücresinin anotuna (negatif elektrot) sürekli beslenir ve oksidan sürekli katoda (pozitif elektrot) beslenir. Elektrotlarda elektrik akımı üreten bir elektrokimyasal reaksiyon gerçekleşir [26].

4.5.5. Biyogaz yakıtlı trijenerasyon sistemi

Trijenerasyon genellikle tek bir enerji kaynağından soğutma, ısıtma ve güç üretimidir. Birleşik soğutma, ısıtma ve güç (CCHP) olarak bilinir. Trijenerasyon tesisinde, gaz türbini gibi bir üretim biriminden gelen atık enerji, hem ısıtma hem de soğutma sistemlerini çalıştırmak için kullanılır. ABD, Çin, Brezilya, Rusya ve Japonya gibi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hükümetlerinin CCHP sistemlerinin kullanımını desteklemek için farklı mekanizmalar kullandıkları görülmüştür [66]. Trijenerasyon ile enerji üretmek, enerji üretim tesisine birçok avantaj getirir. Tesis verimliliğini artırır, kayıpları ve israfı azaltır, işletme maliyetlerini azaltır, sera gazı emisyonlarını azaltır, kaynak kullanımını iyileştirir, kullanılan alet ve ekipman sayısını azaltır, üretim seçeneklerini artırır, tesis ve işletme güvenilirliğini artırır. Trijenerasyon tesislerinin daha yüksek tesis verimliliği, azaltılmış kayıplar ve atıklar, işletme maliyetinde azalma, sera gazı emisyonlarının azaltılması, kaynakların daha iyi kullanımı, kullanılan alet ve ekipman sayısının azaltılması, çoklu üretim seçenekleri gibi birçok avantajı vardır [67]. Trijenerasyon tesisi birimleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Trijenerasyon tesisi şematığı [67]

Şekil 4.3'e göre trijenerasyon tesisi dört ana üiteden oluşur;

- Güç üretim ünitesi (gaz türbini gibi)
- Soğutma ünitesi (anaerobik bozulmasorpsiyonlu soğutucu gibi)
- Isıtma ünitesi (kazan gibi)
- Elektrik jeneratörü

Son araştırmalar yenilenebilir enerjilerin bir trijenerasyon sistemi kaynağı olarak kullanılmasının önemine odaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji arasında biyokütle, diğer yenilenebilir enerjiler normal çalışma modlarında (rüzgar gibi) yeterli ısı üretmediği veya yerel olarak çok sınırlı olduğu için CCHP sistemleri için en umut verici enerji kaynağı gibi görünmektedir. Biyogaz, trijenerasyon sisteminin ana yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Bu sistem, soğutma, ısıtma ve elektrik üretimi için biyogaz yakıtlı trijenerasyon sistemi olarak bilinir (BCCHP). Son birkaç yılda biyogaz yakıtlı trijenerasyon sistemi ile ilgili birçok araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. BCCHP sisteminin ana kullanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir [68].

- Çürütücüye gerekli Isıtmanın sağlanması
- Çiftliklerde tarımsal ürünlerin kurutulması
- Farklı gıda endüstrisinde teknolojik amaçlar için suyun ısıtılması
- Hammaddelerin soğutulması , örneğin: meyve suyu konsantrelerinin depolanması,
- Havanın soğutulması
- Fanlar ve pompalar gibi makineleri ve teknolojik cihazları sürmek için elektrik üretilmesi

4.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Biyogaz üretiminin en önemli avantajlarından biri, hammaddelerinin bulunabilirliği ve çeşitliliğidir. Biyogaz üretmek için birkaç matireal kullanılabilir (özellikle yüksek nemli katı organik atık). Biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılan organik atıklar aşağıda listelenmiştir [60];

- Hayvan gübreleri
- Kanalizasyon ve dip çamuru

- Tarımsal atıkları
- Evsel katı atıkla
- Belediye atıkları
- Biyolojik atıksu arıtma çamurları
- Zirai atıklar
- Bahçe atıkları
- Gıda endüstrisi katı atıklar(çikolata, maya, süt,sebze, meyve, tahıl ve Şeker vb)
- Orman endüstrisi atıkları
- Kağıt endüstrisi atıkları
- Yemek atıkları
- Deri ve tekstil endüstrisi atıkları
- Yenilenebilir hammaddeler

Biyokütle kaynaklarının türleri aşağıdaki Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Biyogaz kaynaklarının türleri [69]

Anaerobik bozulma prosesinde hayvan gübresinin hammadde olarak kullanılması, aşağıdaki özellikleri nedeniyle bazı avantajlara sahiptir [26];

- Anaerobik bakterilerin doğal içeriği.
- Hayvan yetiştiriciliğinden kalıntı olarak toplandığı için elde edilmesi kolaydır.

- Hayvan gübresinin yüksek su içeriği, biyokütlenin uygun şekilde karıştırılmasını ve akmasını sağlar.
- Ucuz hayvan gübresi fiyatı.

4.7. Biyogaz Teknolojisinin Çevresel ve Sosyo-Ekonomik Etkileri

Biyogaz tesislerinin inşası sadece işletmeye değil, aynı zamanda topluma ve ülke ekonomisine de birçok olumlu çevresel ve sosyo-ekonomik etki vermektedir.

4.7.1. Çevresel etkiler

Biyogaz tesisleri için besleme malzemesi olarak organik atıklar (hayvan gübresi, bitki atıkları, evsel organik atıklar, atık su) kullanılması atık yönetiminde en önemli tekniklerden biridir. Bu teknoloji başarıyla uygulandığında aşağıdaki ana etkiler elde edilebilir;

- Diğer bertaraf yöntemleriyle (yakma, depolama, doğrudan yanma veya birikme gibi) bertaraf edilecek atık hacminin azaltılması, böylece duman, toz ve gaz emisyonları gibi olumsuz etkileri ort anaerobik bozulma kaldırır. Biyogaz teknolojisi hava, toprak ve yüzey suyu kirliliğini azaltır.
- Hava kirleticilerini azaltmak, ormanları korumak, toprak erozyonunu azaltmak ve yakacak odun toplama sürecinde zamandan ve emekten tasarruf etmek gibi birçok çevresel fayda sağlayan enerji üretiminde fosil yakıtlarına bağımlılığını azaltmak.
- Anarobik bozulm, sera gazlarının azaltılmasına ve toplam emisyonun azaltılmasına katkıda bulunur.
- Çamur kalıntısının bitkisel gübreler olarak kullanılması kimyasalların kullanımını azaltır ve tüketici sağlığına olumlu geri dönüş sağlar.
- Sindirilen atıkların kokusu sindirilmemiş atıkların kokusundan çok daha azdır.
- Birikmiş atıkların anaerobik bozulma işlemi ile kaldırılması veya azaltılması, alan estetiğini artırmanın yanı sıra böcekleri ve diğer patojenleri azaltır.
- Anarobik bozulma prosesi için hammadde, yenilenebilir bir kaynaktır ve bu nedenle fosil yakıtlar gibi tükenmez, aynı zamanda net sıfır CO₂ ile temiz bir enerjidir.

4.7.2. Sosyo-ekonomik etkiler

Aşağıdakiler biyogaz santralleri inşa etmenin sosyo-ekonomik etkilerinden bazılarıdır;

- Yeni iş fırsatları sağlar.
- Aynı zamanda atıkların yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması ile sağlanan enerji sayesinde doğalgaz vb. gibi kaynaklara daha az para ödenmesini ve böylelikle tasarruf edilmesini sağlar.
- Üretilen biyogazın kullanılması ithal edilen doğal gaz ve diğer enerji kaynaklarının miktarını azaltır, böylece hükümet için tasarruf sağlar.
- Bitkileri gübreleme için sindirilmiş organik malzemeler kullanıldığından, yapay gübre kullanımını azaltır ve hem çiftçi hem de hükümet için para tasarrufu sağlar.

4.7.3. Olumsuz kısımları

Biyogaz üretim projeleri bazı riskler oluşturur ve potansiyel olumsuz çevresel etkilere neden olacaktır. Böyle projeler fazla inşaat ve operasyonel maliyetlerine sahiptir. Merkezi anaerobik bozulma tesislerinde ulaşım sorunu ciddi bir sorun haline gelebileceğinden, alternatif ulaşım yöntemleri araştırılmalıdır. Proje komşularının konforu da dikkate alınmalıdır. Sağlık ve güvenlik hakkında, hammaddelerin patojenik içeriği insan sağlığı için bazı risklere neden olabilir, ancak bu uygun bir tesis tasarımı ve hammadde hazırlama işlemi ile önlenabilir. Bunların yanı sıra, yangın ve patlama riski de olabilir [70].

4.8. Biyogaz Teknolojisinin Yaygınlaştırılmasında Kısıtlamalar

Çoğu toplumda biyogaz teknolojisinin yayılmasındaki temel sınırlamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [71];

- Biyogaz üretiminin istikrarsızlığı ve serin aylarda biyogaz üretiminin düşmesi.
- Biyogaz çürütücü yapımı için gerekli deneyim.
- Biyogazda, özellikle hidrojen sülfür ve amonyakta bazı toksik bileşenlerin bulunması.
- Yüksek biyogaz tesisi kurma maliyeti ve büyük biyogaz tesisinin inşaat maliyetini geri almak için gereken uzun süre.

Biyogazda bulunan eser bileşenler su buharı, hidrojen sülfür, siloksanlar, hidrokarbonlar, amonyak, oksijen, karbon monoksit ve azottur [62]. Bu bileşenlerin varlığı ve miktarları biyogaz kaynağına ve anerobik fermantasyon işleminin genel koşullarına bağlıdır. Bu kirleticiler, herhangi bir biyogaz termal veya termokatalitik dönüştürme cihazına zarar verebildikleri için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Ayrıca, zararlı çevresel emisyonlar üretir. Bu nedenle üretilen biyogazın arıtılması önemli bir adımdır [72]. Biyogaz arıtma yöntemleri iki genel kategoriye ayrılabilir;

- Fizikokimyasal süreçleri
- Biyolojik süreçleri

CO₂, biyogazın ana kirletici maddesini oluşturur ve biyogazın ısıtma değerini azaltır. Ancak hidrojen sülfür (H₂S) gibi toksik ve aşındırıcı değildir. H₂S çok tehlikelidir, çünkü kokulu, zehirli ve çok aşındırıcı bir gazdır. Ayrıca, yoğunlaşma suyu ile birlikte yüksek miktarda H₂S metalik bileşenlerin korozyonuna neden olur. Bu, ekipmanların ömrünü azaltabilir. Yanma işlemi sırasında H₂S gazı, atmosferik kirliliğe katkıda bulunan kükürt dioksit olarak da salınır. Ayrıca, H₂S insan sağlığında birçok soruna neden olabilir. Ancak çürütme sırasında ve çürütme işleminden sonra H₂S kaldırılabilir. Biyogaz karışımındaki yüksek O₂ içeriği patlama risklerine neden olabilir [73]. Siloksanların uzaklaştırılması esas olarak depolama alanlarında üretilen biyogazı ve belediye atıklarından kaynaklanan biyogaz için gereklidir. Siloksanlar motorlarda ciddi hasara neden olur. Siloksanları uzaklaştırmak için çeşitli teknikler mevcut olmasına rağmen, siloksanların tamamen ortadan kaldırılması zordur, çünkü siloksanlar oldukça uçucudur ve yüksek gaz akış hızlarında çözücülerden sıyrılır [74].

4.9. Biyogaz Tesisi Bileşenleri

Biyogaz tesisleri, sağlayan organik hammaddenin türlerine ve miktarlarına bağlı olarak farklı boyutlarda gelir. Ana Biyogaz tesisi bileşenleri aşağıda açıklanmıştır ;

4.9.1. Karıştırma odası

Burada, bir homojen bulamaç elde etmek için organik besleme hammadde (hayvan gübresi, tarımsal atık ve evsel atık gibi) su ile karıştırılır.

4.9.2. Katı besleyici

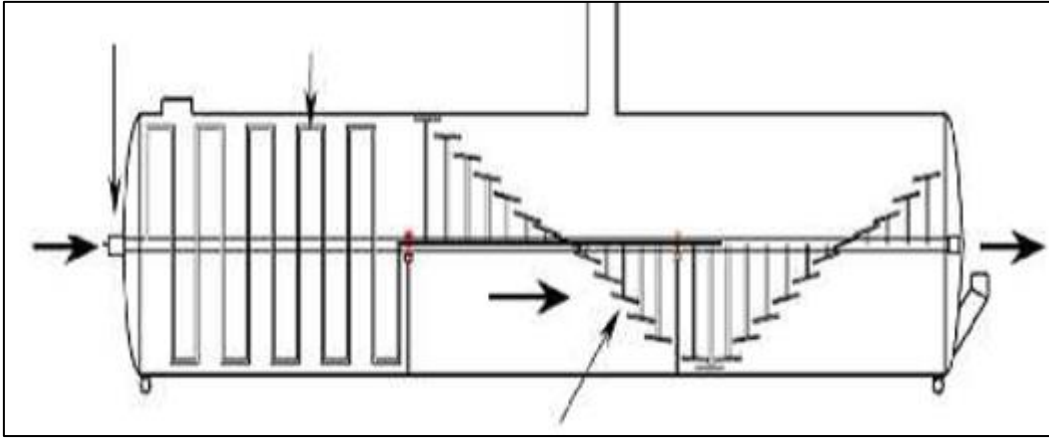
Katı besleyici, karıştırma odasından çıkan homojen bulamaç anaerobik çürütücüye besleyen bir cihazdır [75].



Resim 4.2. Katı besleyici [75]

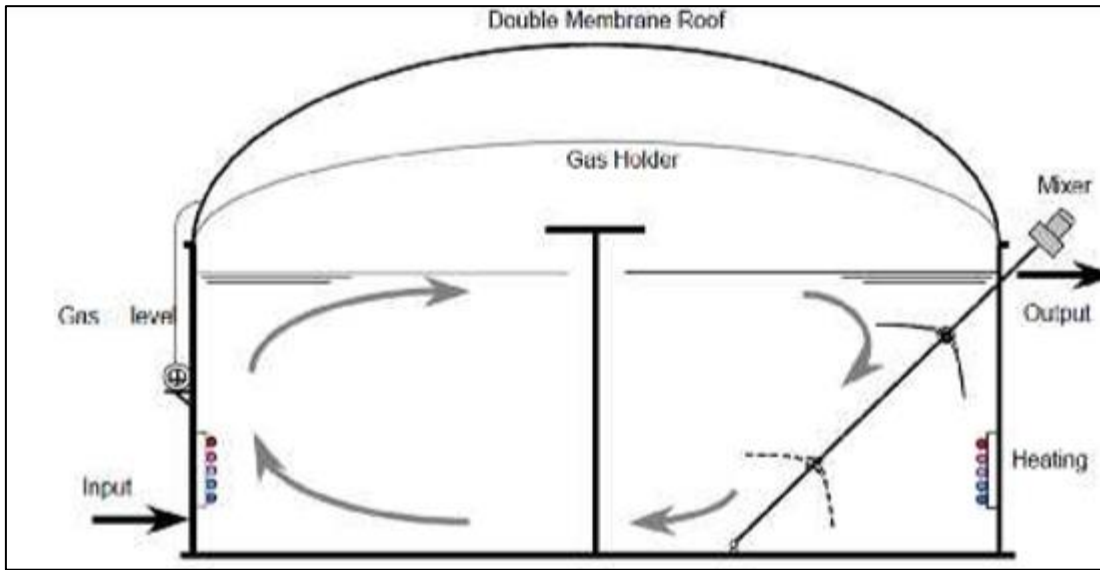
4.9.3. Biyo çürütücü

Biyo çürütücü, anaerobik bozulma işleminin içinde gerçekleştiği reaktördür. Çürütücüler yatay ve dikey olarak sınıflandırılabilir ve zeminin üstüne veya altına inşa edilebilir. Yatay çürütücüler genellikle çelik malzemeler kullanılarak Şekil 4.5’de gösterildiği gibi yatay bir tasarımla inşa edilir. Genel olarak, yatay çürütücüler küçük ölçekli biyogaz tesislerine uygulanır ve ucuz olarak kabul edilir, ancak büyük ölçekte taşınmazlardır [76].



Şekil 4.5. Yatay çürütücü tasarımı [76]

Dikey silindirik çürütücüler, büyük ölçekli biyogaz tesisinin tasarımında en yaygın olarak kullanılanlardır. Büyük boy dikey fermantasyon tankı demir çubuklar ve beton ile güçlendirilir [75].



Şekil 4.6. Dikey çürütücü tasarımı [76]

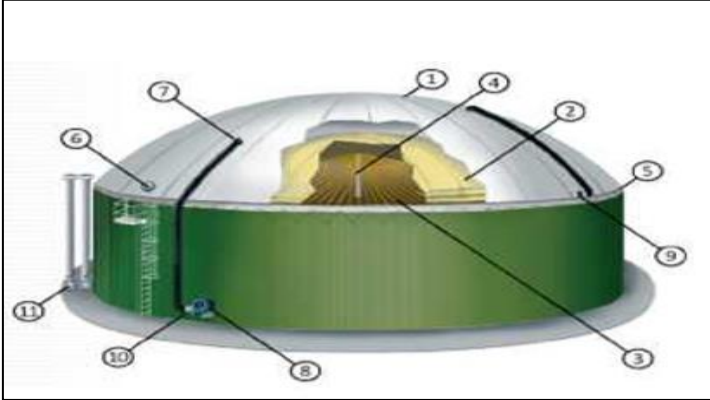
Çoğu durumda, biyoçürütücü zeminin üzerine inşa edilir, çünkü bakım açısından daha ucuz ve daha basittir [75]. İnşaat tamamlanmasından sonra, anaerobik işlemi optimum çalışma sıcaklığında tutmak ve çürütücü tankındaki ısı kaybını azaltmak için çürütücü termal yalıtımlarla yalıtılmalıdır.

4.9.4. Biyogaz depolama

Gaz tutucu büyük bir gaz depolama tankıdır, çürütücüden gelen biyogaz genellikle ortam basıncına eşit olan belirli bir basınç altında depolar. Birkaç farklı gaz tutucu türü vardır, ancak balon şeklinli harici gaz tutucu, üstten takılı biyogaz depolama sistemi ve gaz torbası en popüler olanlardır. Aşağıdaki şekil ve resimde bu türleri gösterilmiştir.



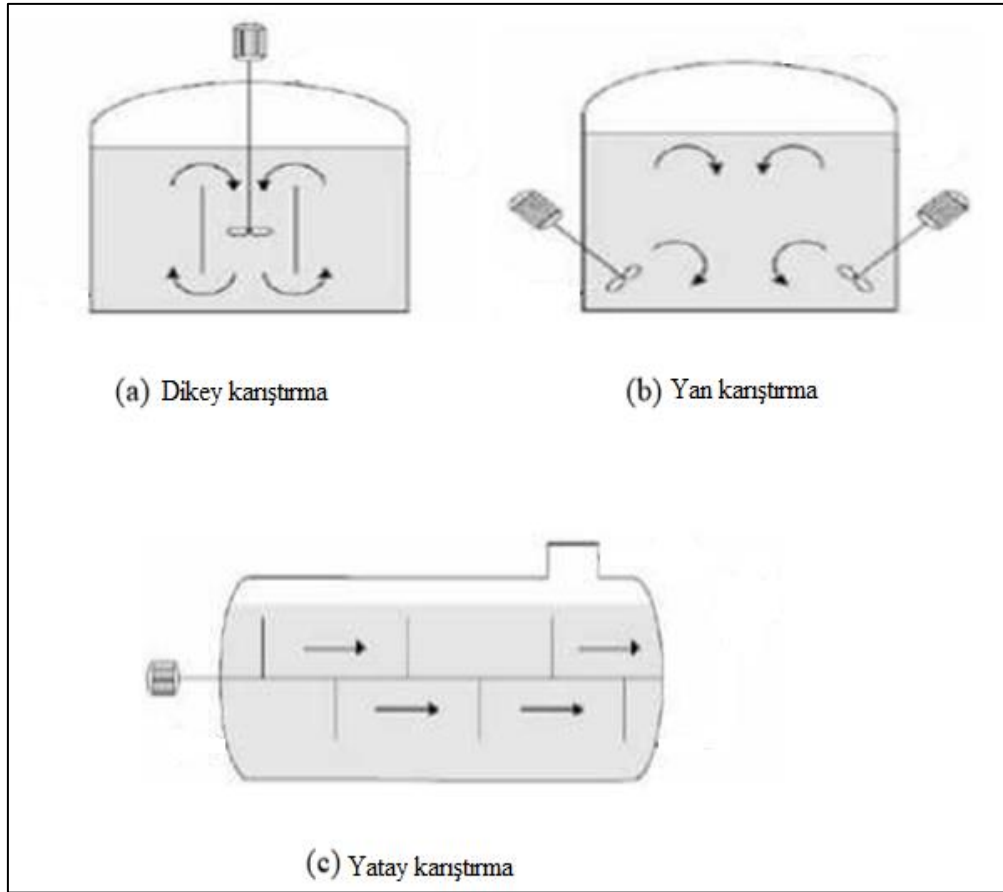
Resim 4.3. Depolama balonu [77]



Şekil 4.7. Üstten monteli gaz tutucusu [77]

4.9.5. Karıştırma sistemi

Bulmacın homojenliğini korumak, aktif bakterileri ve ısıyı dağıtmaya yardımcı olmak için anaerobic sindiricide yüksek performanslı karıştırma sistemi gereklidir. Şekil 4.8’de gösterildiği gibi üç tip mekanik karıştırma sistemi vardır: Dikey karıştırma, yatay karıştırma ve yan karıştırma sistemidir [75].



Şekil 4.8. Karıştırma sistemi [75]

4.9.6. Pompa sistemi

Anaerobik bozulma sürecinin sürekli çalışmasını sağlamak için biyogaz tesisindeki pompa sistemi gereklidir. Tesiste bir pompa sistemi bulunduğundan, bu sürekli bir besleme ve sürekli bir biyogaz üretimi olduğu anlamına gelir. Biyogaz tesisinde pompalama işlemi, belirli bir tip pompa kullanılarak gerçekleştirilir. Çürütücüye akan organik malzemeler yüksek viskoz bir özelliğe sahip olduğundan, genellikle kullanılan pompa tipi dişli pompadır.

4.9.7. Jeneratör ünitesi

Büyük biyogaz tesisinde kullanmak için en etkili jeneratör tiplerinden biri CHP ünitesidir. CHP santrali yüksek verimliliğe sahiptir, % 35 elektrik ve % 65 ısı üretir.

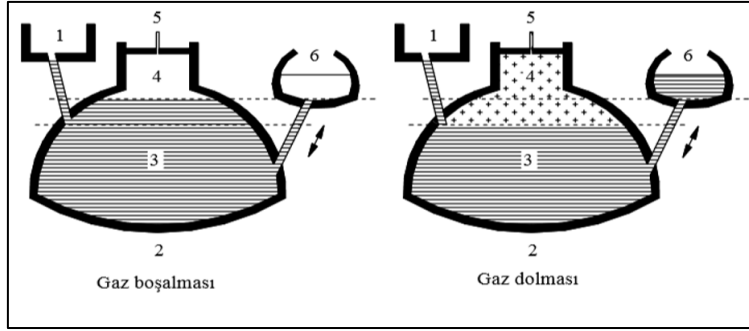
4.10. Bioreaktör Modelleri

Dünya çapında kullanılan birçok bioreaktör vardır. Tüm anaerobik sindirim sistemleri, hammaddelerin gıda atığı, hayvan gübresi veya kanalizasyon çamuru olup olmadığına bakılmaksızın aynı temel prensiplerle çalışır. Genel olarak biyogaz tesisleri kendi özelliklerine ve tasarımlarına göre birbirlerinden farklıdır. En yaygın biyogaz tesisi türleri aşağıda açıklanmıştır;

- Sabit kubbeli reaktörler
- Hareketli kubbeli reaktörler
- Balon tipi reaktörler

4.10.1. Sabit kubbeli reaktörler

Sabit kubbeli reaktörler, Çin orijinli olup basit ve ekonomiktir. Sabit hareket etmeyen bir gaz tutucusuna sahiptir. Biyogaz üretimi başladığında, bulamaç çamur toplama tankına taşınır. Sabit kubbeli biyogaz reaktörünün maliyetleri nispeten düşüktür. Hareketli parça olmadığı için diğer reaktör tiplerinden daha basittir. Reaktörler; dik dörtgen, silindirik, küresel ve elips şekilde inşa edilebilir. Reaktörlerin tepesi, kubbe şeklinde tasarlanır. Kubbe (çatı), alt kısmında yükselen basınçla gazın birikmesi sağlanacak şekilde düzenlenir böylece gaz sızdırmazlığı sağlanır. Bu tür reaktörlere; domuz, büyükbaş veya küçükbaş hayvan gübresinin yanında besi maddeleri, su sümbülü, insan dışkısı ve tarımsal atıklar da beslenebilmektedir [78]. Sabit kubbeli reaktörlerinin inşa edilmesi kolay değildir, çok fazla işgücüne ihtiyaç vardır bu da yerel istihdamın yaratılması demektir. Çoğu durumda sabit kubbeli çürütücü yerden tasarruf sağlayan ve çürütücüyü sıcaklık değişikliklerinden koruyan yeraltında inşa edilir. Bu tip biyoreaktörün ana dezavantajları sıklıkla gaz kaçağıdır. Sabit kubbeli reaktörlerinin ana tipi şu şekilde sıralanabilir: Çin sabit kubbeli tesisi, Janata modeli, Deenbandhu, CAMARTEC modeli, AKUT sabit kubbeli tesisi ve AKUT Maendeleo. Şekil 4.9'da, sabit kubbeli reaktörleri şematığı verilmiştir.

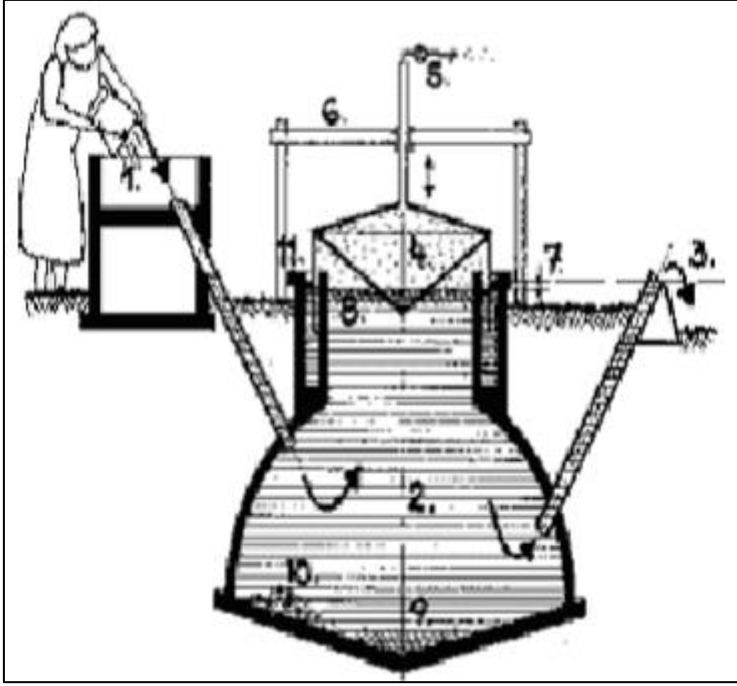


Şekil 4.9. Sabit kubbeli reaktörler [78]

1. Karıştırma tankı
2. Biyogaz reaktörü
3. Çürüme bölümü
4. Gaz toplama bölümü
5. Gaz çıkış borusu
6. Çamur toplama tank

4.10.2. Hareketli kubbe tipi reaktörler

Hareketli Kubbe reaktörü sabit basınçta ve değişken hacimde gaz sağlamak üzere tasarlanmıştır. İlk olarak Hindistanda kullanmaya başlanmış olduğundan Hint tipi reaktörler olarak isimlendirilirler. Hareketli kubbe reaktörü, bir yeraltı çürütücü ve hareketli bir gaz tutucudan oluşur. Gaz toplama bölümünün malzemesi genelde yumuşak demirdir [79]. Reaktör yer altına yerleştirilir. Böylece reaktördeki ısı değişiminin meteorolojik şartlardan minimum etkilenmesi sağlanır [79]. Gaz, depolanan gaz miktarına göre yükselen veya aşağı hareket eden gaz tutucuda toplanır. Biyogaz üretildiğinde gaz tutucu yukarı hareket eder ve tüketildiğinde aşağı iner. Hareketli kubbe reaktörü kullanımı kolaydır, sabit bir basınçta gaz sağlar, gaz sızdırmaz ve depolanan gaz hacmi, gaz tutucu konumu ile hemen tanınır. Ana dezavantajları arasında çelikli tutucu yüksek maliyeti ve sistemin kısa ömrü (15 yıla kadar; tropik sahil bölgelerinde yaklaşık beş yıl) bulunmaktadır [80]. Hareketli kubbe reaktörlerin ana tipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: KVİC modeli, Pragati modeli, Ganesh modeli ve BORDA modeli. Şekil 4.10'da hareketli kubbe tipi reaktörü genel şematığı göstermektedir.



Şekil 4.10. Hareketli kubbe tipi reaktör [79]

1. Reaktör
2. Çürümüş çamur çıkışı
3. Gaz depolama bölümü
4. Vanalı gaz çıkış borusu,
5. Gaz hücresi destek yapısı
6. Gaz basıncındaki fark
7. Yüzebilir atıklar
8. Çamur birikintisi
9. Taş, kum birikintisi
10. Yağ filmlili su ceketli

4.10.3. Balon tipi reaktörler

Balon tipi reaktörler plastik veya lastik karışımı malzemelerden yapılmaktadır. Gaz, balonun üst kısmında depolanır. Giriş ve çıkış balonunun yüzeyine direk bağlıdır. Gaz balon yüzeyinde biriktiği zaman yerleşmeye başlar ve gaz basıncı artar. Balonun üzerine ağırlıklar koyarak gaz basıncı arttırılabilir. Reaktörde aşırı basınç oluşumu önlenmelidir. Gaz basıncı, balonun dayanabileceği bir sınırı aşarsa balon patlar. Bunun için emniyet vanası kullanılmalıdır. Daha yüksek gaz basınçları gerekiyorsa, bir gaz pompası

kullanabilmektedir. Balon malzemesi güneş ışığına karşı dayanıklı olmalıdır. Faydalı kullanım ömrü 2-5 yıldır. Bu tipinin ana özelliği şu şekilde sıralanabilir; düşük maliyet, nakliye kolaylığı, düşük inşaat maliyetleri, yüksek çürütücü sıcaklığı ve komplike olmayan temizlik, boşaltma ve bakım. Balon tipi reaktörlerin ana dezavantajları ise gaz pompaları gerektirebilecek düşük gaz basıncıdır. Pislik, çalışma sırasında çıkarılamaz. Ayrıca plastik balon nispeten kısa bir kullanım ömrüne sahiptir ve mekanik hasara karşı hassastır [80].



Resim 4.4. Kosta Rika’da görüldüğü gibi balon çürütücü

4.11. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler

Kesikli (Batch) fermantasyon

Kesikli çürütücü sistemde, organik malzemeler çürütücüye bir seferde beslenir. Belli bir fermantasyon süresinden sonra çürütücü tamamen boşaltılır ve yeniden doldurulur [81]. Kesikli tipi fermantasyon tankı, en basit yapıdır ve genellikle kuru sindirim için kullanılır. Çürütücünün boyutu, besleme stokunun miktarına ve alıkoyulma süresine bağlıdır. Ayrıca HAS ne kadar kısa olursa o kadar iyidir. Kuru sindirim için karıştırma sistemine gerek yoktur. İşlem sıcaklığı çürütücü içindeki yerleşik bir yer ısıtma sistemi veya bir ısı değişirici

tarafından düzenlenir [26]. Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında, kesikli sistemi düşük işletmenin maliyetleri ve arkasındaki mekanik teknolojinin düşük maliyetleri avantajına sahiptir. Bu sistemin ana dezavantajlarına gelince, yüksek enerji tüketimi ve bakım maliyetleri ile temsil edilirler [81]. Betondan yapılmış garaj tipi çürütücü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu tip katı gübre, enerji bitkileri ve evsel atıkların işlenmesinde kullanılır.



Resim 4.5. Garaj tipi kesikli çürütücü [26]

Sürekli fermantasyon

Bu sistemde çürütücü sürekli beslenir ve boşaltılır. Gaz üretimi istikrarlıdır. Malzeme çürütücüden mekanik olarak veya yeni beslenen substratın basıncı ile hareket eder. Kesikli tip çürütücülerin aksine, sürekli çürütücüler yeni besleme stoğunu yüklemek ve sindirilmiş atık suyu boşaltmak için kesintisiz biyogaz üretir. Biyogaz üretimi sabit ve öngörülebilir [82]. Sürekli fermantasyon tankı dikey, yatay veya çoklu tank sistemleri olabilir. Seçilen karıştırma yöntemine bağlı olarak, sürekli besleme tipi biyoreaktörleri 2 ana tipe ayrılabilir; fişli-akış çürütücü ve tam-karışım çürütücü. Bu 2 tip arasındaki temel farklar Çizelge 4.7’de listelenmiştir. Tam-karışım çürütücü tipik olarak dikey fermantasyon tankıdır, fişli-akış çürütücü ise yataydır.

Çizelge 4.7. Çürütücüler tipi [26]

Tam-karışım çürütücü	Fişli-akış çürütücü
Hidrolik alıkoyulma süresi (30 – 90)gün	Hidrolik alıkoyulma süresi(15 – 30)gün
İşlem sıcaklığı (20-30) °C	İşlem sıcaklığı (35-55) °C
Tamamen karışık	Dikey karışık
Basit hamm anaerobik bozulma stoğu için uygun (sıvı)	Karışık hamm anaerobik bozulma stoğu için uygun (katı)

4.12. Biyogaz Tesisinin Yerini Seçme

Biyogaz tesisinin kurulması için uygun bir alan bulmak çok önemli bir adımdır. Proje yeri çok iyi incelenmeli ve dikkatle seçilmelidir. Aşağıdaki listede, tesisin yerini seçmeden önce dikkate alınmalı gereken bazı önemli hususları gösterilmiştir [26];

- Biyogaz tesisi, yayılan kötü koku ve trafik nedeniyle insanların rahatsızlığını önlemek için yerleşim alanlarından uygun bir mesafede bulunmalıdır.
- Yerleşim bölgelerine kötü kokuların ulaşmasını önlemek için hakim rüzgarların yönü dikkate alınmalıdır.
- Proje sahasının, elektrik satışını kolaylaştırmak için elektrik şebekesiye erişimi olmalıdır, aynı zamanda hammadde ve digestatın taşınmasını kolaylaştırmak için ulaşım yollarına kolay erişimi olmalıdır.
- İnşaat başlamadan önce konumdaki toprak ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır.
- Seçilen alan taşkınlara eğilimli bir alan olmamalıdır.
- Seçilmiş konum, hammadde nakliyesinin mesafelerini, süresini ve maliyetlerini azaltmak için yakın bir konumda olmalıdır.
- Alanın boyut gerçekleştirilen süreçlere ve sağlanan biyokütle miktarına uygun olmalıdır.

4.13. Evsel Anaerobik Çürütücü

Kötü koşullarda, uzak bir yerde veya köylerde yaşayan insanlar, çeşitli ölçülerde biyogaz çürütücüyü evde biyogaz üretmek için kullanabilirler. Taşınabilir biyoçürütücüler herhangi bir evde kolayca kurulabilir. Ayrıca basit evsel atıklar kullanılabilir. Bu çürütücüler iki şekilde yardımcı olmaktadır: Atıkları azaltmak ve faydalı enerji sağlamaktır. Uzun yıllardır kullanılsalar da, uzun vadede dezavantajların üstesinden gelmek için modernizasyona ihtiyaç vardır. Evsel biyoçürütücü, özellikle gelişmiş ülkelerde giderek yaygınlaşan

teknolojilerden biridir. Çin biyogaz altyapısına yatırımlarını çok hızlı bir şekilde artırmıştır. 2020 yılın sonuna kadar, Çin'deki 80 milyon hanenin 300 milyon kişiye biyogaz çürütücüsüne sahip olması bekleniyor [83].

4.13.1. Evde üretilen biyogazın kullanımları

Piştirme ve Isıtma

Evsel çürütücülerden üretilen biyogaz esas olarak yemek pişirmek için kullanılır. Fazla biyogaz su ve alanlar ısıtması için kullanılabilir [83].

Biyogaz Fırımları

Biyogaz brülörleri 1:10 oranında bir biyogaz ve hava karışımını karşılamak üzere tasarlanmıştır [84]. Ticari bütan ve propan brülörlerinde fizikokimyasal özellikleri nedeniyle biyogaz yakılması mümkün değildir. Ancak, bazı değişiklik yapıldıktan sonra bu brülörlerde biyogaz kullanmak mümkündür [85].

Aydınlatma ve enerji üretimi

Birçok gelişmiş ülkede, çürütücülerden biyogaz elektrik ve mekanik enerjiye dönüştürmek için bir yanmalı motora gönderilir. Biyogaz, benzin veya dizel ile karıştırıldığında motorlara güç vermek için de kullanılabilir. Biyogaz lambaları, gazyağı ile çalışan lambalardan daha verimlidir, ancak elektrikle çalışan lambalara kıyasla verimlilik oldukça düşüktür [83].

Doğal gübre

Çürütücüden çıkan çamur kalıntısı azot, fosfor ve potasyum açısından zengindir ve gübre olarak kullanılabilir. Örneğin, gübre ilavesi orijinal duruma kıyasla patates büyümesini %27,5 arttırmıştır. Buna ek olarak, bu artıklardan kalan sıvı atıklar ise doğrudan tarımda gübre olarak kullanılabilir [86]. Kurutulmuş artıklar endüstriyel atık sudan kurşun uzaklaştırmak için bir adsorban olarak da kullanılabilir [83].

Diğer uygulamalar

Yaygın uygulamaların yanı sıra, evsel biyogaz da başka amaçlar için kullanılır. Kenya’da, gazlı buzdolapları veya tavuk inkübatörü ev tipi çürütücüden üretilen biyogazla çalışabilir. Hindistan gibi diğer ülkelerde, umumi tuvaletler, insanların sosyal yaşam koşullarını iyileştirmek için yerel bir STK tarafından biyogaz fermantasyon tankına bağlanmaktadır. Benzer şekilde, Nepal’da umumi tuvaletler aydınlatmak için biyogaz fermantasyon tankına bağlanmaktadır [83].

4.13.2. Dezavantajları

Evsel biyogaz çürütücülerinin çeşitli avantajlarına rağmen, üstesinden gelmenin dezavantajları da vardır. Anaerobik fermantasyon yavaş bir süreçtir ve uzun HAS gerektirir [87]. Bu da çürütücünün hacmini ve maliyetini artırır. Diğer bir sınırlama, yıl boyunca sıcaklıktaki dalgalanmadır. Kış aylarında biyogaz üretimindeki azalma, soğuk ülkelerin bu teknolojiyi benimsemelerini zorlaştırıyor [88]. Uzun vadede gaz kaçağı, yavaş geri kazanım, düşük gaz üretimi ve yetersiz hammadde temini insanların evsel sindiricileri kullanmayı durdurur. Biyogaz çürütücülerinden sızıntı, ortamdaki metan ve karbondioksit emisyonlarını artırır. Bir diğer dezavantaj da, metan çürütücüden sızdığına yangın patlamalarına sebep olabilir [89]. Bununla birlikte, biyogaz teknolojisinin potansiyelleri hakkında temel bilgileri çiftçiler ve yerel nüfus arasında yaymak ve bu teknolojileri uygun şekilde kullanmak için eğitmek önemlidir.

5. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Bu araştırma birden fazla adımdan oluşmaktadır. İlk adımda biyogaz üretim süreci hakkında kapsamlı bilgi toplanmıştır. Bundan sonra, biyogaz verim faktörü olarak tanımlanan kilogram gübre başına biyogaz üretim miktarını bulmak için, küçük ölçekli kesikli sistem ile çalışan bir biyo çürütücü inşa edilmiştir ve 40 gün boyunca çalıştırılmıştır. Daha önce bahsedilen deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, bir evsel çürütücü tasarlanmış ve değerlendirilmiştir.

5.1. Deneysel Çalışma

Küçük ölçekli kesikli sistem ile çalışan bir biyo çürütücü, kilogram gübre başına biyogaz üretim miktarını bulmak için tasarlanmış ve çalıştırılmıştır. Deney, özel bir sera alanı içinde gerçekleştirildi. Bu sera alanı bir klima yardımıyla (29-34) °C'ye kadar ısıtılmıştır. Bu bölümde deneyin yapılışı ve deneyi tamamlamak için kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir.

5.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan maddeler

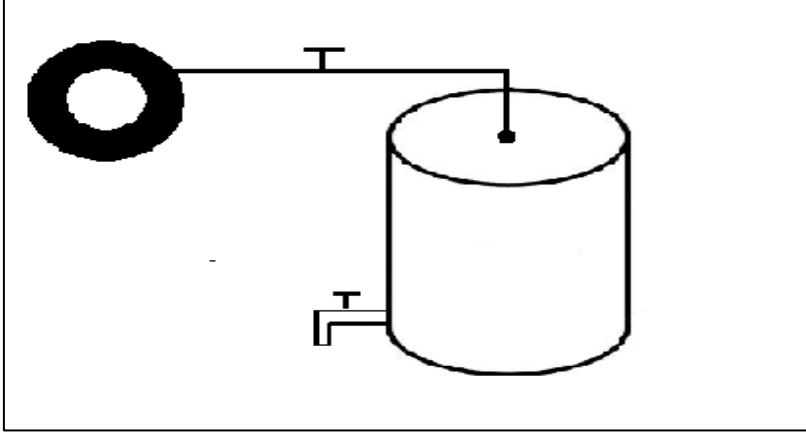
Çalışmada, çiftlikten taze inek dışkısı kullanılmıştır. Dışkı ineklerin bulunduğu çiftlikten ve yabancı maddelerin girmemesine dikkat edilerek alınmıştır.

5.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar

- Duyarlı terazi : Sindiricilerden çekilen biyogazın tartılmasında kullanılır.
- Fermantasyon tankı: 60L hacimli plastik silindirik tankıdır.
- Valfler: Gaz valfleri (biogazın geri çekilmesi için); Çamur valfleri (çamurdan örnek alınması için).
- Termometre: Sıcaklıkları kaydetmek için.
- Plastik kap: Atıkların ve su hacminin ölçülmesi için.
- Plastik kap: Atıkların ve su karıştırma için.
- Plastik borular: Bağlantı noktaları için
- Dahili araba tüpleri: Sindiriciden biyogaz toplamak için.
- pH metre: Çamur asiditesini ölçmek için.

- Yalıtım malzemesi: Sıcaklığı gerekli aralıkta tutmak için

Sürecin şematiği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Biyo çürütücünün şematiği

5.2. Deneyin Yapılışı

5.2.1. Bulamaç hazırlama

Gerekli inek dışkısı ağırlığı (24kg) tartılmış ve 1:1 oranında su ile karıştırılmıştır. Bundan sonra, bulamaç pH'ı ölçülür ve kaydedilir. Ardından çamur, çürütücü içerisine konulur ve çürütücü girişi sıkıca hava girmeyecek şekilde kapatılır.

5.2.2. pH değerini ölçme

Fermantasyon tankı içerisindeki çamurdan küçük miktarlarda, her 3 günde bir kere olmak üzere örnekler alınmıştır. Bu örneklerin pH değeri ölçülmüştür.

5.2.3. Sıcaklık

Deneyisel çalışma, klima tarafından kalıcı olarak (29-34)°C'ye ısıtılan bir sera içinde gerçekleştirildi. Bununla birlikte sıcaklığı korumak için fermantasyon tankı çevresinde yalıtım da kullanılmıştır.

5.2.4. Biyogaz çekme ve ağırlıklandırma

Dahili araba tüpü tartılır ve daha sonra gaz valfine bağlanır. Gaz vanası açıldığında, biyogaz fermantasyon tankı içindeki ve tüp içindeki basınç farkının sonucu olarak tüpe akar. Gaz akışı durduğunda, tüp kesilir ve içeriği ile tartılır. Biyogaz ağırlığı elektronik bir terazi ile kaydedilmiştir. Biyogaz, deneyin başlangıcından itibaren her üç günde bir kere çıkartılmıştır. Bu zaman aralığı, önemli ölçüde tartılabilen bir biyogaz miktarı elde etmek ve biyogaz geri çekilmeleri arasında daha uzun bir süre verilmesi durumunda üretilen biyogazdan kaynaklanabilecek yüksek basıncı önlemek için uygundur. Aşağıdaki resimlerde (5.1-5.6), deneyde kullanılan birkaç ekipmanları gösterilmiştir.



Resim 5.1. Biyo çürütücü



Resim 5.2. Çamur örneğinin alınması



Resim 5.3. pH Metre



Resim 5.4. Klima



Resim 5.5. Gaz valfi



Resim 5.6. Çamur valfi

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde elde edilen deneysel sonuçları ve evsel çürütücü tasarımı ile ilgili teorik sonuçlar sunulmuştur.

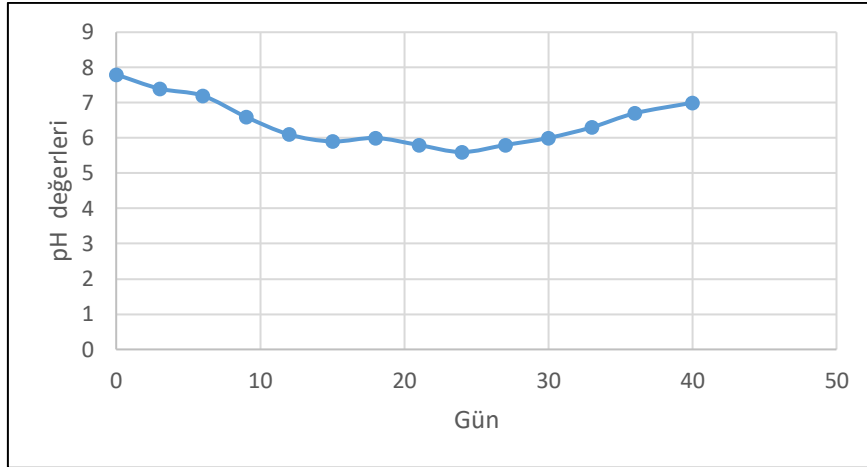
6.1. pH Değerleri

Deneyin başlangıcındaki pH değeri 7,8 olarak kaydedilmiştir. Deneyin ilk günlerinde, çamurun pH değeri yavaş yavaş azalmıştır (asitliği artmıştır) ve çizelge 6.1’de gösterildiği gibi pH değeri 6’nın altına ulaşmıştır. Daha sonra pH değeri yeniden yavaş yavaş yükselmiştir ve son günlerde yaklaşık pH 7 değerine ulaşmıştır. Deneyin başlangıcında pH değerlerindeki düşmenin nedeni, anaerobik sindirimde organik materyallerin asidojenik bakterileri tarafından asitlere dönüştürülmesidir. Ardından, metanojenik bakterileri tarafından biyogaza dönüştürülme işlemi sırasında ise pH değerlerinin yükselmesi görülür [62].

Çizelge 6.1. pH değerlerinin zamanla değiştirilmesi

Gün	pH değeri
0	7,8
3	7,4
6	7,2
9	6,6
12	6,1
15	5,9
18	6
21	5,8
24	5,6
27	5,8
30	6
33	6,3
36	6,7
40	7

Sıcaklık değişiklikleri deney süresi boyunca neredeyse kararlı olduğu için, aşağıdaki şekil 6.1’de gösterildiği gibi ani bir pH düşüşü gözlenmemiştir. Metanojenik bakterileri sıcaklıktaki değişikliklere karşı çok hassastır, sıcaklığın artmasıyla aktivasyonu artar (asitlerin metana dönüştürülmesi artar ve böylece çürütücü içeriğinin pH değeri azalır) ve sıcaklık düştüğünde aktivasyon azalır (asitlerin metan haline dönüştürülmesi azalır, bu da asitlerin birikmesine yol açar ve böylece pH değeri yükselir) [62].



Şekil 6.1. pH değerlerinin günlerle değişimi

6.2. Biyogaz Üretimi

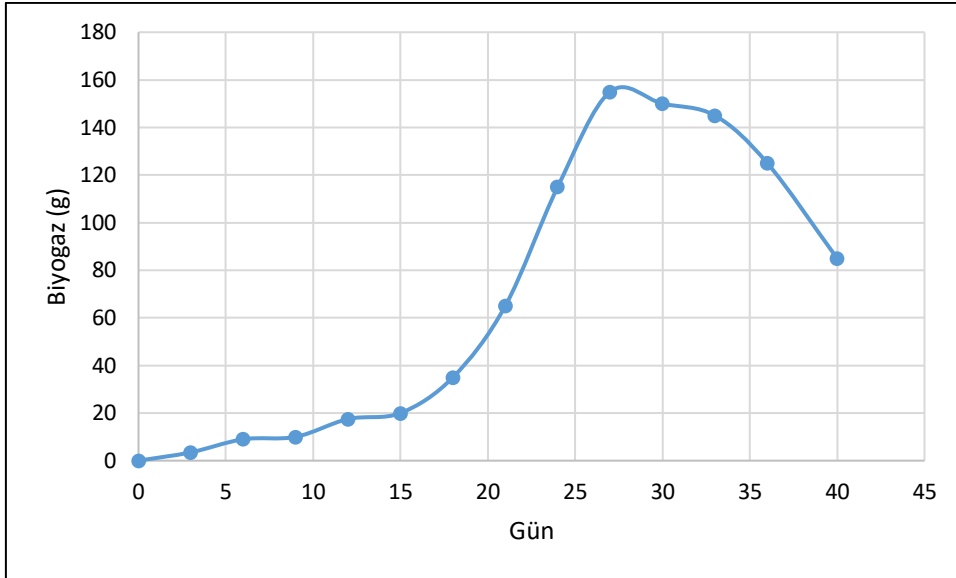
Üretilen biyogazın günlük miktarı aşağıdaki çizelge 6.2’de verilmiştir. Kırkıncı günde elde edilen toplam biyogaz miktarı 935 gram olarak bulunmuştur. Biyogaz verim faktörü denklem 6.1 ile hesaplanmıştır ve 0,0389 kg biyogaz / kg inek dışkısı bulunmuştur.

$$Y = \frac{m_b}{m_d} \quad (6.1)$$

Burada Y biyogaz verim faktörü (kg üretilen biyogaz / kg inek dışkısı) , m_b üretilen biyogaz miktarı (kg), m_d inek dışkısı miktarı (kg).

Çizelge 6.2. Çalışma düzeyine gelene kadar günlük ortalama biyogaz çıkışı bulgular

Gün	Üretilen biyogaz miktarı(g)
0	0
3	3,5
6	9
9	10
12	17,5
15	20
18	35
21	65
24	115
27	155
30	150
33	145
36	125
40	85



Şekil 6.2. Üretilen biyogaz miktarlarının günlerle değişimi

Şekil 6.2’de belirtildiği gibi, numune deneyin başlangıcından itibaren bir zaman aralığı (24-36) gün içinde maksimum biyogaz üretkenliğine ulaşmıştır. Maksimum üretim miktarı 27. günde 155 gram olmuştur. . Metanojenik bakterileri sıcaklıktaki değişikliklere karşı çok hassastır, sıcaklığın artmasıyla aktivasyonu artar (asitlerin metana dönüştürülmesi artar ve böylece çürütücü içeriğinin pH değeri azalır) ve sıcaklık düştüğünde aktivasyon azalır (asitlerin metan haline dönüştürülmesi azalır, bu da asitlerin birikmesine yol açar ve böylece pH değeri yükselir).

6.3. Evsel Çürütücü Tasarımı ve Ekonomik Değerlendirmesi

Bu bölümde Filistin çevre koşullarına ve yürütülen deneysel çalışmalara bağlı olarak evsel kullanım için biyogaz üretim sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarımı elde etmek için biyogaz teknolojisi hakkında diğer referanslardan bazı bilgiler kabul edilmiştir. Biyogaz tesisinin inşaat maliyeti ve geri ödeme süresi (biyogaz sisteminin inşasının sermayesinin geri kazanılması için gereken süre) de hesaplanmıştır.

6.3.1. Biyogaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı

Ocaklar odun gibi katı yakıtlar, gazyağı gibi sıvı yakıtlar ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi gaz yakıtlar ile çalıştırılabilir. Filistin’de LPG, yemek pişirmek için kullanılan ana gazdır, dolayısıyla biyogazın bunun yerine kullanılması önerilmiştir. LPG esas olarak

propan ve bütandan oluşmaktadır. Biyogaz ise metan içermektedir. Evde kullanılan gaz şişesi, kalori değeri 11300 kcal / kg ve yoğunluğu 0.570-0.539 kg /L olan 12 kg LPG içermektedir [90]. Metanın kalorifik değeri 9100 kcal /m³ olduğundan, yaklaşık % 53 metan içeren biyogazın ortalama kalorifik değeri yaklaşık 4800 kcal /m³'tür.

6.3.2. Çürütücü hacminin belirlenmesi

Evsel biyogaz üretim sistemlerinin çoğu hayvan gübresini hammadde olarak kullanmaktadır, ancak sebzeler, gıda atıkları ve insan atıkları da kullanılabilir. Ev sistemleri ya sürekli besleme tipi ya da kesikli tipi olabilir, ancak sürekli olan daha uygundur çünkü hammadde bunlara günlük olarak eklenebilmektedir. Çürütücü hacmi, aşağıda açıklandığı gibi birkaç adımda belirtilebilir.

Aylık biyogaz ihtiyacı

Filistinli aileler için aylık ortalama gaz ihtiyacı 12 kg içeren 1 şişe LPG'dir. Her bir gazın kalorifik değerine bağlı olarak, aşağıdaki denklem 6.2'de gösterildiği gibi, aylık pişirme ihtiyaçlarını karşılamak için 135600 kcal gereklidir.

$$E_t = m_l \times cv \quad (6.2)$$

Burada E_t kcal cinsinden toplam aylık tüketilen enerjidir, m_l LPG'dan aylık ihtiyaç miktarı (12 kg), cv ise LPG'nin ısı değeri(11300kcal/kg).

Aylık üretilmesi gereken biyogaz miktarı denklem 6.3'de gösterildiği gibi 28 m³ olarak bulunmuştur.

$$V_g = \frac{E_t}{cv} \quad (6.3)$$

Denklem 6.3'te cv biyogazın ısı değeri (4800kcal/m³)

Not: 28 m³ biyogaz, 34kg biyogaza eşittir.

Gerekli inek dışkısı

Çürütmeye beslenmesi gereken inek dışkısının miktarı denklem 6.4’de gösterildiği gibi 850kg olarak bulunmuştur.

$$mg = m_i \times Y \quad (6.4)$$

Burada mg kg cinsinden aylık üretilmesi gereken biyogaz miktarıdır ve m_i kg cinsinden inek çamur miktarıdır.

Tanım olarak, bir ton (1000 kg) su bir metreküp (1000 Litre) hacmine sahiptir. Yaklaşık olarak sıvı gıda ve çiftlik atıkları suyunkine yakın bir yoğunluğa sahiptir [12].

Birçok referansa göre su inek gübresine 1:1 oranında eklenmektedir [91]. Böylece su miktarı 850 L eşittir. Çürütücüye eklenmesi gereken günlük bulamaç miktarları denklem 6.5’te gösterildiği gibi 57 kg bulunmuştur.

$$m_s = \frac{m_i + m_{su}}{30} \quad (6.5)$$

Burada m_s eklenmesi gereken günlük çamur miktarlarıdır (kg) ve m_{su} su miktarı (kg).

Çürütücü hacmi

Çürütücü hacmi aşağıdaki 6.6 denklem ile 1700L olarak bulunmuştur.

$$V_\zeta = m_s * HAS \quad (6.6)$$

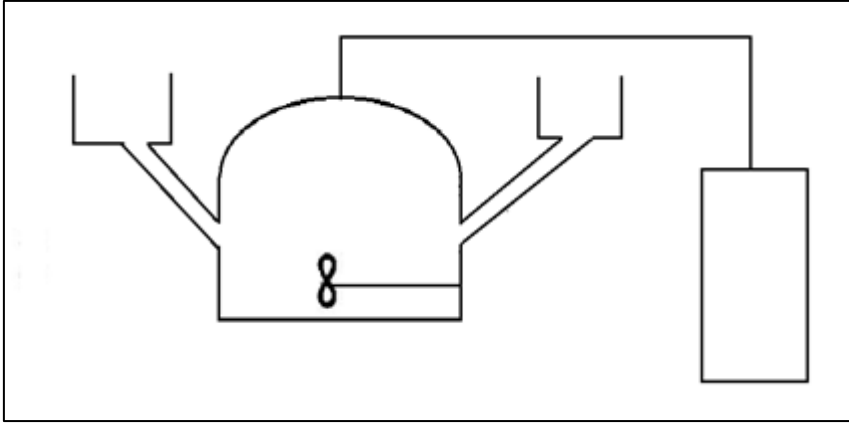
V_ζ çürütücü hacmidir (L) ve HAS 30 gün olarak alınmıştır.

Gerekli toplam hacim (çürütücü hacmidir ve çürütücü hacminden% 20’ye eşit olan gaz tutucu hacmidir) denklem 6.7’de gösterildiği gibi yaklaşık 2000L bulunmuştur.

$$V_t = 1.2 \times V_\zeta \quad (6.7)$$

6.3.3.Tasarım özellikleri ve şekli

Evsel çürütücünün tasarımı için yer üstü sabit kubbeli rezervuar sistemi seçilmiştir. Çürütücünün Filistin’de yaygın olarak bulunan siyah polipropilenden yapılması önerilmektedir. Çürütücüde üretilen gaz, kubbenin üst kısmında toplanacaktır. Bulamaç homojenliğini sağlamak için karıştırıcı tankın içine konacaktır. Çamur kalıntısı, çürütücüden çamur toplama tankına akar . Bağlantı amaçlı olarak PVC borular kullanılacaktır. Gaz, kullanım noktasına bu boru hattı üzerinden verilecektir. İşlemi kolaylaştırmak için tankı zemin seviyesinden kaldırmak için bir demir taban kullanılacaktır Bu sistemin en belirgin özelliklerinden biri, kurulum ve bakımının kolay olmasıdır. Kırsal kesimde oturanlar, çürütücüyü herhangi bir zorluk veya komplikasyon olmadan işletebilecek ve koruyabileceklerdir. Tasarım şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Ev tipi biyogaz çürütücünün şematığı

6.3.4. Ekonomik analiz

Biyogaz üretim projelerinde ilk yatırım, işletme, bakım maliyeti ve yan ürünlerin kullanımı ile ilgili birçok ekonomik husus vardır. Genel olarak, biyogaz tesisinin toplam maliyeti çürütücü maliyetinden ve jeneratörün maliyetinden (elektrik üretilmesi durumunda) oluşmaktadır. Arazi maliyeti toplam maliyete dahil edilmemiştir, çünkü arsa sahiplerine aittir. Önerilen evsel biyogaz ünitesinin finansal analizi, aşağıda açıklandığı gibi birkaç adımda gerçekleştirilmiştir.

İlk yatırım

Aşağıdaki Çizelgede gösterildiği gibi biyoçürütücü inşa etmek için ilk yatırım maliyeti 598 \$ 'dır.

Çizelge 6.3. Ev tipi biyogaz ünitesini inşa etmek için gereklilikler ve maliyetler

Gereksinimler	Fiyat (\$)
2000 L tank	220
240L tank	50
Vanalar ve bağlantı elemanları	45
Demir taban	63
Plastik borular	30
Yalıtım malzemeleri	170
Diğer	20
Toplam	598

Su masrafı

Filistin'de 1 m³ su fiyatı 6 \$, bu nedenle aylık gereken 850 L su maliyeti yaklaşık 5\$ / aydır.

Biyogaz ve organik gübrelerin kazançları

Biyogaz ünitesi hem biyogaz hem de organik gübre üretir. Biyogaz bir yakıt olarak Filistin pazarında kolaylıkla satılmaz, bu nedenle değeri diğer yakıt olarak (LPG) tanımlanmalıdır. Biyogaz ve organik gübre kârı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

- Biyogaz kârı: Filistin'deki LPG'nin fiyatı bazı politik nedenlerden dolayı dalgalanmaktadır. Ancak Filistin'deki LPG şişesinin ortalama fiyatı 20\$ civarındadır dolayısıyla aylık biyogaz kârı 20\$ olarak alınmıştır.
- Gübre kazancı: Üretilen gübre ile piyasadan gübre satın alma maliyetinden tasarruf edilebilir. Bunu yanında fazlası satılabilir.

Organik madde % 65-90 oranında uçucu maddeler içermektedir. Ve bu uçucu maddelerin % 30-60'ı anaerobik sindirim yoluyla biyogaza dönüştürülmektedir (organik maddenin türüne bağlı olarak) [92]. Önceki yüzdelerin ortalamalarına bağlı olarak aylık biyogaza dönüşen

organik atık miktarı denklem 6.8 ile 296 kg bulunmuştur. Organik çürütücüden çıkar organik madde miktarı ise denklem 6.9 ile 553 kg olarak bulunmuştur.

$$m_{dö} = m_i \times \%77,5 \times \%45 \quad (6.8)$$

Burada $m_{dö}$ aylık biyogaza dönüşen organik atık miktarı.

$$m_f = m_i - m_{dö} \quad (6.9)$$

Burada m_f çürütücüden çıkar organik madde (bitkileri gübrelemek için kullanılabilir)

Filistin pazarlarındaki gübre fiyatları yaklaşık 250 \$ / ton'dur. Bundan, 553 kg organik gübrelerin kârı 138 \$ olarak bulunmaktadır. Daha doğru sonuçlar elde etmek için, organik gübrenin yapay gübre fiyatının% 50'sinde satılabileceği varsayılmaktadır. Bu varsayım, üretilen gübrenin sıvı bir formda olması ve daha yüksek bir fiyat elde etmek için yeterince işlenmemesi nedeniyle bu şekilde yapılmaktadır. Böylece gübre kârı 69\$ olarak hesaplanmaktadır.

Toplam kazançlar

Biyogaz çürütücü çalıştırmanın toplam aylık kârı, işletme maliyetini çıkartan biyogaz kârı ve gübre kârı toplamıdır. Bazı durumlarda organik gübre satılmayabilir. Böylece toplam kâr aşağıdaki 2 senaryoya göre hesaplanmaktadır;

- Birinci senaryo; üretilen gübre satılıyorsa (biyogaz kullanmaya ek olarak)
- İkinci senaryo; organik gübreler satılmazsa

Toplam aylık kar aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır

$$Toplam\ aylık\ kar = biyogaz\ karı + gübre\ karı - işletme\ maliyeti \quad (6.10)$$

Basit geri ödeme süresi

Basit geri ödeme süresi (SPBP), aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$SPBP = \frac{\text{ilk yatırım}}{\text{toplam aylık kar}} \quad (6.11)$$

Daha önce belirtilen iki senaryoya ait SPBP ve aylık kazançlar Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. SPBP ve aylık kazançlar değeri

İlk durum (biyogaz kullanmaya ek olarak gübre satmak)	İkinci durum(gübres atmadan biyogaz kullanmak)
Toplam aylık kar =84 \$	Toplam aylık kar = 15\$
SPBP = 7ay	SPBP =40 ay

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Filistin petrol ve doğal gaz kaynaklarının yetersizliği nedeniyle enerji ihtiyacını karşılamada gerçek bir soruna sahiptir. Filistin'deki enerji fiyatları, karmaşık politik ve ekonomik koşullar nedeniyle çok yüksek ve değişkendir. Biyogaz üretimi, uzak ve kırsal alanlarda yaşayanlar için eksiklik enerjisi sorununu etkili bir şekilde çözebilir.

Yapılan bu çalışmada, anaerobik bozulma ile biyogaz üretim süreci ve Filistin'de evsel kullanım için biyogaz üretmenin fizibilitesi ve olanakları araştırılmıştır. Tez çalışmasından elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir;

7.1. Sonuç

Deneyisel çalışma (29-34) °C sıcaklık aralığına sahip bir serada gerçekleştirilmiştir. Deneyin son günde elde edilen toplam biyogaz miktarı 935 gram olarak bulunmuştur. Ayrıca, biyogaz verim faktörü 0,0389 kg biyogaz / kg inek dışkısı bulunmuştur. Numune deneyin başlangıcından itibaren bir zaman aralığı (24-36) gün içinde maksimum biyogaz üretkenliğine ulaşır. Maksimum üretim miktarı 27. günde 155 gram olmuştur.

Filistinli ailenin aylık pişirme gereksinimlerini karşılamak için ortalama miktarı 28m³ biyogaz gerektiği tespit edilmiştir. Bu miktarın yaklaşık 2m³ kesikli tip, evsel biyo çürütücü ile elde edilebileceği bulunmuştur. Gerekli aylık inek gübresi miktarı 850kg olarak bulunmuştur.

Ekonomik açıdan sindirim artıklarının organik bir gübre olarak kullanılmasının çok uygun olduğu ve SPBP'yi önemli ölçüde azaltılabileceği tespit edilmiştir.

Ekonomik analiz, çamur kalıntısı organik bir gübre olarak satıldıysa toplam kârın 84dolar / ay olduğunu göstermiştir. Ayrıca, biyogaz gübre satılmadan kullanıldıysa, toplam kârın 15 \$ / ay olduğunu göstermiştir. SPBP, sorumlu bir dönem olarak kabul edilen yaklaşık 7 ay ile 3 yıl arasında değişmektedir.

7.2. Öneriler

- Birlikte çürüme C / N oranını dengelemede birçok avantaja sahiptir. Biyogaz üretim süreci üzerindeki etkisinin ayrıntılı olarak incelenmesi tavsiye edilir.
- Daha doğru sonuçlar elde etmek için biyogaz tesislerinin tasarımına yönelik olarak tüm tasarım ve ekonomik analiz aşamalarını içeren bir yazılım modelinin kullanılması önemle tavsiye edilir.
- Filistin’de biyogaz santralleri ve biyokütlenin kullanımı hala çok yeni bir teknolojidir. Bu teknolojinin gelişmesi için çiftçilere yönelik farkındalık kampanyaları yapılmalıdır. Ayrıca ülkedeki biyogaz tesislerini iyileştirmek için daha fazla araştırma ve pratik çalışmalar yapılmalıdır.
- Biyogaz tesisleri kurmalarına yardımcı olmak için kırsal ailelere mali yardım (devlet veya sivil toplum örgütlerinden – STK’lar) sağlanmalıdır.
- Kırsal alanda elektrik üretimi için biyogazın kullanılması, elektrik kesintisi sorununu çözmek için etkili bir çözümdür. Ayrıca elektrik fiyatının düşürülmesi için biyogazın bir elektrik kaynağı olarak kullanılması da araştırılmalıdır.
- Çürütme işleminden elde edilen kalıntının mümkün olduğunca fazla miktarının, organik gübre olarak kullanımının optimize edilmesi için gerekli yöntemlerin araştırılması şiddetle tavsiye edilmektedir. Organik gübre satışını ve olası kârları elde etmek için yapılabilecek işlemlerden birisi, çamur içindeki su içeriğinin azaltılması olabilir.

KAYNAKLAR

1. Juaidi, A., Montoya, F. G., Ibrik, I. H., and Manzano-Agugliaro, F. (2016). An overview of renewable energy potential in Palestine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 943-960.
2. Toklu, E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107, 235-244.
3. Shafiee, S., and Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished?. *Energy Policy*, 37(1), 181-189.
4. İnternet: BP. (2020). BP Statistical Review of World Energy. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.06.2020.
5. İnternet: IRENA. (2013). Statistical issues: bioenergy and distributed renewable energy. URL: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/Statistical issues_bioenergy_and_distributed-renewable-_energy.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/Statistical_issues_bioenergy_and_distributed-renewable-_energy.pdf), Son Erişim Tarihi: 19.10.2019.
6. İnternet: IRENA. (2020). URL: <https://www.irena.org/bioenergy>, Son Erişim Tarihi: 05.06.2020.
7. İnternet: IEA. (2019). Renewables information: overview. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/6959bcb0d298404c80e12afaa784798e/Renewables_Information2019Overview.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.06.2020.
8. Hamed, T. A., Flamm, H., and Azraq, M. (2012). Renewable energy in the Palestinian Territories: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1082-1088.
9. Jebril, A., and Khatib, I. (2018). *Bio-energy in Palestine between reality and potential*. Lambert Academic Publishing.
10. Mason, M., and Mor, A. (2009). *Renewable energy in the Middle East: Enhancing security through regional cooperation*. Springer Science & Business Media.
11. İnternet: Palestinian Energy and Natural Resources Authority. URL: <http://www.penra.pna.ps/ar/index.php?p=home>, Son Erişim Tarihi: 05.12.2019.
12. Al Sadi, M. (2010). *Design and Building of Biogas Digester for Organic Materials Gained from Solid waste*. MSc Thesis, An-Najah National University, Palestine.
13. Ismail, M. S., Moghavvemi, M., and Mahlia, T. M. I. (2013). Energy trends in Palestinian territories of West Bank and Gaza Strip: Possibilities for reducing the reliance on external energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 117-129.

14. Abu Hamed, T., Ismail, L., and Alshare, A. (2017). The potential of using olive cake in power generation in the Palestinian territories. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(4), 368-378.
15. Droste, R. L., and Gehr, R. L. (2018). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. New Jersey: John Wiley and Sons.
16. Wastewater Treatment Plants of Nablus Municipality. (2019). *Annual Report for Operations and Reuse 2018*, Palestine.
17. Al-Maghalseh, M., and Saleh, W. (2017, October). *Design and cost analysis of biogas based power plant: Jenin perspective*. 14th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT & IoT , (31-35).
18. Jyothilakshmi, R., and Prakash, S. V. (2016). Design, fabrication and experimentation of a small scale, anaerobic biodigester for domestic biodegradable solid waste with energy recovery and sizing calculations. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 749-755.
19. Alia, R. (2017). *Environmental Impact Assessment of Centralized and Decentralized Biogas Power Plants in Palestine*. MSc Thesis, An-Najah National University, Palestine.
20. Mukumba, P., Makaka, G., Mamphweli, S., and Misi, S. (2013). A possible design and justification for a biogas plant at Nyazura Adventist High School, Rusape, Zimbabwe. *Journal of Energy in Southern Africa*, 24(4), 12-21.
21. Zhang, C., Xiao, G., Peng, L., Su, H., and Tan, T. (2013). The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. *Bioresource Technology*, 129, 170-176.
22. Kavuma, C. (2013). *Variation of Methane and Carbon Dioxide Yield in a Biogas Plant*. MSc Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
23. Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10.
24. Watson, G. M. G., Munzar, J. D., and Bergthorson, J. M., (2014). NO formation in model syngas and biogas blends. *Fuel*, 124, 113-124.
25. Horikawa, M. S., Rossi, F., Gimenes, M. L., Costa, C. M. M., and Da Silva, M. G. C. (2004). Chemical absorption of H₂S for biogas purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 21(3), 415-422.
26. Al Seadi, T. (2008). *Biogas handbook*. Published by University of Southern Denmark Esbjerg, 12-90.
27. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37-46.

28. Yang, Q., Han, F., Chen, Y., Yang, H. and Chen, H. (2016). Greenhouse gas emissions of a biomass-based pyrolysis plant in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1580-1590.
29. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., and Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478-5484.
30. Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357-1378.
31. Yokoyama, S., and Matsumura, Y. (2008). *The Asian Biomass Handbook: A guide for biomass production and utilization*. Tokyo: The Japan Institute of Energy.
32. Imraish, A. (2017). *Experimental and Simulation of Biomass Conversion by Gasification and Biodigestion: Potential of Bioenergy in Palestine*. MSc Thesis, AnNajah National University, Palestine.
33. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83(1), 47-54.
34. Thomas, P., Soren, N., Rumjit, N. P., James, J. G., and Saravanakumar, M. P. (2017). Biomass resources and potential of anaerobic digestion in Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 718-730.
35. Mohan, D., Pittman Jr, C. U., and Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & Fuels*, 20(3), 848-889.
36. Demirbas, A. (2007). Producing bio-oil from olive cake by fast pyrolysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(1), 38-44.
37. Campelo, J., Clark, J. H., and Luque, R. (2011). *Handbook of biofuels production: processes and technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing.
38. Badeau, J. P., and Levi, A. (2009). *Biomass gasification: chemistry, processes, and applications*. New York: Nova Science Publishers.
39. Kumar, A., Kumar, N., Baredar, P., and Shukla, A. (2015). A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 530-539.
40. Agbor, E., Zhang, X., and Kumar, A. (2014). A review of biomass co-firing in North America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 930-943.
41. Rosendahl, L. (2013). *Biomass combustion science, technology and engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing.
42. Demirbaş, A. (2003). Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Conversion and Management*, 44(9), 1465-1479.
43. Balat, M. (2006). Biomass energy and biochemical conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Sources*, 28(6), 517-525.

44. Bramley, J., Shih, J. C. H., Fobi, L., Teferra, A., Peterson, C., Wang, R. Y. and Rainville, L. (2011). *Agricultural biogas in the United States: A Market Assessment*. Department of Urban & Environmental Policy & Planning Tufts University. 148.
45. Mahdiyan Nasl, B. (2015). *Büyükbaş Hayvan Dişkisinden Biyogaz Üreten Bir Reaktöre Peynir Altı Suyu Eklenmesinin Reaktörün Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
46. Taşdemiroğlu, E. (1988). Review of the biogas technology in Turkey. *Biomass*, 17(2), 137-148.
47. Üstün, G. E., and Genç, B. (2015). Dünyada ve Türkiye’de biyoyakıtların durumu. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 157-164.
48. Gumisiriza, R., Hawumba, J. F., Okure, M., and Hensel, O. (2017). Biomass waste-to-energy valorisation technologies: a review case for banana processing in Uganda. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1), 11.
49. Verma, S. (2002). *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*. MSc Thesis, Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, Columbia.
50. Kumba, T. K., Akinlabi, E. T. and Madyira, D. M. (2016). *Anaerobic Digestion for Sustainable Energy: A Brief Review*. World Congress on Engineering and Computer Science (Vol. 2, pp. 19-21).
51. Igoni, A. H., Ayotamuno, M. J., Eze, C. L., Ogaji, S. O. T. and Probert, S. D. (2008). Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied energy*, 85(6), 430-438.
52. Angelidaki, I., Boe, K., and Ellegaard, L., (2005). Effect of operating conditions and reactor configuration on efficiency of full-scale biogas plants. *Water Science and Technology*, 52(1-2), 189-194.
53. Alkanok, G., (2013). *Determination of Biogas Production Potential from Various Supermarket Wastes*. MSc Thesis, Institute of Environmental Sciences of Boğaziçi University, İstanbul.
54. Islam, M. S., Islam, A., Shah, D., and Basher, E. (2013). Impact of different factors on biogas production in poultry dropping based biogas plants of Bangladesh. *Journal of Energy and Natural Resources*, 2(4), 25-32.
55. Aslanzadeh, S., and Özmen, P. (2009). *Biogas Production from Municipal Waste Mixed with Different Portions of Orange Peel*. MSc Thesis, University of Borås School of Engineering, Sweden.
56. Kavuma, C. (2013). *Variation of Methane and Carbon Dioxide Yield in a Biogas Plant*. MSc Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 17-18.
57. Kavacik, B., and Topaloglu, B. (2010). Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. *Biomass and bioenergy*, 34(9), 1321-1329.

58. İlkılıç, C., and Deviren, H. (2011). *Biyogazın oluşumunu etkileyen fiziksel ve kimyasal parametreler*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye.
59. Chynoweth, D. P., Owens, J. M., & Legrand, R. (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable energy*, 22(3), 1-8.
60. Şahin, M. (2016). *Konvansiyonel Yakıcılarda Biyogaz Yanma Karakteristiklerinin Analizi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
61. Harasimowicz, M., Orluk, P., Zakrzewska-Trznadel, G., and Chmielewski, A. (2007). Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment. *Journal of Hazardous Materials*, 144(3), 698-702.
62. İnternet: FAO/CMS. (1996). A system approach to biogas technology. biogas technology: a training manual for extension. URL: <http://www.fao.org>, Son Erişim Tarihi: 05.06.2020.
63. Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Sezer, K. ve Yağmur, K. (2009). *Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi Projesi-İstanbul örneği*. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu (pp.50-80), 15-17 Haziran, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
64. Ales Mühendislik İnş. Mad. ve Danışmanlık Hiz. San. Tic. Ltd. Şti. Türkçe Rapor Temmuz 2012, Ankara.
65. Chevalier, C., and Meunier, F. (2005). Environmental assessment of biogas co-or tri-generation units by life cycle analysis methodology. *Applied Thermal Engineering*, 25(17-18), 3025-3041.
66. Wegener, M., Malmquist, A., Isalgué, A. and Martin, A. (2018). Biomass-fired combined cooling, heating and power for small-scale applications—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 392-410.
67. Al-Sulaiman, F. A., Hamdullahpur, F. and Dincer, I. (2011). Trigeneration: a comprehensive review based on prime movers. *International Journal of Energy Research*, 35(3), 233-258.
68. Gazda, W. and Stanek, W. (2016). Energy and environmental assessment of integrated biogas trigeneration and photovoltaic plant as more sustainable industrial system. *Applied Energy*, 169, 138-149.
69. Deviren, H., İlkılıç, C., and Aydın, S. (2017). Biyogaz üretiminde kullanılabilen materyaller ve biyogazın kullanım alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2), 79-89.
70. İnternet: Monnet, F. (2003). An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes-Final Report. Caledonian Environment Centre, Scotland. <https://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2003-002%20IntroAnaerobicDigestion.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.2.2020.
71. Mittal, S., Ahlgren, E. O. and Shukla, P. R. (2018). Barriers to biogas dissemination in India: A review. *Energy Policy*, 112, 361-370.

72. Abatzoglou, N., and Boivin, S. (2009). A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(1), 42-71
73. Tilahun Mohammed, E.,(2018). *Desulfurization of Biogas Using a Membrane Bio-Scrubber*. PhD Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, Istanbul.
74. Ryckebosch, E., Drouillon, M., and Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633-1645.
75. Samer, M. (2012). *Biogas plant constructions*. S. Kumar (Ed.), In *Biogas* (pp.343-368). Croatia: InTech.
76. Fischer, T., Krieg, A., Chae, K. J., Yim, S. K., Choi, K. H., Park, W. K., and Eom, K. C. (2002). Farm-scale biogas plants. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 9, 136-144.
77. İnternet: Tecon Company. (2020). Gasholder. URL: https://www.tecon.biz/gasspeicher_en.html, Son Erişim Tarihi: 14.06.2020
78. Entürk, E., Yetilmezsoy, K., and Öztürk, M. (2006). Design of fixed-dome Chinese type biogas reactor in treatment of manure wastes: a typical application. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3, 119-127.
79. Öztürk, M. (2005). *Hayvan gübresinden biyogaz üretimi*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
80. Kumar, A., Mandal, B., and Sharma, A. (2015). *Energy sustainability through green energy*. Springer, New Delhi.
81. Fry, L. J., and Merrill, R. (1973). *Methane digesters for fuel gas and fertilizer*. Hatchville, MA: New Alchemy Institute.
82. Shah, F. A., Mahmood, Q., Rashid, N., Pervez, A., Raja, I. A., and Shah, M. M. (2015). Co-digestion, pretreatment and digester design for enhanced methanogenesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 627-642.
83. Rajendran, K., Aslanzadeh, S., and Taherzadeh, M. J. (2012). Household biogas digesters-A review. *Energies*, 5(8), 2911-2942.
84. Subramanian, S. K. (1977). *Biogas systems in Asia*. Management Development Institute Publication.
85. Bond, T., and Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347-354.
86. Shyam, M., and Sharma, P. K. (1994). Solid-state anaerobic digestion of cattle dung and agro-residues in small-capacity field digesters. *Bioresource Technology*, 48(3), 203-207.

87. Namasivayam, C., and Yamuna, R. T. (1995). Waste biogas residual slurry as an adsorbent for the removal of Pb (II) from aqueous solution and radiator manufacturing industry wastewater. *Bioresource Technology*, 52(2), 125-131.
88. Sreekrishnan, T. R., Kohli, S. and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10.
89. Khoiyangbam, R. S. (2011). Environmental implications of biomethanation in conventional biogas plants. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 2(2), 181-187.
90. İnternet: Pal Gas Services & Distribution Company (2020). URL: <http://www.palgaz.ps/?TemplateId=info&PageId=45&MenuId=26&Lang=1>, Son Erişim Tarihi: 15.6.2020.
91. Samah, E. (2016). *Measuring small-scale biogas capacity and production*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA).
92. Al-Jaber, A. (1993). *Biyogaz teknolojisi ve Filistin topraklarındaki beklentileri*. Filistin Enerji Araştırma Merkezi, Kudüs.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ANTARI, Lina
 Uyuğu : FİLTİN
 Doğum tarihi ve yeri : 05.04.1994 Nablus
 Medeni hali : Bekar
 E-Posta : lena.o.antari@gmail.com
 Cep Telefonu : 90 (534) 854 1329



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Enerji Sist. Müh	2020
Lisans	Najah University/ Energ Engineering	2017
Lise	Kamal Junblat Secondary School for Girls	2012

İş Deneyimi

-

Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe

Yayınlar

1. Yasin, A., Barakat, D., Antari, L., and Assaf, N. (2015). *University Students Practices Related to Energy Conservation: A survey-based study*, 5th International Energy Conference (IECP5), Palestine.

Hobiler

Müzik Dinlemek, Yüzmek, Seyahat Etmek



GAZİ GELECEKTİR..