T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ELDESİ VE DİYARBAKIR KAPSAMINDA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Bülent BAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Haziran - 2021

T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Bülent BAL tarafından yapılan "Hayvansal Atıklardan Biyogaz Eldesi ve Diyarbakır Kapsamında Potansiyelinin İncelenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fuat GÜZEL

Üye : Prof. Dr. Haluk AYDIN

Üye : Prof. Dr. Zülfiye İLTER

Tez Savunma Sınav Tarihi: 23 / 06 / 2021

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.. / .. / 2021

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince bilgi, birikim ve tecrübelerinden istifade ettiğim başta danışman hocam Prof. Dr. Haluk AYDIN'a, Doç. Dr. Ahmet Konuralp Eliçin'e, Araştırma Görevlisi Halis DEVİREN'e teşekkür ederim. Tesislerinden istifade etmemi sağlayan ASKOÇ enerji Diyarbakır personellerinden Mahsun TÜRKOĞLU'na, Elektrik Mühendisi Ebubekir DİRİ'ye ve ASKOÇ Enerji Diyarbakır ailesine teşekkür ederim. Diski Genel Müdürlüğüne ve atık su arıtma tesisi personellerinden Halil YALÇIN'a, teknik araç-gereç temini ile sistemin oluşturulmasında yardımcı olan soğutma sistemleri teknik elemanları Gültekin BAL ve Kamil BAL'a teşekkür ederim.

Bülent BAL

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR…….		I
İÇİNDEKİLER…….....		II
ÖZET…….....		V
ABSTRACT…….....		VI
ÇİZELGE LİSTESİ…….....		VII
ŞEKİL LİSTESİ…….....		VIII
KISALTMA VE SİMGELER…….		X
1.	**GİRİŞ**……..…….....	1
1.1.	Enerji ve Etkileri……..……...	1
1.2.	Biyogazın Tarihçesi……..……...	3
1.3.	Dünya'da ve Türkiye'de Biyogaz Üretimi ve Tüketimi……	4
1.3.1.	Dünya'da Biyogaz Üretim ve Tüketimi…….....	4
1.3.2.	Türkiye'de Biyogaz Üretim ve Tüketimi……...	5
1.4.	Biyogaz ve Özellikleri…….	9
1.5.	Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları…….	11
1.6.	Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Maddeler……	13
1.7.	Biyogazın Başlıca Bileşenleri…….	14
1.7.1.	Metan (CH_4)……	14
1.7.2.	Karbondioksit (CO_2)…….....	15
1.7.3.	Hidrojen Sülfür (H_2S)…….	15
1.7.4.	Nem (H_2O)…….....	16
1.8.	Biyogaz Oluşumunun Biyokimyası……	17
1.8.1.	Fermantasyon ve Hidroliz Aşaması……	17
1.8.2.	Asit Oluşumu (Asetojenez) Aşaması…….....	17
1.8.3.	Metan Oluşumu (Metanojenez) Aşaması……	18
1.9.	Biyogazın Elde Edildiği Sıcaklık Aralığına Göre Fermantasyon Türleri…..	19
1.9.1	Psikofilik (Sakrofilik) Fermantasyon (3 - 20 ºC)……	20
1.9.2.	Mezofilik Fermantasyon (20 - 40 ºC)……..	20
1.9.3.	Termofilik Fermantasyon (40 - 70 ºC)…….....	20
1.10.	Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler…….....	21
1.10.1.	Sıcaklık…….....	21
1.10.2.	Hidrolik Bekleme Süresi (HBS)……..	22

1.10.3. pH……... 24
1.10.4. Karıştırma…… 26
1.10.5. Karbon/Azot (C/N) Oranı…… 27
1.10.6. Alkalinite ve Uçucu Asitler …… 28
1.10.7. Mikroorganizma Konsantrasyonu……... 29
1.10.8. Toksisite…….. 29
1.10.9. Organik Madde Yükleme Oranı…….. 30
1.10.10. Basınç…….. 30
1.10.11. Ham madde Türü ve Katı Madde İçeriği ……... 31
1.11. Biyogaz Saflaştırma Yöntemleri……. 32
1.11.1. CO_2 ve H_2S Ayrıştırma Yöntemleri ……... 34
1.11.1.1. Kriyojenik Ayırma (Yoğuşturma)……... 34
1.11.1.2. Basınçlı Suyla Yıkama…… 34
1.11.1.3. Polietilen Glikol (PEG) Kullanma…….. 35
1.11.1.4. Membran Kullanarak Ayırma……. 36
1.11.1.5. Adsorpsiyon ……... 36
1.11.1.6. Aktif Karbon……... 37
1.11.1.7. Demir Oksit İle Saflaştırma……. 38
1.11.1.8. Demir (III) klorür (FeCl3) Kullanımı……. 39
1.11.1.9. Sülfürik Asit (H2SO4) ve Sodyum Hidroksit (NaOH) ile Saflaştırma…….. 39
1.11.1.10. Zeolitler ve Moleküler Eleklerin Kullanımı…… 40
1.11.2. Nemden Arındırma(Kurutma) Yöntemleri ……. 40
1.11.2.1. Yoğuşturma……. 41
1.11.2.2. Adsorpsiyon Yöntemi …… 42
1.12. Biyogaz Üretim Tesisleri ……... 42
1.12.1. Tarımsal Biyogaz Tesisleri ……. 42
1.12.1.1. Aile Tipi Biyogaz Tesisleri……. 42
-Çin Tipi-Sabit Kubbeli Reaktörler……. 43
-Hint Tipi Reaktörler……... 43
-Tayvan-Çin Tipi Reaktörler……... 43
1.12.1.2. Çiftlik Tipi Biyogaz Tesisleri…….. 43
1.12.1.3. Merkezi Biyogaz Tesisleri…….. 44
1.12.2. Atık Su Arıtma Tesisleri……. 46
1.12.3. Katı Atık Arıtma Tesisleri……... 47
1.12.4. Endüstriyel Biyogaz Tesisleri……. 48
1.12.5. Çöp Gazı Geri Kazanım Tesisleri……... 48
1.13. Biyogazın Kullanım Alanları……..... 49
1.13.1. Araçlarda Yakıt Olarak Kullanımı ……. 50

1.13.2. Biyogazın Tarımda Kullanımı……. 51
1.13.3. Biyogazın Endüstriyel Kullanımı…… 51
1.13.3.1. Yakıt Pilleri…….. …….. 51
1.13.3.2. Biyogaz Mikro-Türbinleri……... 52
1.13.3.3. Kojenerasyon/Birleşik Isı Güç Sistemi (CHP)…… 52
1.13.4. Biyogazın Evsel Kullanımı……. 55
1.13.5. Fermente Gübre Kullanımı …… 55
1.14. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemlerin (tesislerin) Bölümleri…… 56
1.14.1. Atık Toplama ve Dengeleme Tankları…… 56
1.14.2. Digester (Reaktör) Tankı ……..……... 56
1.14.3. Gaz Depolama Bölümü……... 57
1.14.4. Saflaştırma Üniteleri……... 57
1.14.5. Kojenerasyon Ünitesi…….. 57
1.14.6. Flare (Gaz Yakma Bacaları)…… 58
1.14.7. Biyogaz Tesis Kontrol Ünitesi (Otomasyon)…….. 59
1.14.8. Fermente Gübre Depolama Alanı……... 59
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR…… 61
3. MATERYAL ve METOT……. 67
3.1. Materyal……..... 67
3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar……. 68
3.3. Metot……..... 68
3.3.1. Deney Düzeneğini Hazırlama, Biyogaz Eldesi ve Saflaştırma İşlemi…… 68
3.3.2. Diyarbakır İli Hayvansal Atık Potansiyelinin Hesaplanması ……. 71
4. BULGULAR VE TARTIŞMA……. 73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER…….……..... 83
6. KAYNAKLAR……..... 85
ÖZGEÇMİŞ……... 93

ÖZET

HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ELDESİ VE
DİYARBAKIR KAPSAMINDA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bülent BAL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

2021

Bu çalışmada, büyükbaş hayvan gübresinden elde edilen biyogazın, su ve silikajeller kullanılarak saflaştırılması, saflaştırma öncesi ve sonrası gazın yanma kalitesinin ölçülmesi ve Diyarbakır tarım il müdürlüğünün verilerine dayanarak Diyarbakır ilinin biyogaz potansiyelinin hesaplanması amaçlanmıştır. Biyogaz üretimi temelde 3 aşamadan oluşmaktadır, hazırlık, fermantasyon ve saflaştırma. Hazırlık aşamasında, deneyler için dayanıklı sanayi malzemeleri ile yapılan fermentör sistemine 1/1 oranında sulandırılan 1 kg büyükbaş gübresi kullanıldı. Fermantasyon aşamasında, fermentör sisteminin pH 6.8 olarak ayarlandı ve 38 ºC sıcaklıkta, 30 devir/dakika hızla, belli aralıklarla karıştırılarak 30 gün boyunca metanojen bakteriler tarafından biyogaz sentezlendi. İşlem sonunda 34.80 litre biyogaz elde edildi. Saflaştırma işlemi için su tankı ile nem ve silikajellerin bulunduğu filtrelerden oluşturulan saflaştırma düzeneği kullanılarak ham biyogaz saflaştırıldı. Saflaştırma öncesi ve sonrası biyogazın yanma deneyleri yapılarak alevlerin fiziksel özellikleri karşılaştırıldı. Sonrasında Diyarbakır Tarım İl Müdürlüğünün 2020 yılı verileri dikkate alınarak Diyarbakır İlinin hayvan gübresinden elde edilecek biyogaz potansiyeli hesaplandı. Hesaplamalara göre Diyarbakır için yıllık toplam elde edilebilir biyogaz miktarı 23 703 443.67 m^3 ve buna karşılık gelen yıllık toplam enerji miktarı da 110 742 126.70 kWh olarak hesaplandı. Bu enerji miktarı aylık ortalama 200 kWh, yıllık ortalama 2400kWh elektrik tüketen 46 142 hanenin bir yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı bakımından Türkiye'de dördüncü sırada bulunan Diyarbakır İlinin hayvansal gübre kaynaklı biyogaz potansiyelinin yüksek olduğu anlaşıldı. İlin bu potansiyelinin, hem enerji hem de organik gübre temini konusunda istihdam ve katma değer sağlayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak, kurulacak biyogaz tesisleri için Çınar, Ergani, Silvan, Bağlar ve Kayapınar ilçelerinin konumlarından ve potansiyellerinden dolayı en uygun yerler olacağı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Saflaştırma, Sığır gübresi, Diyarbakır

ABSTRACT

BIOGAS PRODUCTION FROM ANIMAL VASTES AND INVESTIGATION OF THE POTENTIAL IN DİYARBAKIR

MASTER THESIS

Bülent BAL

DEPARTMENT OF CHEMISTRY OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE UNIVERSITY OF DİCLE

2021

In this study, it was aimed to purify the biogas obtained from cattle manure by using water and silica gels, to measure the combustion quality of the gas before and after purification and to calculate the biogas potential of Diyarbakır Province based on the data of Diyarbakır provincial directorate of agriculture. Biogas production basically consists of 3 stages, preparation, fermentation and purification. In the preparation phase, 1 kg of cattle manure diluted in a ratio of 1/1 was used for the experiments which are done in the fermentation reactor system made with durable industrial materials. During the fermentation phase, the pH of the sludge in the fermentation reactor system was adjusted as 6.8, and biogas was synthesized by methanogen bacteria for 30 days at 38 ºC temperature, 30 rev/min. At the end of the process, 34.80 liters of biogas was obtained. For the purification process, crude biogas was purified by using a water tank and a purification system formed from filters containing moisture and silica gels. Before and after purification, the physical properties of the flames were compared by making biogas combustion experiments. Afterwards, the biogas potential of Diyarbakır Province from the cattle manure was calculated, taking into account the 2020 data of Diyarbakır Provincial Directorate of Agriculture. According to the calculations, the annual total available biogas amount for Diyarbakır Province was calculated as 23 703 443.67 m^3 and the corresponding annual total energy amount was 110 742 126.70 kWh. This amount of energy meets the annual electrical energy requirement of 46 142 households that consume an average of 200 kWh per month and an average of 2400 kWh per year. Based upon the data obtained, cattle, sheep and goats in terms of the number of animals in Diyarbakir, which ranks fourth in Turkey, biogas of cattle manure is understood that a high potential as well as it is thought that the province will provide employment and add value in terms of both energy needs and organic fertilizer supply. As a result, it has been determined that Çınar, Ergani, Silvan, Bağlar and Kayapınar districts will be the most suitable locations for the biogas plants to be established due to their location and potential.

Keywords: Biogas, Purification, Cattle manure, Diyarbakır

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	Türkiye'de 2000-2030 aralığı için planlanan biokütle enerji üretimi	8
Çizelge 1.2.	Biyogazın genel özellikleri	9
Çizelge 1.3.	Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması	10
Çizelge 1.4.	Biyogazın ısıl değerinin bazı enerji kaynakları ile karşılaştırılması	10
Çizelge 1.5.	H_2S'in insan sağlığı üzerine etkileri	15
Çizelge 1.6.	Sıcaklık aralıklarına göre hidrolik bekleme süreleri	23
Çizelge 1.7.	Organik maddelerin C/N oranları	28
Çizelge 1.8.	Bazı engelleyicilerin anaeroblar üzerindeki etkilerinin sınır değerleri	30
Çizelge 1.9.	Bazı maddelerin TK ve UK yüzdeleriyle biyogaz verimleri	31
Çizelge 1.10.	Biyogaz içeriğindeki gazların bileşim değerleri	32
Çizelge 1.11.	Biyogazın bazı bileşenlerinin 20 °C ve 1 atm basınçta sudaki çözünürlüğü	35
Çizelge 3.1.	Diyarbakır ilinin ilçeler bazında 2020 yılına ait hayvan türü ve sayıları	67
Çizelge 3.2.	Farklı hayvan türlerinin yıllık elde edilebilir yaş gübre miktarları	71
Çizelge 3.3.	Hayvan cinsine bağlı olarak yaş gübreden elde edilebilecek toplam katı atık miktarları ve toplam elde edilebilir katı madde miktarı	72
Çizelge 3.4.	Bazı hayvan türlerine ait gübrelerin biyogaz değerleri	72
Çizelge 4.1.	Diyarbakır ilinin büyük baş hayvan sayısı bakımından Türkiye sıralaması	74
Çizelge 4.2.	Diyarbakır ilinin Küçük baş hayvan sayısı bakımından Türkiye sıralaması	74
Çizelge 4.3.	Diyarbakır ilinin ilçeler bazında hayvan türüne bağlı olarak elde edilebilecek yaş gübre miktarları	75
Çizelge 4.4.	Hayvan türüne bağlı olarak elde edilebilecek yaş gübre, katı madde(KM) ve elde edilebilir KM miktarları	76
Çizelge 4.5.	Elde edilebilir büyükbaş KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri	77
Çizelge 4.6.	Elde edilebilir küçükbaş KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri	78
Çizelge 4.7.	Elde edilebilir kümes hayvanı KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri	79
Çizelge 4.8.	Diyarbakır ili büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından elde edilebilir KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri	80
Çizelge 4.9.	Diyarbakır ilçelerinin biyogaz ve enerji potansiyelleri bakımından sıralaması	81

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Biyogaz üretim ve tüketim çevrimi	3
Şekil 1.2.	Dünyadaki fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri	4
Şekil 1.3.	Türkiye 2018 yılı Ocak ayı itibariyle elektrik üretiminin kaynaklar bazında dağılımı	7
Şekil 1.4.	2017 yılı itibariyle Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücü	7
Şekil 1.5.	Madde bazında biyogaz üretim miktarları	14
Şekil 1.6.	Biyogazın gaz deposu ve bağlantı elemanları üzerindeki korozif etkisi	16
Şekil 1.7.	Anaerobik çürüme ile biyogaz oluşum kademeleri	19
Şekil 1.8.	Metan bakterilerinin türüne göre sıcaklıkla optimal büyüme oranları	21
Şekil 1.9.	Hidrolik bekleme süresince metan bakterileri ile metan oluşumundaki değişimin mikroskop altında görünümü	24
Şekil 1.10.	Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü	25
Şekil 1.11.	Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin faaliyeti	25
Şekil 1.12.	Polietilen glikol ayrıştırma ünitesi	35
Şekil 1.13.	Aktif karbon ve aktif karbonun gözenekli yapısının elektron mikroskobundaki görüntüsü	37
Şekil 1.14.	Biyogazı H_2SO_4 ve KOH ile yıkama yöntemi	39
Şekil 1.15.	Biyogaz tesisinde kullanılan chiller ünitesi	41
Şekil 1.16.	Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü	42
Şekil 1.17.	Çiftlik tipi bir biyogaz tesisi	44
Şekil 1.18.	Merkezi biyogaz tesisi	45
Şekil 1.19.	Merkezi bir biyogaz tesisinin işleyiş döngüsü	46
Şekil 1.20.	Merkezi bir biyogaz tesisinin çalışma ilkesi	46
Şekil 1.21.	Atık su arıtma tesisinin bazı bölümlerinin dıştan görünümü	47
Şekil 1.22.	Evsel katı atıklar için planlanmış bir biyogaz tesisi	48
Şekil 1.23.	Endüstriyel bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld	48
Şekil 1.24.	Çöp gazı geri kazanım tesisi	49
Şekil 1.25.	Performans yönünden biyoyakıtların kıyaslanması	50
Şekil 1.26.	Yakıt pilinin yapısı	52
Şekil 1.27.	Ayrı sistemlerde ısı ve elektrik üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 1.28.	Kojenerasyon sisteminin şematik görünüşü	54
Şekil 1.29.	Elektrik ve ısı eldesinde kullanılan kojenerasyon üniteleri	54
Şekil 1.30.	Biyogazın evsel kullanım araçları	55

Şekil 1.31.	Atık toplama ve dengeleme tankları	56
Şekil 1.32.	Digesterin görünümü	57
Şekil 1.33.	Elektrik ve ısı üretiminin yapıldığı motorlar	58
Şekil 1.34.	Flareler(gaz yakma bacaları)	58
Şekil 1.35.	Biyogaz tesisi enerji santrali otomasyonu	59
Şekil 1.36.	Fermente katı gübrenin toplanma alanı	59
Şekil 3.1.	Biyogaz eldesi ve saflaştırılması için kullanılan materyaller, alet ve cihazlardan bazıları	68
Şekil 3.2.	Biyogaz reaktörünün dıştan görünümü ile şematik görünümü	69
Şekil 3.3.	pH ölçümünde kullanılan araçlar	69
Şekil 3.4.	Biyogaz saflaştırma ünitesi ile ünitenin şematik görünümü	70
Şekil 4.1.	Saflaştırma öncesi biyogazın aydınlık ve karanlık ortamlardaki yanma görüntüleri	73
Şekil 4.2.	Saflaştırma sonrası biyogazın aydınlık ve karanlık ortamlardaki yanma görüntüleri	74

KISALTMA VE SİMGELER

$6C_2NH_3\,3H_{12}O$	: Proteinler
^0A	: Angström
^oC	: Derece santigrat
AB	: Avrupa Birliği
BP	: British Petroleum
C	: Karbon
$Ca(OH)_2$	: Kalsiyum hidroksit
Cd	: Kadmiyum
CH_4	: Metan
$CH_3CH_2\,COOH$	: Propanoik asit
$CH_3(CH_2)_2\,COOH$	: Bütirik asit
$CH_3\,(CH_2)_{\,n}\,COOH$	: Uçucu yağ asitleri(n=2,3,4)
CH_3COOH	: Asetik asit
$C_5H_{10}O_5$	: Ksiloz
$C_6H_{12}O_6$	: Glukoz
$(C_6H_{10}O_5)_n$	: Karbonhidratlar
$C_{50}H_{90}O_6$	: Yağlar
CHP	: Combined head and power
CNG	: Sıkıştırılmış doğal gaz
C/N	: Karbon azot oranı
CO_2	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Dk	: Dakika
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
$FeCl_3$	: Demir (III) klorür
FeO	: Demir(II) oksit
Fe_2O_3	: Demir (III) oksit
FeS	: Demir (II) sülfür
Fe_2S_3	: Demir (III) sülfür
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GWh	: Gigawatt saat

H_2 : Hidrojen

H^+/H_3O^+ : Hidrojen iyonu/hidronyum iyonu

HBS : Hidrolik bekleme süresi

HCO_3^- : Bikarbonat

H_2CO_3 : Karbonik asit

HES : Hidroelektrik enerji santrali

Hg : Cıva

H_2O : Su

HS : Hayvan sayıları

H_2S : Hidrojen Sülfür

H_2SO_4 : Sülfürik asit

Kg : Kilogram

KI : Potasyum iyodür

km^2 : Kilometre kare

KM : Katı madde

KOH : Potasyum hidroksit

kPa : Kilo paskal

kWh : Kilowatt saat

l : Litre

LPG : Likit petrol gaz

m^2 : Metrekare

m^3 : Metre Küp

mg : Miligram

ml : Mililitre

MW : Megawatt

MT : Milyon ton

MTEP : Milyon ton eşdeğer petrol

N/N_2 : Azot/azot gazı molekülü

NaCl : Sodyum klorür

Na_2CO_3 : Sodyum karbonat

$NaHCO_3$: Sodyum bikarbonat

$NaHSO_4$: Sodyum hidrojen sülfat

NaOH : Sodyum hidroksit

Na_2S : Sodyum sülfür

Na_2SO_3 : Sodyum sülfit

NH_3	: Amonyak
NH_3-N	: Amonyak azotu
NH_4^+	: Amonyum
NH_4HCO_3	: Amonyum bikarbonat
Ni	: Nikel
NO_3^-	: Nitrat
NO_x	: Azot oksitler
O_2	: Oksijen
Pb	: Kurşun
PEG	: Polietilen glikol
pH	: Power of hydrogen(hidrojenin asitlik gücünün ölçüsü)
ppm	: Milyonda bir
PVC	: Polivinil klorür
SO_2	: Kükürt dioksit
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TK	: Toplam katı
TUA	: Toplam uçucu asit
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UK	: Uçucu katı
UV	: Ultraviyole
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynakları
Zn	: Çinko

1.GİRİŞ

1.1. Enerji ve Etkileri

Küresel ölçekte çevre kirliliğinin, ülkeler arası anlaşmazlıkların ve ekonomik krizlerin temelinde, hızla artan dünya nüfusu ve sanayileşmeyle beraber ortaya çıkan enerji açığı yatmaktadır. Bu da fosil yakıt kullanımının artmasına arz-talep dengesizliğine ve enerji fiyatlarının artmasına neden olmaktadır. Talep yoğunluğundan dolayı fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Ülkelerin fosil yakıtlara bu denli bağımlı olması sıklıkla enerji krizlerine neden olmaktadır. Fosil yakıtların gelecekte tükenecek olması ve bu bağımlılıktan kaynaklanan enerji krizleri 30-40 yıl sonra daha da derinleşecek ve gerek ekonomik ve gerekse çevresel açıdan ağır sonuçlar doğuracaktır.

Fosil yakıtların kullanılması sera gazları salınımının artmasına, buna bağlı olarak ta küresel ısınma meydana gelmektedir. Küresel ısınmanın artması buzulların erimesine su seviyesinin yükselmesiyle karaların sular altında kalmasına, bu bölgelerde yaşayan canlıların aç kalma ve uyum sağlama problemleriyle karşı karşıya kalmalarına dolayısıyla habitatlarını değiştirmelerine veya yok olmalarına neden olurken kutuplarda yaşayan canlı türlerinin de neslinin tükenmesine neden olmaktadır.

Dünyanın 2019 yılından beri mücadele ettiği Covid 19 benzeri bir salgınla karşılaşmaması için buzullarda ve kutuplarda hapsolmuş virüs türlerinin serbest kalmaması, olası başka bir pandeminin engellenmesi için de sera gazlarının salınımının durdurulması veya minimize edilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının(YEK) kullanımının desteklenmesi gerekmektedir. Enerjinin ekonomik, stratejik ve çevresel etkileri göz önüne alındığında enerji üretim ve temininin sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla mümkün olacağı açıktır. Biyogaz üretimi ve kullanımı da bu ihtiyaca yönelik ilginin arttığı ve giderek yaygınlaştığı alternatif çözümlerden biridir. Fosil yakıtlardan olan doğal gaz %95 civarı metandan oluşmaktadır. Doğalgazın milyonlarca yılda oluştuğu düşünülürse biyogazın organik atıklardan bir ay gibi bir sürede üretilebilmesi büyük bir avantajdır.

Ülkelerin atık maddelerden kendi ihtiyaçları olan enerjiyi üretmeleri hem çevre hem de ekonomik sorunların çözümü için önem arz etmektedir. Hayat devam ettiği sürece organik atıklar olacaktır bu da tükenmeyen yenilenebilen bir enerji kaynağı

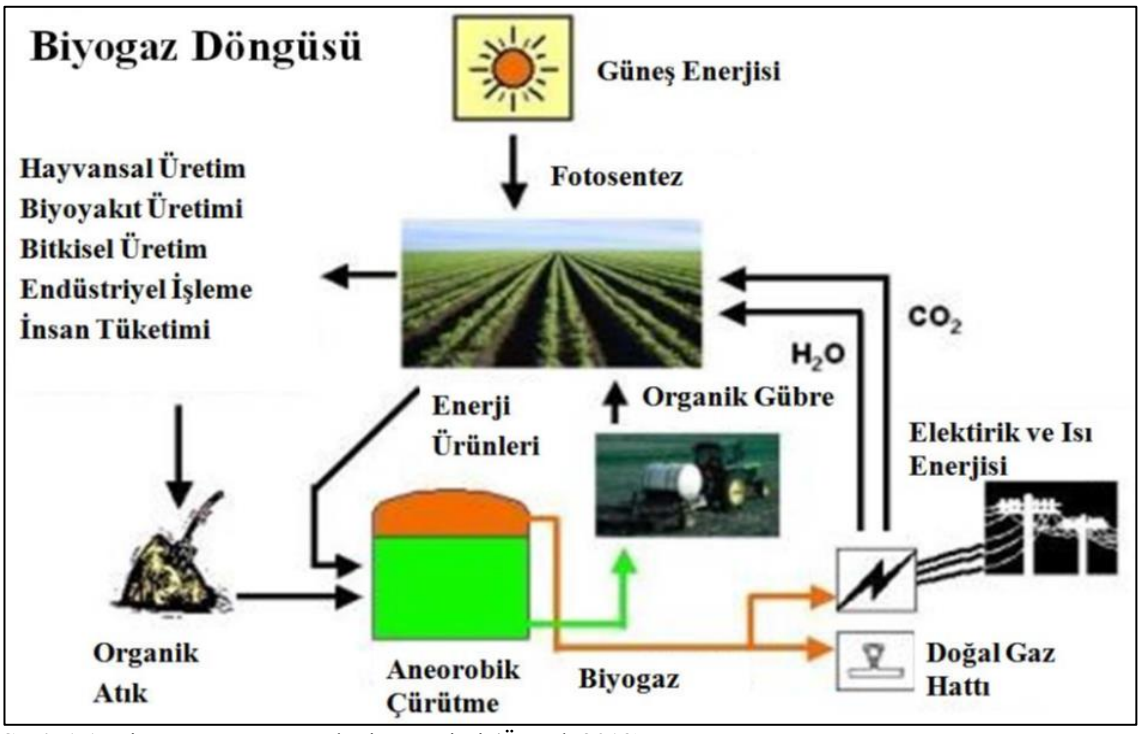
demektir. Biyogaz atıkların değerlendirilerek elde edilmesi noktasında önemli bir alternatif enerji kaynağı olmaktadır.

Canlılar enerji olduğu sürece yaşarlar. Canlıların enerjilerinin kaynağı güneştir. Bitkiler güneş enerjisini fotosentezle bir çeşit biokütle enerjisine dönüştürmektedir. Güneş enerjisinin fotosentezle dolaylı olarak bitkilerde depolanması muazzam bir enerjinin organik maddelerde depolanması demektir. Bitkilerde biriken bu enerji etçil ve otçul canlılara da bitkilerden geçmektedir. Ancak bu enerjinin tamamı canlı bünyesinde tüketilmemekte, büyük bir kısmı atıklarla birlikte doğaya atılmaktadır. Bitkilerde depolanmış enerjinin verimli kullanılması bu atıklarda kalan enerjinin açığa çıkarılmasıyla mümkün olabilmektedir. Biokütleden enerji elde edilmesi bu amaca yönelik geliştirilen bir teknolojidir. Bu teknoloji ile doğaya ait olanı doğaya geri vererek döngüye katkı sunulmaktadır.

Dünya'da enerji kaynakları bakımından yetersiz olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını farklı yollardan gidermeye çalışmaktadır. Bu yolardan biri fosil yakıtlar olarak bilinen petrol, kömür, doğalgaz, likit petrol gaz (LPG), sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) gibi yenilenemeyen enerji kaynakları iken diğer bir yol da Güneş, rüzgar, hidroelektrik, termal enerji, biyoyakıtlar, biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olanlar Güneş ve rüzgar enerjisi iken bu enerji türlerinin veriminin gece-gündüz olmasına, mevsimsel hava şartlarına ve meteorolojik değişkenlere bağlı olmasına karşın biyogazın bu değişkenlerden bağımsız olması, atıklardan elde edilebilirliği ve dolayısıyla çevre kirliliğini azalttığı düşünüldüğünde ona artı özellikler kazandırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjide dışa bağımlılığı azaltan fiyatların istikrarsızlığını önleyen alternatif enerji kaynaklarıdır. Ülkeler enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, enerji fiyatlarındaki değişen dünya dengelerinden kaynaklı dalgalanmalardan etkilenmemek veya bu etkileri minimize etmek için enerji politikalarını değiştirme yoluna gitmektedir. Gelişmiş ülkeler saydığımız nedenler dışında çevre ile ilgili imzaladıkları sözleşmeler gereği yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ülkemiz gibi enerji kaynakları az olan ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamakta iyi bir yöntemdir. Biyogaz üretimiyle elde edilecek olan enerji insanoğluna iyi bir enerji ve gübre kaynağı sunarken fosil

yakıtlardan kaynaklanan karbon salınımını engelleyerek doğanın net karbon dengesini de korumaya katkı sağlayacaktır. Doğal dengenin bir parçası olan biyogaz üretim ve tüketimi Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi çevrimsel bir süreçtir. Biyogaz elde edilmesi ve kullanımı bu sürecin daha sağlıklı yürümesine yardımcı olacaktır.



Şekil 1.1. Biyogaz üretim ve tüketim çevrimi (Öztürk 2019)

1.2. Biyogazın Tarihçesi

Biyogaz ile ilgili bilgiler Çin'deki 2000-3000 yıl öncesine uzanan kayıtlara dayanmaktadır. Eldeki kayıtlar biyogazın ilk olarak Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında kullanılmaya başladığını göstermektedir. Ancak biyogazın bilim çevrelerince ilgisini çekmesi ve araştırılmaya başlaması o kadar eski değildir. Robert Boyle, 1682 yılında bitkisel ve hayvansal atıkların çürümesi sonucu gaz oluştuğunu söylemiştir. 17.yüzyılda Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozunmasıyla yanıcı bir gazın açığa çıktığını belirterek Robert Boyle ile birbirini destekleyen fikirler sunmuştur. Kont Alessandro Volta ise 1776 yılında, bozunma sonucu açığa çıkan gaz miktarıyla, bozunan organik madde miktarı arasındaki ilişkiyi göstermiştir. 1821 yılında Avagadro yaptığı çalışmalar sonucunda bu gazın metan olduğunu söylemiş ve metanın simgesini CH_4 olarak literatüre geçirmiştir. 1868'de Bechamp ve 1873'te de Popoff, metan üretiminin bakteriler tarafından gerçekleştirildiğini belirtmiştir. 19. yüzyılda Louis

Pasteur maya kullanarak şekerin alkole dönüşümünü araştırırken fermantasyonun organik maddelerin ferment denen bir canlı tarafından gerçekleştirildiği sonucuna varmış, 1884'te hayvan atıklarından biyogaz elde edilmesiyle ilgili çalışmalar yapmış ve at gübresinden biyogaz elde ederek bu gazın sokak lambalarının yakılmasında kullanılabileceğini söylemiştir.

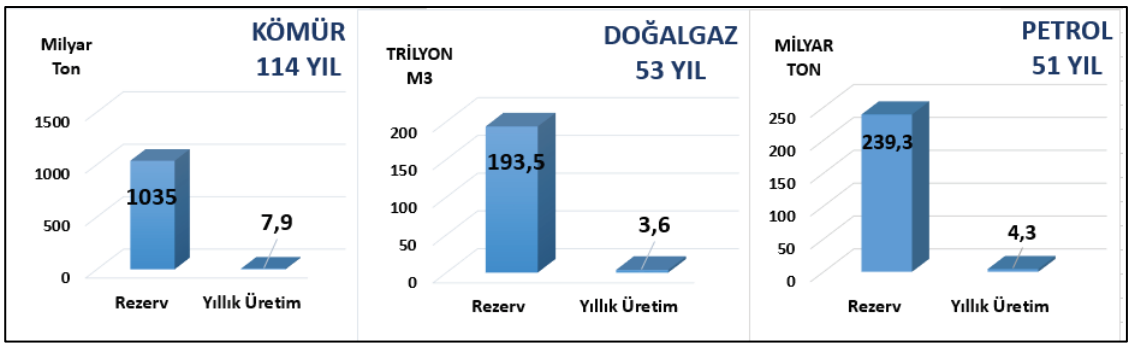
Biyogazın işletilmesi ile ilgili elde edilen bulgulara göre ilk gelişmiş biyogaz reaktörü 1859'da Bombay'da kurularak işletilmiştir (Eryaşar 2007). Ayrıca kanalizasyon şebekesinin toplandığı özel bir tesiste elde edilen biyogaz 1895 yılında İngiltere'nin Exeter şehrinde sokak lambalarında kullanılarak şehrin aydınlatılmasında kullanılmıştır (Sözer ve Yaldız 2006).

Petrolün kullanılmaya başlamasından önce biyogazın dünyada yaygınlaşmaya başlaması 1900'lü yılların ilk çeyreğinde gerçekleşmiştir. Petrolün kullanılmasıyla biyogazdan vaz geçilmiş ancak 1980'li yıllarda enerji krizinin başlamasıyla biyogaz tekrar gündeme gelmiştir (Buğutekin 2007).

1.3. Dünya'da ve Türkiye'de Biyogaz Üretimi ve Tüketimi

1.3.1. Dünya'da Biyogaz Üretim ve Tüketimi

Dünya fosil yakıt rezervlerinin sınırlı ve giderek azalıyor olmasına karşın tüm dünyada hızla artan nüfus ve sanayi, enerji ihtiyacını orantısız bir şekilde artırırken fosil kaynakların da hızla azalmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması enerji krizlerine neden olacaktır. Bu da alternatif enerji kaynakları arayışını kaçınılmaz kılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına (ETKB) ait istatistiki verilerinden elde edilmiş fosil yakıtların ömürlerine ilişkin grafik Şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Dünyadaki fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri (ETKB 2016)

Küresel çapta yaşanan enerji krizleri ve artan çevre sorunları, ülkelerin enerji konusunda çeşitli alternatif enerji kaynakları arama çabasına girmelerini zorunlu hale getirmiştir. Ülkeler gelecekteki enerji ihtiyaçlarını ve uluslararası sözleşmelerle güvence altına alınmaya çalışılan çevresel hassasiyetleri göz önünde bulundurarak alternatif enerji kaynaklarını artırma yoluna gitmektedirler. Ülkeler planlanan hedeflere ulaşabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kısa ve uzun vadeli planlarına dahil etmektedirler (Çevik 2016).

Dünya'da biyogaza ilgi giderek artmaktadır. Dünyadaki tesis sayısının %75-80'i Çin'de bulunmaktadır. Ardından Hindistan gelmekte ancak Hindistan'daki tesislerin bir kısmı atıl durumda bulunmaktadır. Avrupa'da biyogaza yatırım yapan ülkelerden Danimarka ve Finlandiya'da tüketilen toplam enerjinin %10'u, Avusturya'da %13'ü, İsveç'te ise %16'sı biokütleden karşılanmaktadır (Ar ve ark. 2003).

Avrupa Birliği (AB) gerek enerji ihtiyaçlarının bir bölümünü karşılamak, gerekse çevresel açıdan yerine getirmek zorunda oldukları yükümlülüklerinden dolayı enerji politikalarında değişikliklere gitme yolunu seçmişlerdir. Bu anlamda AB'nin planlanan hedefleri doğrultusunda 2030 yılında enerji ihtiyaçlarının %34'ünü petrolden, %27'sini doğalgazdan, %16'sını katı yakıtlardan, %12'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) ve %11'ini nükleer enerjiden karşılamaları beklenmektedir (Öner 2009).

1.3.2. Türkiye'de Biyogaz Üretim ve Tüketimi

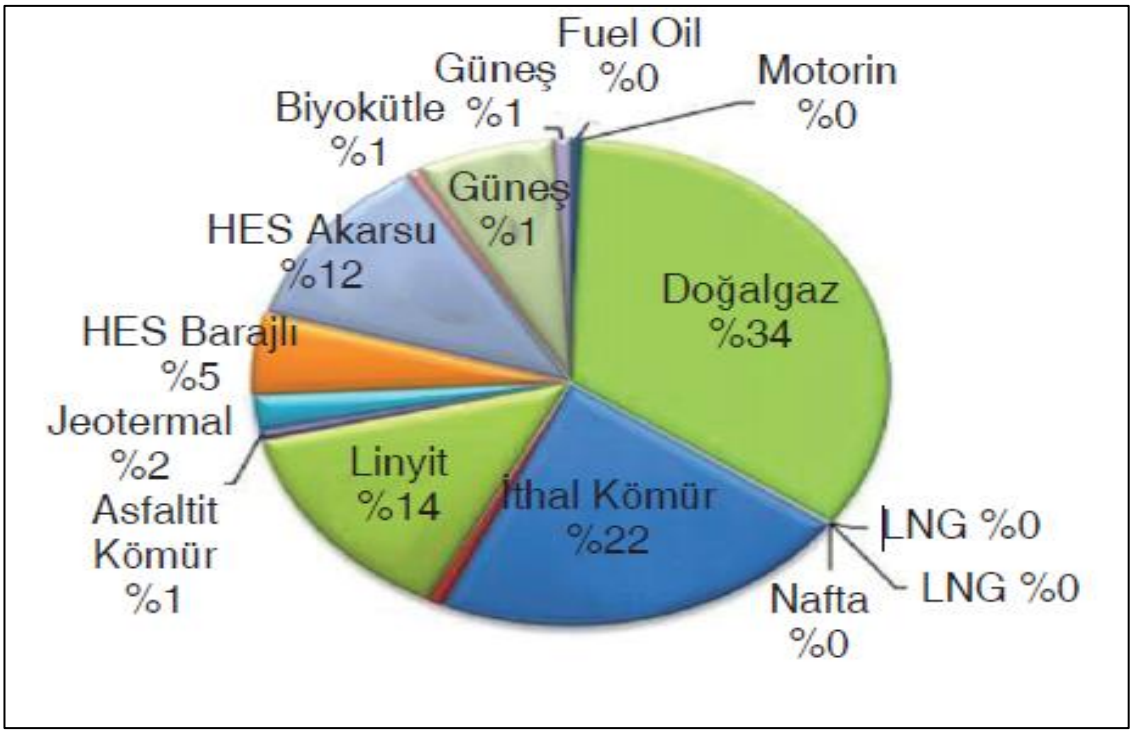
Biyogaz üretimiyle ilgili ilk çalışmalar Tarım Bakanlığı'na bağlı Toprak Su Araştırma Enstitüsü bünyesinde 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, beş adedi Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde, iki adedi Eskişehir köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam sekiz adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Çalışmalar 1969 yılına kadar devam etmiştir. Bunların bazılarından iyi sonuç alınmasına rağmen, yönetimlerin biyogaz üretimine yönelik çalışmalara yeterince önem vermemesi, devlet desteğinin yetersizliği, çalışmaları yönlendirecek ve yürütecek bir kurumun olmaması, teknik eleman yetersizliği ve çiftçilerin/üreticilerin yeterince eğitilip bilinçlendirilememesi gibi sebeplerden dolayı biyogaz ile ilgili yapılan girişimlerden sonuç alınamamıştır (Eryaşar 2007). Ayrıca tesis tasarım ve yapı maliyetlerinin yüksek olması, mevcut politika ve piyasa araçlarının yetersizliği, hayvan

yetiştiriciliğinin dağınık ve birbirinden uzak alanlarda yapılması, hayvancılığın küçük ölçekli tesislerde yapılması önemli etkenlerdir. Belirtilen nedenler dışında besi ve ahır hayvancılığından ziyade mera hayvancılığının yaygın olması da Türkiye'de biyogaz tesis sayısının az olmasında ve gelişmemesindeki önemli faktörler arasında yer almaktadır (Türker 2008).

Gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkelerin çoğunda biyogaz teknolojisi yaygın olarak kullanılırken, tarımsal ve hayvansal üretim başta olmak üzere yeterli biokütle potansiyeline sahip olmasına rağmen yukarıda sayılan nedenlerden dolayı Türkiye'de biyogaz üretim sektörü bir türlü gelişememiştir. Son yıllarda yapılan teşvikler ve özel sektör girişimleri ile tesis sayısı artmış ancak dünyada biyogaz kullanan ülkelerin ortalamasına ulaşılamamıştır.

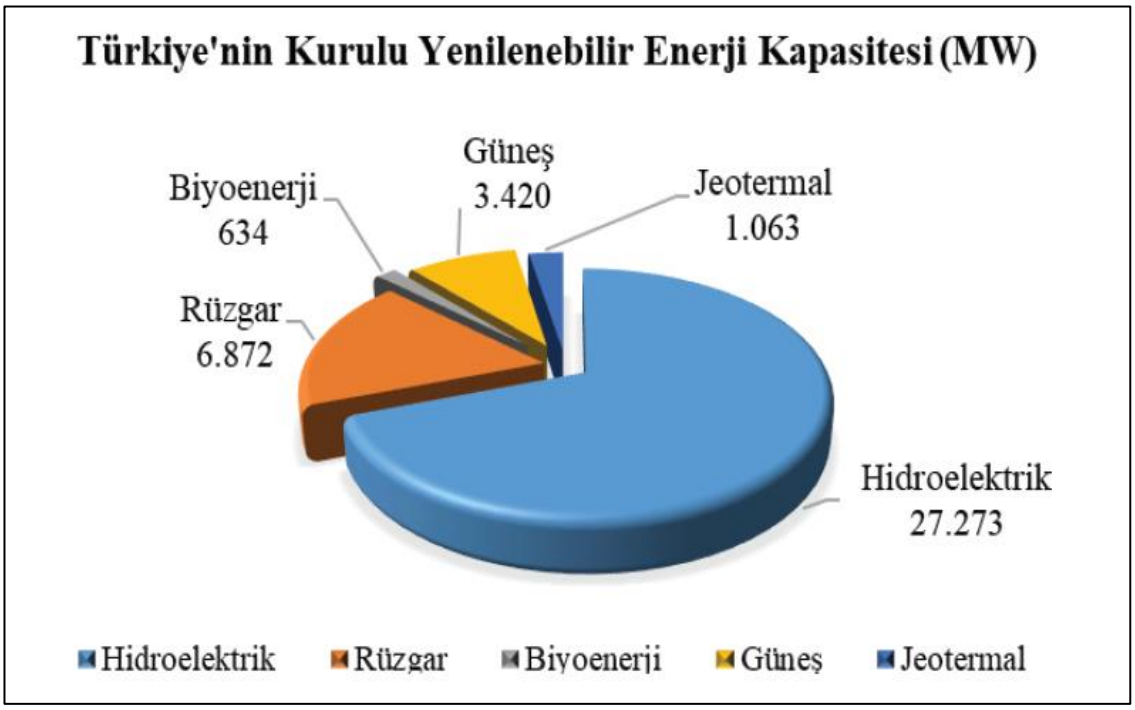
Artan nüfus ve gelişen sanayi beraberinde enerji ihtiyacını da artırmıştır. Geçmiş 50 yılla kıyaslandığında enerjide dışa bağımlılığımızın %70'ler düzeyine ulaştığı belirtilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2014 yılı ithalat verilerine göre Türkiye'de enerji kaynaklarının ithalattaki payı yaklaşık 55 milyar dolar seviyesinde bulunmaktadır. Bu miktarın toplam ithalata oranı ise %22.6'dır. Bu oran enerji ithalatının ve dolayısıyla enerjide dışa bağımlılığın ekonomiye ne kadar büyük bir yük getirdiğini göstermektedir (Yanar ve Kerimoğlu 2011).

Şekil 1.3.'teki Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) verilerine göre Türkiye'nin ürettiği enerji, kaynaklar bazında ele alındığında Ocak 2018 itibariyle Şekil 1.3.'te görüleceği üzere %71 oranında fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtlar içinde de en büyük pay %34 ile ithal olan doğal gaza aittir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde ise en büyük pay %17 ile hidroelektrik santrallerine aittir. Biokütlenin payı %1 civarındadır.



Şekil 1.3. Türkiye 2018 yılı Ocak ayı itibariyle Elektrik üretiminin kaynaklar bazında dağılımı (TEİAŞ 2018)

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) ilişkin potansiyeli yüksek bir ülkedir. Ancak bu potansiyeli değerlendirememektedir. Türkiye'nin YEK ile ilgili Makine Mühendisleri Odası'nın Şekil 1.4.'teki grafiği de bunu teyit etmektedir.



Şekil 1.4. 2017 yılı itibariyle Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücü (MW) (MMO 2018)

Türkiye'de yılda 50–65 milyon ton (MT) tarımsal atık ve 11 MT hayvansal atık oluşmaktadır. Bu iki atık türünden elde edilebilecek enerji Türkiye'nin yıllık enerji sarfiyatının % 22-27'sine tekabül ettiği bilinmektedir (Yokuş 2011).

Türkiye seksenli yılların sonunda azalan yenilenebilir enerji üretimi araştırma ve çalışmalarına 2000 yılından sonra yeniden başlamış bunun için uzun vadeli planlar ve bu planları gerçekleştirmek için teşvik edici kanun ve düzenlemeler yapmıştır.

10.05.2005 kabul tarihli 5346 Sayılı kanunun biyokütleden elektrik enerjisi elde edilmesine yönelik girişimcilere teşvik verilmesi ile 29.12.2010 kabul tarihli 6094 sayılı kanunda üretilen elektrik enerjisine alım garantisi verilmesiyle 2010 yılından bu yana kanunda belirtilen yönde tesislerin sayısı artmıştır.

Türkiye konuyla ilgili bir çok düzenleme ve planlama yapmıştır. ETKB'nin 2015-2019 Stratejik Planında da biyokütleden elektrik üretimi teşvik edilmiştir. Bu planlar kapsamında Türkiye'nin 2030 yılına kadar biokütleden üretmesi beklenen enerjinin ton eşdeğer petrol (TEP) cinsinden miktarları Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'de 2000-2030 aralığı için planlanan biokütle enerji üretimi (TEP) (Kaygusuz ve Sarı 2003)

Yıl	Klasik Biokütle	Modern Biokütle	Toplam
2000	6 965	17	6 982
2005	6 494	766	7 260
2010	5 754	1 660	7 414
2015	4 790	2 530	7 320
2020	4 000	3 520	7 520
2025	3 345	4 465	7 810
2030	3 310	4 895	8 205
TOPLAM	34 658	17 853	52 511

Enerji üretiminin yanında 26 Ağustos 2009 tarihinde Türkiye'nin, Kyoto Protokolü'ne uymayı ve desteklemeyi taahüt etmesiyle sera gazı salınımını azaltmayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık vermeyi, az enerji tüketen cihazlar kullanmayı, karbon salınımını azaltacak tedbirler almayı, çevre kirliliği yaratabilecek işlemlerin azaltılmasını sağlamayı kabul etmiştir. Türkiye'nin protokol gereğince imzaladığı bu taahhüttü yerine getirebilmesi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması ile mümkün görünmektedir.

1.4. Biyogaz ve Özellikleri

Biyogaz, oksijensiz ortamda farklı bakteri gruplarının ortak faaliyetleri sonucunda biokütlenin çürütülmesi ile ortaya çıkan bir gazdır. Bu bakteri grupları biokütlenin içerisinde bol miktarda bulunabilmekte ve uygun ortam şartlarına kavuştuğunda çürütme işlemini gerçekleştirmektedirler. Oksijensiz çürüme için uygun ortam şartları doğada kendiliğinden kolayca sağlanmakta ve biyogaz kendiliğinden oluşarak atmosfere karışmaktadır.

Bakterilerin biyokimyasal faaliyetleri sonucu açığa çıkan biyogaz havadan hafif, renksiz, kokusuz, mavi bir alevle yanan bir gaz karışımıdır. Yoğunluğu 1.21 kg/m^3, yanma sıcaklığı 700 ℃, alev sıcaklığı ise 870 ℃ olan, -164 ℃'de sıvı hale gelebilen ve kolayca bozunmayan yapısıyla, organik atıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu açığa çıkan bir gaz karışımıdır (Aslanlı 2009). Sera gazları denildiğinde akla ilk gelen gazlardan olan CO_2, CH_4 ve H_2O bu karışımın temel bileşenleridir. Çizelge 1.2.'de biyogazın bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Biyogazın genel özellikleri (Kızmaz 2019)

Özellikler	**Değerler**
Koku	Çürük yumurta
Yakıt eşdeğeri	0.60-0.65 L petrol/m^3 biyogaz
Yanma değerleri	% 6 -12 havadaki miktarı
Yanma sıcaklığı	650-750°C
Enerji içeriği	6.0-6.5 kWh/m^3
Molar kütle	16.043 kg/kmol
Yoğunluk	1.2 kg/m^3
Kritik sıcaklık	-82.5°C
Kritik basınç	75-89 bar

Biyogazın sıvılaştırılması çok düşük sıcaklık -164 ℃ veya çok yüksek basınç gerektirdiğinden zor bir işlemdir. Biyogazın sıvılaştırılamaması, biyogazın depolanması veya ulaşım araçlarında yakıt olarak kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Ancak saflaştırılması durumunda birim depolama alanına ham biyogaza göre depolanabilecek biyogaz miktarı %30-40 oranında artmaktadır. Ancak bu durumda dahi

sıvılaştırılamadığı için birim hacme depolanabilecek biyogaz miktarı yeterli olmamaktadır. Bu yüzden biyogaz üretim yerlerinde kullanılmakta veya boru hatlarıyla taşınabilmektedir.

Biyogaz içerik itibariyle % 55-65 CH_4, % 45-35 karbondioksit (CO_2), nem ve eser miktarda hidrojen(H_2), hidrojen sülfür (H_2S) gibi diğer gazlardan oluşmaktadır. Biyogaz yüksek orandaki metan içeriği itibariyle büyük oranda doğal gaza benzemektedir. Doğal gaz % 95 metan içerir, aynı şekilde biyogaz saflaştırıldığında da yaklaşık olarak aynı oranda metan içermektedir. Bu nedenle biyogaz saflaştırıldığında doğal gazla çalışan cihazlar arıtılmış biyogazla da herhangi bir değişiklik yapılmaksızın çalışabilir duruma getirilebilmektedir. Bu değişiklikler maliyeti çok fazla artırmayan temini kolay olan basit aparatlarla yapılabilen değişikliklerdir. Ham biyogaz ile doğal gazın özellikleri Çizelge 1.3.'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması (Deviren ve ark. 2017)

Özellikler	**Doğalgaz**	**Biyogaz**
Isıl Değer (Mj/m^3)	36.14	21.48
Metan oranı (Hacimce %)	95-98	55-65
Yoğunluk (kg/m^3)	0.82	1.21
Mol Ağırlığı (kg/mol)	16.04	26.18

Biyogazın enerji değeri de yüksektir. Bu nedenle sanayide kullanımı işletmelerin kar marjını artırabilmektedir. Biyogaz kömür ile karşılaştırıldığında kömürden bile daha iyi bir enerji değerine sahip olduğu Çizelge 1.4.'te görülmektedir.

Çizelge 1.4. Biyogazın ısıl değerinin bazı enerji kaynakları ile karşılaştırılması (Abbasi ve Tauseef 2012)

Enerji Kaynakları	**1 m^3 Enerji Miktarı (Kcal\h)**
Elektrik	860
Kömür	4500
Biyogaz	5000
Doğalgaz	8500

Biyogazın, içeriğindeki safsızlıklardan arındırılmasıyla elde edilen saf metan yakıldığında geriye sadece CO_2 ve su (H_2O) kalır. Bunun yanında yanma olayı ekzotermik bir olay olduğundan CO_2 ve H_2O ile birlikte ısı açığa çıkar. Diğer yakıtların yakılması ile ortaya çıkan kükürt dioksit (SO_2) gibi toksik gazlar ve bunların yarattığı sorunlar biyogaz kullanımıyla minimize edilebilir. Metan kendi gaz sınıfının en küçük

moleküllü üyesi olması nedeniyle daha geniş yüzey alanı oluşturur, oksijenle daha kolay ve hızlı karışır. Bu da yanmayı verimli ve nispeten daha sorunsuz kılmaktadır.

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{Isı (891 kJ)}$$

Reaksiyon denkleminden de görüleceği üzere 1 mol metanın yanması için 2 mol oksijene ihtiyaç vardır. Reaksiyon ekzotermik bir olay olduğundan reaktiflerin ürüne dönüşmesiyle enerji açığa çıkmaktadır.

1.5. Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Biyogaz üretiminin ekonomik ve çevresel açıdan pek çok faydası bulunmaktadır. Bu faydalar sıralanacak olursa;

- Fosil yakıtlara ve diğer enerji türlerinin teminine alternatif olması ve enerji temininde dışa bağımlılığın azalması ve ihracat açığının azaltılması,
-Elektrik, ısı, sıcak su, su buharı, gaz ve gübre ihtiyacının karşılanması yanında bunların satışından gelir sağlaması,
- Organik gübre olarak kullanılmasıyla kimyasal gübreye olan ihtiyacın azalması ve hammaddesi büyük oranda dışardan gelen kimyasal gübrelere olan ihtiyacı azaltarak gübre konusunda da dışa bağımlılığı azaltması,
-Doğada çürüme sonucu ortaya çıkan metanın kontrol altına alınması ve bu kontrolsüz enerjiden faydalanılması,
-Son ürün olan fermente gübre bütünüyle organik olup, topraktaki mineral miktarını ve dolayısıyla toprağın verimini artırırken, iyi bir izolasyon sağlayarak bitki köklerinin soğuktan donarak kurumasını engellemesi,
-Tarımsal ürün veriminde artış sağlaması,
-İstihdam sağlamanın yanında, çiftçilere gelir girdisi sağlarken gübre ve enerji(ısı ve elektrik) giderlerini, sulama suyu ihtiyacını, donmalara karşı koruma tedbirleri ile zararlı bitkilerle mücadele gibi konularda da giderleri azaltması,
- Hayvan gübrelerinden kaynaklanan yeraltı sularını ve insan sağlığını tehdit eden hastalık etkenlerinin büyük ölçüde etkinliğinin kaybolması ve dolayısıyla patojenlerin ve bulaşma ihtimallerinden kaynaklanan risklerin azalması ve bunlara bağlı olarak hijyen ve sağlık harcamalarının azalması,

-Kötü kokuların önlenmesi ve buna yönelik harcamaların azalması,
-Atıkların değerlendirilmesiyle katma değer sağlaması ve atık bertarafı,
-Atıkların çevresel etkilerinden dolayı ödenebilecek cezalardan ve en önemlisi de çevreye karşı olan vicdani sorumluluktan kurtulma,
-Biyogazın kullanılmasının, atmosferdeki CO_2 dengesini bozmaması yani net CO_2 artışına neden olmaması (Acaroğlu 2008).
-CO_2 ve CH_4 değerlendirilerek CO_2 ve CH_4 salınımından kaynaklanan küresel ısınmanın azaltılması,
-Kimyasal gübre kullanımından kaynaklanan yeraltı sularıyla diğer suların ve toprağın kimyasallarla kirlenmesinin önlenmesi, suni gübrelerin içeriğindeki azotlu bileşiklerden kaynaklı amonyağın (NH_3), nitratın (NO_3^-) toprağı kirletmesinin engellenmesi veya azaltılmasına katkı sağlaması,
- Yabani ot tohumlarının çimlenmesinin önlenmesi, toprak için iyi bir düzenleyici olması, toprağın havalanmasını ve çürüyebilecek diğer organik maddelerin de çürümesini hızlandırması, toprağın su tutma kapasitesini arttırarak bitkinin kurak zamanları daha kolay atlatmasını sağlaması, topraktaki mikroorganizma konsantrasyonunu artırması (Demirci ve Türkavcı 2001).
-Biyogazın hem modern teknolojilerle hem de kırsal kesimlerde ilkel yöntemlerle üretilebiliyor olması (Çevik 2016).
-Fermente gübrenin nötr pH derecesine sahip olmasından dolayı tarımda kullanıldığında bitkiler üzerinde yakıcı bir etkisinin olmaması

Biyogazın tüm bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan bazıları şöyledir;

-Biyogaz tesislerinin kurulum maliyetinin yüksek olması,
-Biyogaz tesislerinin tasarım ve işletiminin teknik bilgi gerektirmesi,
-Biyogaz tesislerinin kontrolünün zorluğu,
-Tesis işletimi sırasında oluşan biyogazın, yanıcı ve patlayıcılığından kaynaklı risk barındırması, sistem işletim şeklinin özenle seçilmesi ve kontrolünün periyodik olarak yapılmasının gerekliliği (İgoni ve ark. 2008).
-Saflaştırma işlemlerinin yüksek maliyeti,
-Mikroorganizmaların ve en çok ta metanojenlerin Sıcaklık ve pH gibi parametre değişimlerine karşı aşırı hassas olması,

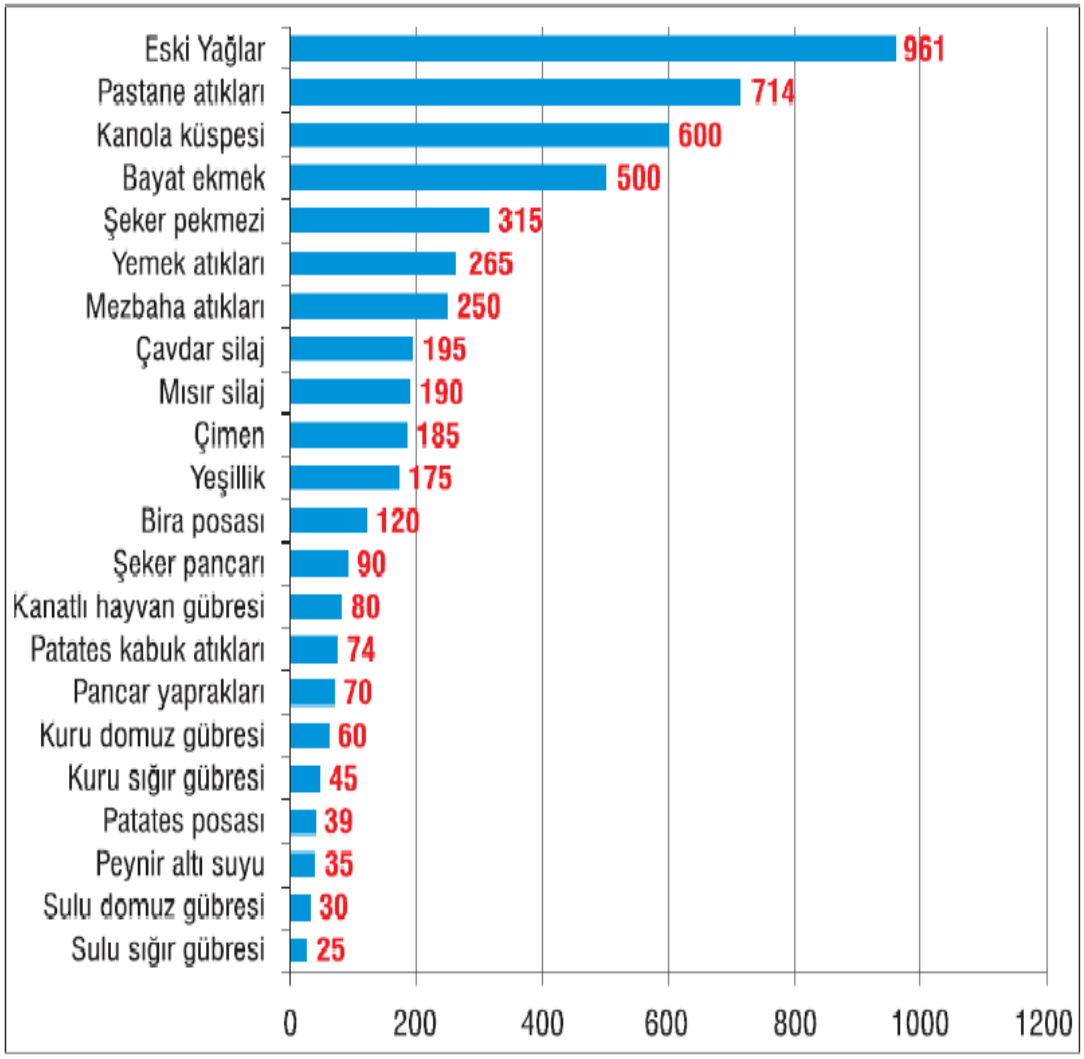
-Atık içerisinde bulunması olası hastalık yapıcı mikroorganizmalar yüzünden, atıkların taşınması ve depolanması süresince patojenlerden kaynaklı hastalık çeşitleri ve risklerinin olması (Bouallagui ve ark. 2005).
-Tesis ortamının, yanıcı gaz, patojenler ve H_2S gibi toksik gazlardan dolayı risk taşıması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

1.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Maddeler

Biyogaz üretiminde genel olarak kullanılan maddeler;

-Büyük baş, küçükbaş, kanatlı hayvanlar ile diğer çiftlik hayvanlarının gübreleri
- Orman endüstrisi atıkları,
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ sanayisi atıkları,
- Şeker sanayi atıkları,
- Gıda sanayi atıkları
- Tarımsal atıklar,
- Deri ve tekstil sanayi atıkları,
- Kâğıt sanayi atıkları,
- Bahçe atıkları,
- Yemek atıkları,
- Konutlardan çıkan atıklar,
- Atık su gibi atıklardan oluşmaktadır.

Biyogaz üretiminde kullanılan materyallerin biyogaz verimleri farklıdır. Yağ oranı yüksek olan atıkların biyogaz potansiyeli yüksektir. Şekil 1.5.'te bazı organik maddelerden elde edilebilecek biyogaz miktarları görülmektedir.



Şekil 1.5. Madde bazında biyogaz üretim miktarları (m^3 biyogaz/ton hammadde) (Bujoczek ve ark., 2000)

1.7. Biyogazın Başlıca Bileşenleri

Biyogaz genel olarak CH_4, CO_2, H_2S, nem (H_2O) ve eser miktarda azot (N_2), hidrojen (H_2) gibi gazlardan oluşur. Ancak en önemli bileşenler CH_4, CO_2, H_2S ve nemdir (H_2O). Aşağıda biyogazın içeriğindeki bu gazların bazı özellikleri verilmiştir.

1.7.1. Metan(CH_4)

Doğal gazın olduğu gibi biyogazında en büyük bileşenidir. Metan organik atıkların çürümesi sonucu ortaya çıkan, karbondioksitten 21 kat daha fazla sera etkisi yapan bir gazdır ancak metan yakılarak karbondioksite dönüştürüldüğünde bu etki minimize edilebilmektedir. Oksijenle (O_2) yanması sonucu 1 mol karbondioksit, 2 mol su (H_2O) ve reaksiyonun egzotermik olması nedeniyle enerji açığa çıkmaktadır.

$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{Enerji}$

1.7.2. Karbondioksit(CO_2)

Yüksek nemle karbonik asit (H_2CO_3) oluşturarak korozif etki gösterir. Bu etki oluşan karbonik asidin (H_2CO_3) suda iyi çözünmesi ve dolayısıyla bikarbonat (HCO_3^-) ve hidrojen iyonlarına (H^+) dönüşmesiyle reaktiflik özelliklerinin artmasından kaynaklanmaktadır.

$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO3^- + H^+$

Karbonik asit suda çözündüğünde hidronyum (H^+/H_3O^+) ve HCO_3^- iyonlarına ayrılmaktadır. Bu iyonlar temas ettikleri yüzeylerle reaksiyona girerek korozyona yani aşınmaya neden olmaktadır.

1.7.3. Hidrojen Sülfür(H_2S)

Havadan ağır, zehirli ve aşındırıcı bir gazdır. Havada 4-5 ppm'den fazlası çürük yumurta kokusu verir. H_2S'in havada oksidasyonu sonucu sülfürik asit (H_2SO_4) oluşur. Ayrıca H_2S'i alınmamış olan biyogazın yakılması sonucu da Kükürt dioksit (SO_2) oluşur.

$2H_2S(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g)$

SO_2 gazına uzun süreli maruz kalma solunum hastalıklarına, kalp sorunlarına ve akciğerlerin savunma mekanizmasında hasara yol açmaktadır. Kronik akciğer veya kalp hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar en çok etkilenen gruptur. SO_2 konsantrasyonu artıkça soluma hızı artmakta, hırıltılı nefes alma, kesik kesik nefes alma gibi etkiler görülmektedir. Çizelge 1.5.'te hidrojen sülfürün insan sağlığı üzerine etkileri verilmiştir.

Çizelge 1.5. H_2S'in insan sağlığı üzerine etkileri (Visser 1997)

H_2S (ppm)	**Temas süresi**	**Fizyolojik etkileri**
100	saatlerce	Göz-burunda tahriş ve yanma
200	1 saat	Bilinç kaybı, baş ağrısı
500	Yarım saat	Denge ve muhakeme kaybolur, solunum durur.
1000	Birkaç dakika	Ani solunum durması, ölüm

H_2S miktarı kullanılan atığın türüne göre değişmektedir. Biyogaz içindeki H_2S'in miktarı bazı biyomoleküllere ve de büyük oranda organik atık içindeki proteinlerin yapısındaki sistein, metionin ve sistin gibi aminoasitlerin miktarına bağlı olarak değişmektedir. H_2S'in havadaki oksidasyonuyla oluşan asit metal aksamlarda korozyona neden olmaktadır. Şekil 1.6.'da biyogaz içindeki H_2S'in gaz deposu ve bağlantı elemanları üzerindeki korozif etkisi görülmektedir.



Şekil 1.6. Biyogazın gaz deposu ve bağlantı elemanları üzerindeki korozif etkisi (Çelik 2014)

H_2S sıcaklık ne nemle sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturmakta bu da içten yanmalı motorların mekanik aksamları üzerinde korozyona neden olmaktadır. Motorlardaki gazın yanması sırasında meydana gelen yüksek ısı bu korozif etkiyi daha da artırdığından biyogazdan ayrıştırılmalı ve H_2S miktarının 20 ppm (milyonda bir) değerinin altına düşürülmesi gerekmektedir.

1.7.4. Nem(H_2O)

Biyogaz içerisinde 35 °C'de ortalama 35g/m^3 nem bulunur. 20 °C'de ise bu miktar ortalama 17g/m^3'tür (Laua ve ark. 2015)

Biyogazın içindeki nem biyogazın hem ısıl değerini düşürür hem de H_2S ile H_2SO_4, CO_2 ile zayıf bir asit olan karbonik asit (H_2CO_3) oluşturarak korozif etki yapar. Kış aylarında motorlu araçlarda kullanımı veya düşük sıcaklıklarda sıvılaştırılması sırasında donarak sistemde tıkanmalara da neden olmaktadır. Bu yüzden saflaştırılma işlemleri sırasında nemin alınması gerekmektedir.

1.8. Biyogaz Oluşumunun Biyokimyası

Biyogaz oluşumu organik maddelerin anaerobik şartlarda fermantasyonu sonucu gerçekleşen kompleks üç aşamalı bir süreçten oluşmaktadır. Bu aşamalar;

1.8.1. Fermantasyon ve Hidroliz Aşaması

Bu aşamada bakteriler hücre dışı enzimlerle kullanamadıkları kompleks organik bileşikler dediğimiz büyük moleküllü yapıları hidrolize uğratarak monomerlerine yani daha küçük moleküllü yapılarına ayırarak kendi hücre zarlarından geçebilecek kadar küçük parçalara ayırırlar. Bu küçük bileşikler hücre zarından geçerek bakterinin enerji üretmesi ve sentez yapabilmesi için gerekli besine kavuşmasını sağlarlar. Bu enzimlerin çalışabilmesi için uygun sıcaklık ve pH sağlanmalıdır.

Bu aşamada karbonhidratlar ($C_6H_{10}O_5)_n$, proteinler ($6C_2NH_33H_2O$) ve yağlar ($C_{50}H_{90}O_6$) fermentatif ve hidrolitik bakteriler tarafından CO_2, sirke asidi olarak bilinen asetik aside (CH_3COOH) ve büyük oranda uçucu yağ asitlerine [$CH_3 (CH_2)_n COOH$] dönüşürler (Gül 2006).

Bu aşamada organik atıklar hücre dışı enzimlerle parçalandığından yavaş ilerleyen bir basamaktır. Bu yüzden hız belirleyici basamaktır. Selülozun parçalanması yağ ve proteinlere göre daha zor ve uzun sürer. Selülozun suyla parçalanması selülaz enzimi tarafından gerçekleşir ve ürün olarak glukoz oluşur, hemiselüloz da hidrolize uğrayarak xyloz ($C_5H_{10}O_5$), glukoz ($C_6H_{12}O_6$), pentoz, arabinoz ve mannoz gibi 5 ve 6 karbonlu monosakkaritlere parçalanır. Nişastalar amilaz enzimi tarafından glukoza dönüştürülmektedir (Gül 2006). Kısaca proteinler aminoasit ve peptit gibi daha basit yapılara, karbonhidratlar glukoz, gibi basit şekerlere, yağlarda uçucu yağ asitleri ve hidrojen gibi basit yapılara ayrılmaktadır.

1.8.2. Asit Oluşumu (Asetojenez) Aşaması

Asetojenik bakteri gruplarının bir bölümü propionik asit (CH_3CH_2COOH) bütirik asit ($CH_3(CH_2)_2COOH$) gibi uçucu yağ asitlerini hidrojen ve asetik asite dönüştürürken;

$$2CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 3CH_3COOH + 2H_2$$

Propionik asit Asetik asit

$CH_3(CH_2)_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$

Bütirik asit Asetik asit

Asetojenlerin diğer bölümü de açığa çıkan CO_2 ve H_2'yi CH_3COOH'a dönüştürürler. Bu aşamada oluşan CH_3COOH miktarı daha azdır.

$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O$

Hidroliz aşamasıyla birlikte ilerleyen bu süreçte hidroliz aşamasında parçalanmış organik maddeler bu aşamada asetojenler tarafından propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izovalerik asit gibi organik asitlere dönüştürülür. Bu aşama için reaktör içindeki hidrojen basıncı önemli bir parametredir. Hidrojen basıncının 4-10 atmosferi aşması durumunda butirik ve propiyonik asit oluşumu hızlanır ve ortam pH'ı şiddetli bir şekilde düşer. Asit oluşum fazı anaerobik ortamlarda hızlı yürüyen bir süreçtir. Kontrol edilmezse asit üretim ve tüketimi hızı arasındaki denge bozulur artan asit inhibitör etki yaparak inhibasyona neden olur (Jeris ve Mc Carty 1965).

1.8.3. Metan Oluşumu (Metanojenez) Aşaması

Habitatları geviş getiren hayvanların mideleri, insan kalın bağırsakları, termitlerin bağırsakları, bataklık, göl dipleri gibi oksijensiz çökelti alanları olan Methanobacterium, Methanococcus, Methanospirillum, Methanosarcina, Methanolobus gibi metanojenlerin etkin olduğu bu aşamada CH_4 Metanojenlerin enerji metabolizmalarının metaboliti olarak açığa çıkmaktadır.

Bu aşamada metanojenlerin bazıları CO_2 ve H_2'den ürün olarak CH_4 ve H_2O oluşturmakta ve açığa çıkan ürünler 2. Aşamadaki(asetojenez) asetojen bakteriler tarafından asetik asite dönüştürülmektedir. Diğer metanojenler açığa çıkan CH_3COOH'ı, CH_4 ve CO_2 ye dönüştürmektedirler.

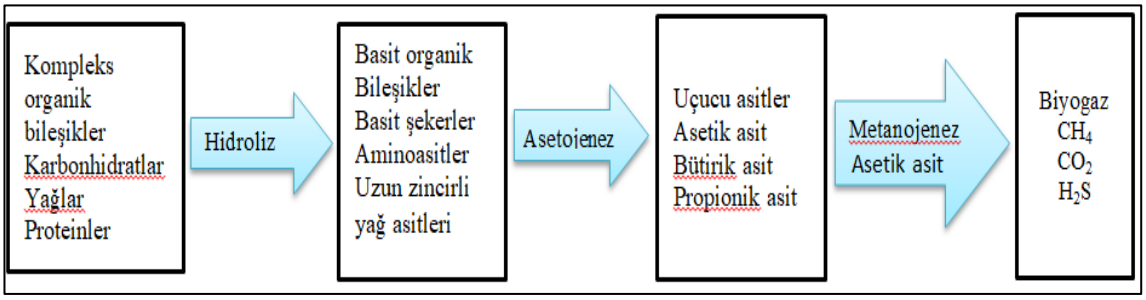
$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$

$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$

Fakat bu aşamada birinci yolla oluşan CH_4 miktarı, ikinci yolla oluşan CH_4 miktarından daha azdır. Üretilen tüm CH_4'ün %30'u birinci reaksiyondaki gibi CO_2 ve hidrojenin (H_2) reaksiyonundan, %70'i asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır.

Buradan da anlaşılacağı üzere CH_4, hem CH_3COOH'ın parçalanması hem de H_2 ve CO_2'in sentezi sonucu üretilmektedir (Jeris ve Mc Carty 1965).

Görüldüğü gibi bu aşamalarda farklı bakteri türleri faaliyette bulunmaktadır. Metan oluşum aşamaları ve rol alan bakteri türlerinden de anlaşılacağı gibi her bakteri türünün ürünü sonraki aşamada faaliyet gösteren bakteri türü için bir besin kaynağı olmaktadır (Toprakçıoğlu 2016). Şekil 1.7. Anaerobik çürüme ile biyogaz oluşum kademeleri görülmektedir.



Şekil 1.7. Anaerobik çürüme ile biyogaz oluşum kademeleri

Ortam koşullarına karşı aşırı hassas olmalarından dolayı metanojenlerin optimum faaliyet göstermesi için koşulların uygun hale getirilmesi gerekir. Bu koşullar;

-Ortam ısısının 36 ^{0}C civarında olması,
-pH değerinin hafif alkali yani 7-8 civarı olması,
-Gün ışığı ve içeriğindeki ultraviyole(UV) ışınlarının bakterilerin yaşamasını engellediğinden karanlık bir ortam oluşturulması,
-Metanojenlerin anaerobik fermantasyona uyumlu olmasından dolayı oksijensiz ortamın oluşturulması;
-Yeterli miktarda nem (su) bulunması,
-Substrat konsantrasyonunun uygun olması yanında bakterilerin çoğalması için gerekli azot miktarını içermesi veya azot takviyesi yapılması,
-Bakteri ve substrat etkileşiminin artması için karıştırma işleminin yapılması,
-C/N oranının uygunluğunun sağlanması gerekmektedir.

1.9. Biyogazın Elde Edildiği Sıcaklık Aralığına Göre Fermantasyon Türleri

Anaerobik fermantasyonda metan oluşturan bakteriler ideal yaşam sıcaklıklarına göre psikofil, mezofil ve termofiller olarak bilinen üç farklı tür mikroorganizma grubu rol oynar. Bu bakteri gruplarından mezofiller hayvanların bünyesindeki atıklarda uygun

sıcaklıktan dolayı yaşarken sakrofiller ve termofiller hayvan bünyesindeki gübre içerisinde yaşamamaktadır ya da çok daha az bulunmaktadır.

Anaerobik fermantasyonun gerçekleştiği sıcaklığa göre aktif rol alan bakterilerden adını alan üç tür fermantasyon çeşidi vardır. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1.9.1. Psikofilik (Sakrofilik) Fermantasyon (3 - 20 ºC)

Bu fermantasyon adını genel olarak deniz ve göl diplerindeki tortular ile bataklıklarda faaliyet gösteren sakrofil diğer adıyla psikofil(düşük sıcaklığı seven) bakterilerden alır.

Sakrofillerin 25 ^{0}C'nin altındaki sıcaklıklardaki faaliyetleri sonucu gerçekleşen anaerobik fermantasyon türüdür. Bu bakteriler düşük sıcaklıklarda aktif olduklarından fermentörün dolayısıyla atıkların ısıtılmasına ihtiyaç olmaz fakat atıkların bozunma performansı ve gaz oluşumu da azdır. Bunlar için fermantasyon hızı çok yavaş olup ortalama bekletme süresi 100-300 gün civarıdır. Bu yüzden biyogaz tesislerinin bu şartlarda işletilmesi verimli değildir (Weiland 2001).

1.9.2. Mezofilik Fermantasyon (20 - 40 ºC)

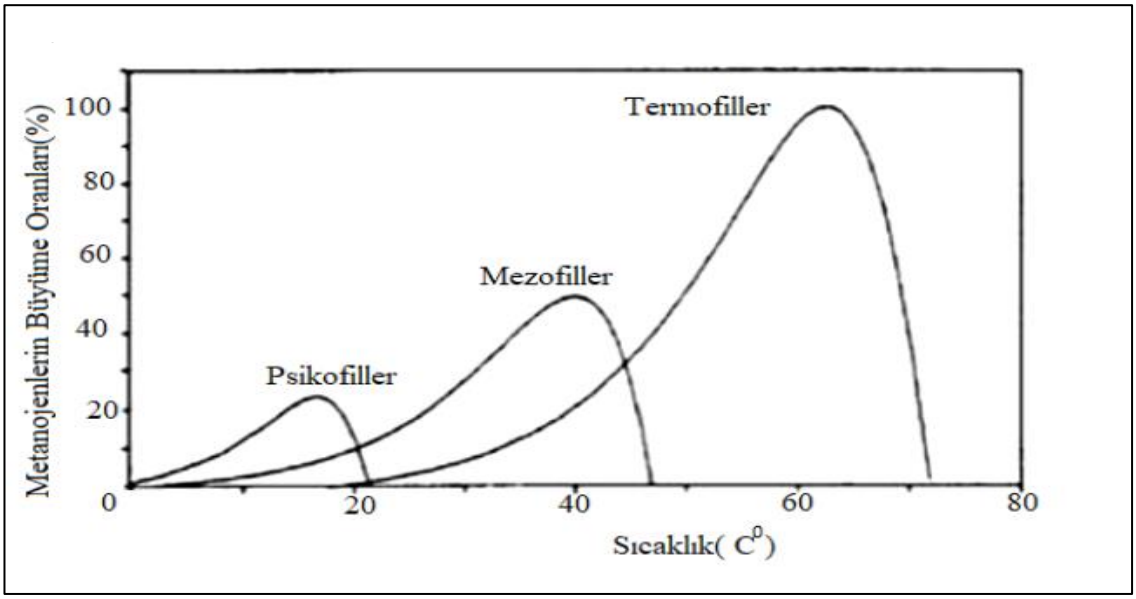
Mezofil(ılık seven) bakteriler olarak bilinen, hayvanların bünyesinde yaşayan metanojenlerin faaliyetlerinin en verimli olduğu fermantasyon türüdür.

Metanojenlerin büyük bölümünün ideal sıcaklık aralığı 37-42 ºC'dir. Biyogaz üretimi için en ideal sıcaklığın bulunduğu, bekleme süresinin 25-35 gün gibi kısa olduğu fermantasyon türüdür. Biyogaz veriminin yüksek olmasından dolayı biyogaz tesislerinin en yaygın kullandığı fermantasyon türüdür (Weiland 2001).

1.9.3. Termofilik Fermantasyon (40 - 70 ºC)

Adını protein yapıları yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan ve yüksek sıcaklıklarda daha iyi faaliyet gösteren termofillerden (sıcak seven) alır. Termofiller volkanik alanlarda ve kaplıcalar gibi sıcak yeraltı sularının olduğu jeotermal su alanları ile bataklıklar gibi sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda faaliyet gösteren bakteri türüdür.

Daha az zamanda daha hızlı fermantasyon gerçekleştirmek, organik atıkların hijyenik hale getirilerek sağlığa zararlı bakterilerin yok edilmesi veya yüksek öz ısıya sahip materyale bağlı yan ürünün kullanılacağı durumlarda tercih edilen fermantasyon türüdür. Termofilik fermantasyonda kullanılan proses için gereken yüksek sıcaklığın sağlanması için fazla enerji kullanılması gerekliliği, termofilik koşullarda faaliyet gösteren metanojen türlerinin azlığı tercih edilmeme sebeplerindendir (Weiland 2001).



Şekil 1.8. Metan bakterilerinin türüne göre sıcaklıkla optimal büyüme oranları (Al Seadi, ve ark. 2008)

1.10. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler

1.10.1. Sıcaklık

Biyokimyasal reaksiyonlar genel olarak sıcaklıkla artar. Biyogaz oluşum sürecinde farklı mikroorganizmalar rol alır ve her organizma türünün farklı sıcaklıklarda aktif olduğu göz önüne alınarak sıcaklık ayarlaması hassasiyet gerektirir ancak reaktörlerin genelde mezofilik şartlarda çalıştığı düşünülürse ideal sıcaklık değerleri 30-40 ^{0}C (derece santigrat) aralığıdır ve optimal sıcaklığın korunması önemlidir. Fermantasyon bakterilerin enzimatik reaksiyonları sonucu gerçekleşir. Enzimlerin artması için de bakteri popülasyonunun artması gerekmektedir. Bakteri popülasyonu ve dolayısıyla bakterilerin salgıladığı enzim miktarının artması için ideal sıcaklık aralığının korunması gerekir. Enzimler aktivasyon enerjisini düşürerek substrata etki eden, kimyasal tepkime hızını artıran yani kataliz olayını gerçekleştiren protein yapılı biyomoleküllerdir. Enzimler protein yapıda olduklarından yüksek sıcaklıklarda

bozunurlar. Bazı bakteri türleri çok düşük veya çok yüksek sıcaklıklarda bile canlılıklarını sürdürebilirler ancak metan üretiminde rol alan metanojenlerin ölmesi veya enzimlerin bozunmasından dolayı fermantasyon durma noktasına gelebilir. Bu nedenle sıcaklık ideal seviyede tutulmalı, ani sıcaklık değişimlerinin önlenmesi ve ideal sıcaklığın korunması için izolasyon yapılmalıdır.

Anaeorobik fermantasyon bakterilerin faaliyetlerini gerçekleştirebildikleri ideal sıcaklık aralığına göre;

• Termofilik bakteriler ≥ 40 ^{0}C
• Mezofilik bakteriler 20 ºC ve 40 ^{0}C arası,
• Sakrofilik (psikofilik) bakteriler ≤ 20 ^{0}C,

Olmak üzere üç faklı sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir (Buğutekin 2007).

1.10.2. Hidrolik Bekleme Süresi(HBS)

Organik maddenin tamamen fermantasyona uğraması için geçmesi gereken süredir. Hidrolik bekleme süresi sıcaklığa ve materyalin cinsine göre değişmektedir. Örneğin atık içerisindeki Selülozun parçalanması, hidrolize olması yağ ve karbonhidratlara göre daha zordur. Yağ ve karbonhidratlar daha kolay hidrolize olmaktadır. Bu nedenle selüloz gibi zor hidrolize olan atıklar bu süreyi etkilemektedir. Bu süre uygulama şartlarına göre 20-120 gün arasında değişmektedir. Bu süreyi belirleyen en önemli parametre sıcaklıktır.

Hidrolik bekleme süresi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

HBS = Reaktör Hacmi(m^3) / Günlük Debi (m^3/gün)

Tercih edilen HBS içinde atıkların %70-80'inin fermente olduğu kabul edilir. Tesislerde işletme sıcaklığına bağlı olarak HBS 20 ile 120 gün arasında değişmektedir. Sıcak iklimler için 40-45 gün, soğuk iklimler için ise 90-100 gün bekleme süreleri seçilebilir. Sürekli beslemeli sistemlerde, HBS yeterli olmazsa fermantasyon tam olarak gerçekleşmez ve biyogaz üretimi düşer. Bu yüzden hidrolik bekleme süresi yeterince uzun seçilmelidir (Öztürk 2005)."

Sıcaklık arttıkça fermantasyon hızı artmakta, fermantasyon süresi kısalmakta buna bağlı olarak hidrolik bekleme süresi düşmektedir. Bu yüzden hidrolik bekleme süresini, uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekmektedir.

Sıcaklık aralığı aynı zamanda bekletme süresini de etkiler. Sıcaklık aralıkları ile atığın bekletilme süreleri Çizelge 1.6.'da görülmektedir.

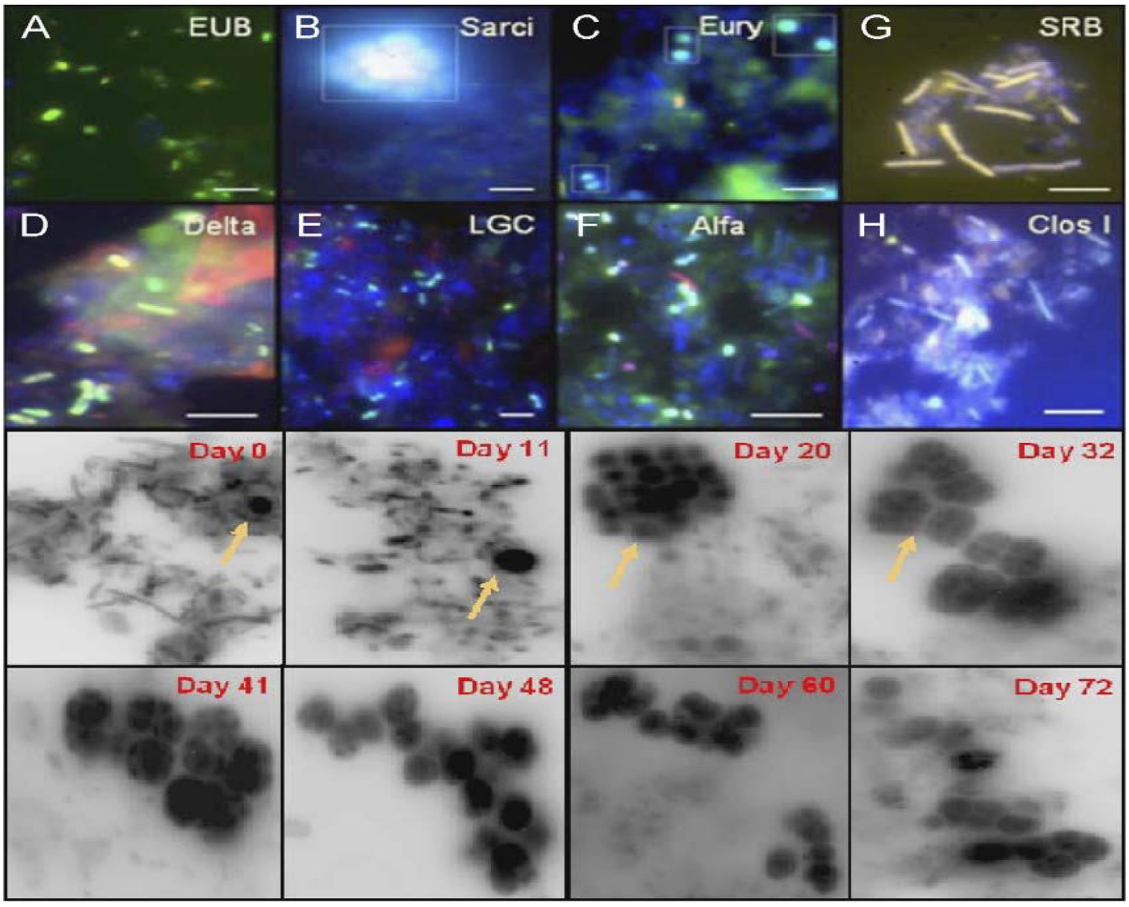
Çizelge 1.6. Sıcaklık aralıklarına göre hidrolik bekleme süreleri (Al Seadi, ve ark. 2008)

Sıcaklık Aşaması	**Çürütme Sıcaklığı (°C)**	**Asgari Bekleme Süresi (Gün)**
Termofilik	43-55	15-20
Mezofilik	30-42	30-40
Psikofilik	<20	70-80

Sıcaklık ve bekleme süresi doğal olarak biyogaz verimini de etkilemektedir. Sıcaklık ve bekleme süresine göre biyogaz verimi değişmektedir.

Hidrolik bekleme süresince bakteri konsantrasyonu belli bir süre boyunca düzenli olarak artar. Bakterilerin fermente ettiği atık miktarı arttıkça fermente olmamış atık miktarı azalır bu da bakterilerin besin miktarının azalması demektir. Yeterince besin bulunmaması bakterilerin bir süre sonra ölmesine ve konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır.

Şekil 1.9.'da görüldüğü gibi belli bir bekleme süresinde bakteri sayısı artarken 60 günden sonra bakteri popülasyonunda azalma olmaktadır (Lübken ve ark. 2007).



Şekil 1.9. Hidrolik bekleme süresince metan bakterileri ile metan oluşumundaki değişimin mikroskop altında görünümü (Lübken ve ark. 2007)

1.10.3. pH

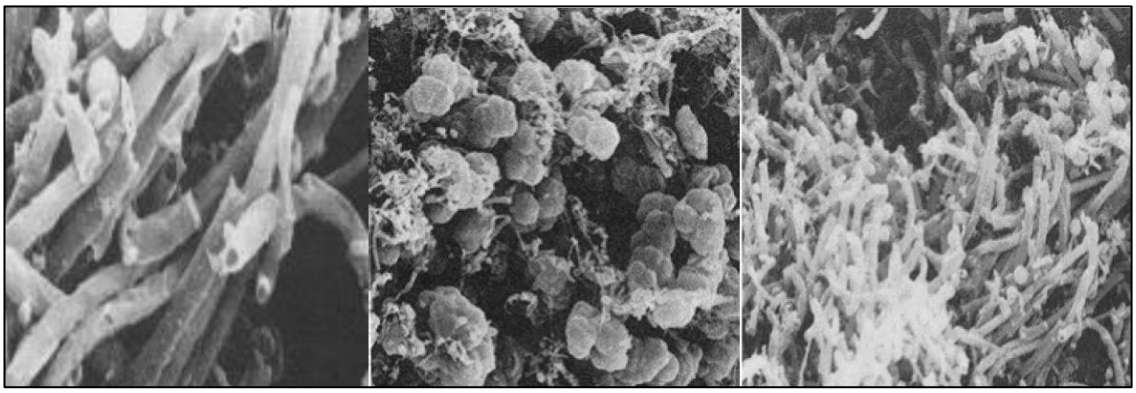
Metanojenler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon sırasında ortamın pH'sı kullanılan atığın türü ile fermantasyon ortamının şartlarına bağlı olarak 6.5 ile 8.5 arasında değişkenlik göstermektedir. CO_2, NH_3, amonyum (NH_4^+) ve bikarbonatın (HCO_3^-) tamponlama özelliği nedeniyle pH seviyesi nadiren değişmektedir. HCO_3^- çürüme esnasında oluşan uçucu yağ asitlerinin, serbest yağ asitleri haline geçmesini engelleyerek pH'nın düşmesini önlemektedir (Öztürk 2005).

pH'nın düşmesi asit oluşturan bakterilerin çoğalmasına dolayısıyla asit oluşumunun artmasına neden olur. Bunun sonucu olarak ta metanojen bakteriler ve salgıladıkları hücre dışı enzimler deaktive olmakta ve metan oluşumu durmaktadır.

Reaksiyon hafif alkali (bazik) ortamda daha iyi gerçekleştiğinden pH'nın düşmesi durumlarında yaygın olarak kullanılan kimyasallar Kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$), Sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$), sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum

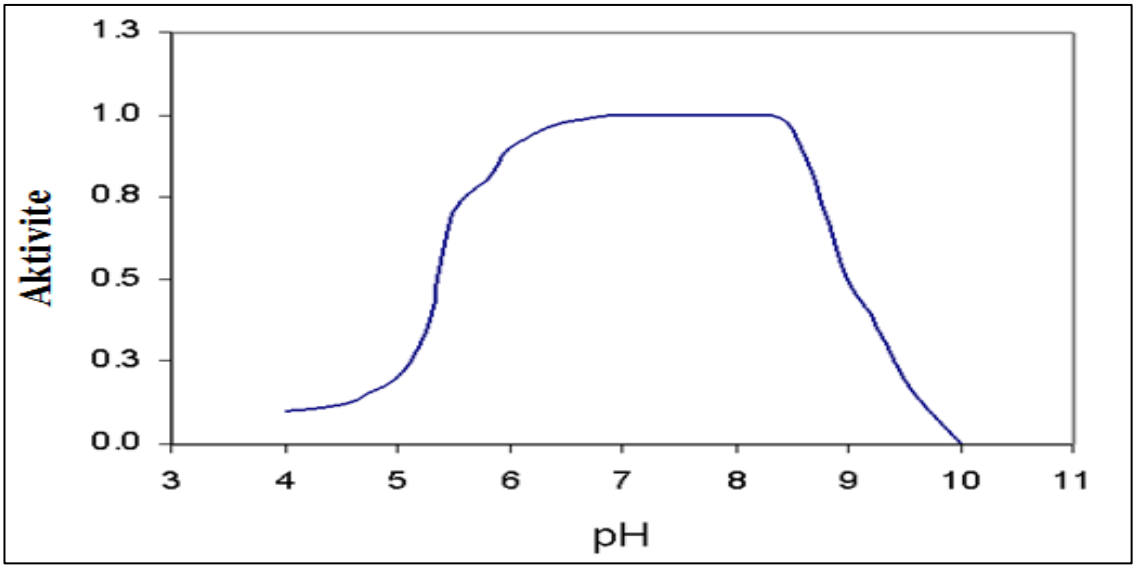
hidroksit (NaOH), amonyak (NH_3) veya amonyum bikarbonattır (NH_4HCO_3) (Aktaş 2008).

Tüm canlı hücrelerin iç ortam pH'sı 7'ye yakındır. Asetojenler pH 5.5 civarında faaliyet gösterebilirken, metanojenler daha hassas olduklarından pH 6.5 olan ortamlarda ölürler. Bunlar için en uygun pH 6.5–8.5 olabilir, fakat pH'daki 0.5 artma veya azalma sistemin gaz üretimine engel olmamaktadır. Şekil 1.10.'da Farklı pH'lardaki metanojenlerin görünümü verilmiştir (Buğutekin, 2007).



Şekil 1.10. Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü (Buğutekin 2007)

Mezofilik sistemlerde metanojenler için optimum pH aralığı 6.5-8.0 aralığıdır. pH 6.0'ın altına ve 8.5'in üstüne çıktığı durumlarda prosses önemli ölçüde engellenmiş olur (Al seadi ve ark. 2008).



Şekil 1.11. Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin faaliyeti (Yokuş 2011)

pH'nın düşmesi genel olarak organik yüklemenin fazla olmasından ve sıcaklıktaki ani düşmelerden kaynaklanmaktadır. Fermentörde pH düştüğü zaman iki

yöntem uygulanır. Birinci yöntemde organik madde beslemesi kesilir. Böylece ortamda metanojenlerin derişimi artırılırken yağ asidi konsantrasyonu azaltılır. pH optimal aralığa getirildikten sonra beslemeye devam edilir. İkinci yöntemde pH'yı yükseltmek ve tamponlama gücünü artırmak için ortama kimyasallar eklenir. Kimyasal madde eklemenin en önemli avantajı pH'nın hemen kararlı hale getirilebilmesidir. Kimyasal olarak sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) ve soda adıyla bilinen sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) çözeltileri eklenebilir. Her ikiside ülkemizde bolca bulunmaktadır. $NaHCO_3$ biraz pahalıdır ancak kalsiyum karbonat(CaCO3/kireç taşı) gibi ilave bir katı madde oluşturmadığından tercih edilir (Öztürk 2005).

1.10.4. Karıştırma

Karıştırma çürütme tankındaki organik atıkları fermente eden bakteri konsantrasyonun, fermantasyon ısısının ve ortam pH'sının tankın her yerindeki homojenizasyonunu sağlar. Karıştırma, topaklanmayı ve çökelmeyi engellediği gibi hidrolik bekleme süresini (HBS) de kısaltır. Oluşan gazın da daha rahat serbest kalmasını sağlar.

Verimli ve hızlı bir çürütme işlemi için karıştırma işlemi yavaş ve uygun periyotlarla yapılmalıdır. Hızlı ve sık yapılan karıştırma bakterilerin substratla etkileşimini azaltarak verimi düşürür. En uygun karıştırma sıklığı atığın dört saatte bir karıştırılması ile gerçekleşmektedir (Özbaşer ve Erdem 2013).

Karıştırmanın amaçlarını sıralayacak olursak,

-Köpük oluşumunun engellenmesi,
-Homojen bakteriyel yoğunluğunun sağlanması,
-Aktif çürütücü hacmini daraltan verimi düşüren ölü bölge oluşumunun engellenmesi,
-Metanojenlerin açığa çıkardığı metabolitlerin(gazların) giderimi,
-Bakteriler ile substrat karışımının homojenizasyonunun sağlaması,
-Atık maddenin çökelmesini veya topaklanmasını engelleyerek temas yüzeyini artırması ve reaksiyonun hızlanmasını sağlaması,
- Fermentör içindeki sıcaklığın her tarafa eşit dağılımını sağlaması,
-Fermentör içindeki pH'nın her tarafta eşit olmasını sağlaması, bir bölgedeki pH değişiminden kaynaklanabilecek ani değişimlerin etkisini en aza indirmesi veya etkisini dağıtarak azaltması, yani pH'nın fermentör içindeki etkisini azaltarak dengelemesi,

-Bakteri, enzim ve substratın etkileşimini artırması gibi faydaları bulunmaktadır.

1.10.5. Karbon/Azot(C/N) Oranı

Bakteriler karbonu enerji elde etmek için kullanırlar. Tüm canlı hücreler gibi bakterilerde protein yapıda olduğundan azotu protein sentezinde kullanırlar. Bakterilerin çoğalarak faaliyetlerini sürdürebilmeleri için proteinlere dolayısıyla aminoasitlere ve nükleik asitlere ihtiyacı vardır. Bunların temel taşları karbon (C) ve azottur (N). Organik atık içerisinde bulunan azotun bir kısmı bakterilere amino asit, nükleik asit ve protein sentezi için gerekli azotu sağlarken kalan kısmı amonyağa dönüşerek uçucu yağ asitlerini tamponlayıp pH'nın düşmesini önler. Bu sebeple atık içeriğinin C/N oranı biyogaz üretiminde önemli bir faktördür. C/N oranı küçük olursa azot fazlalığından dolayı amonyak oluşumu artar bu da pH'nın yükselmesine bazik ortamın bakteriler üzerinde inhibasyonuna, C/N oranının büyük olması da azot eksikliğinden dolayı bakterilerin gelişip çoğalamamasına neden olmaktadır.

Organik madde içerisinde karbonun en önemli kaynağı karbonhidratlar, azot kaynağı ise protein, nitrat ve amonyaktır. Azot azlığı hücresel gelişimi engellediği için verimi düşürür, çok olması durumunda da amonyak birikiminden dolayı pH değeri 8.5'a yaklaşır bu da İnhibasyona neden olur. Bu durumda yanmayan, kötü kokulu bir gaz elde edilir(Arnott 1985).

Hayvan gübresinde bakterilerin hücresel gelişimi için gerekli olan azotun (N) ana kaynağı idrardır. Hayvan gübresinden biyogaz üretilen atıklarda C/N oranı 15/1 ile 30/1 arasında değişir. Genel olarak hayvan gübreleri bu oranı karşılamaktadır. Hayvan gübresinin kullanılması durumunda C/N oranını ilaveten ayarlamaya gerek kalmamaktadır. Ancak diğer atıklarda bu durum göz önüne alınmalıdır (Öztürk 2005). Çizelge 1.7.'de bazı atıkların C/N oranları verilmiştir.

Çizelge 1.7. Organik maddelerin C/N oranları (Yokuş 2011)

Gübre	C % Kuru	N % Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı %	Su ile Seyreltme
Sığır Gübresi	30	1.66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83.6	3.80	22	75-80	1:1
Kümes Hav. Güb.	87.5	6.55	14	70-80	1:3
Domuz Güb.	76	3.8	20	75-80	1:2
At Güb.	33.4	2.3	15	80-85	2:3
Kaz	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Güb.	50	2	25	70-80	1:3
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesimhane Atığı	64	8	8	55-95	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	
Evsel ve Tarımsal Atıklar					
İnsan Dışkısı	48	6.0	8	50-70	3:7
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7.0	10	50-70	
Patates Kabuğu	37.5	1.5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62.5	2.5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	5-15	
Gazete	40	00.5	800	5-15	
Taze Çim	48	4	12	40-60	
Yulaf Samanı	50.4	1.05	120	20-40	
Pirinç samanı	18	0.3	60	20-40	
Yapraklar	55	1.0	55	25-40	
Yer fıstığı Kabuğu	40	2.0	20	20-40	
Soya fasulyesi sapı	64	2.0	32	25-40	
Ağaç yaprakları	75	1.5	50	40-60	
Şeker Kamışı	45	0.3	150	25-40	
Soya fasulyesi	17.5	3.5	5	10-15	
Pamuk tohumu	12.5	2.5	5	10-15	
Hardal	39.0	1.5	26	10-15	
Su Sümbülü	30.4	1.9	16	85-90	

1.10.6. Alkalinite ve Uçucu Asitler

Fermentasyon sırasında asetik asit, propionik asit, bütirik asit gibi uçucu asitler oluşur. Anaerobik sistemlerde uçucu asit konsantrasyonunun artması ve ani pH düşüşlerine karşı sistem güvenliğini sağlamak için kullanılan değişken alkalinitedir.

Bunun için tampon görevi gören alkali metaller (sodyum ve potasyum bikarbonatlar, kireç vs.) kullanılır. 2500 mg/l alkalinite, uçucu yağ asitlerinden dolayı oluşan ani pH düşüşleri veya pH dalgalanmalarına karşı tampon işlevi görerek sistemi korur (Yiğit 2007).

Ortamdaki toplam uçucu asit (TUA) miktarı önemlidir. TUA/Alkalinite oranı 0.1 değerini aşmamalıdır. Ortamın pH'sının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda ek kimyasallar ile sistemin alkalinitesinin yükseltilmesi gerekmektedir. genel olarak kullanılan kimyasallar $Ca(OH)_2$, $NaHCO_3$, Na_2CO_3, NaOH, NH_3 veya NH_4HCO_3'tır (Aktaş 2008).

1.10.7. Mikroorganizma Konsantrasyonu

Fermantasyonda rol alan mikroorganizmaların konsantrasyonunun artması salgılanan toplam enzim miktarının artmasını bu da enzimatik reaksiyonların artmasını ve reaksiyonların hızlanmasını dolayısıyla biyogaz oluşum hızının artmasını sağlamaktadır.

1.10.8. Toksisite

Dezenfektanlar, sabunlar, solventler, antibiyotikler, ağartıcılar, tıbbi ve kimyasal atıklar çoğunlukla tarımsal ve hayvansal faaliyetlerde kullanılan insektisitler, fungusitler, herbisitler… olarak bilinen pestisitler, ağır metal fazlalığı, sodyum klorür (NaCl) gibi mineral tuzların belli bir konsantrasyonun üzerinde olması metanojenler üzerinde ciddi toksik etki yapmasına veya bakterilerin hücre çeperlerinin parçalanmasına dolayısıyla bakterilerin ölmesine neden olmakta ve metan oluşumunu engellemektedir.

Az miktardaki iyonlar (Na, K, Ca, Mg, NH_4^+ ve S) ile çok düşük konsantrasyonlardaki bakır (Cu), nikel (Ni), krom (Cr), çinko (Zn), kurşun (Pb) gibi ağır metaller bakterilerin büyüme ve gelişmesine olumlu etki yaparken, yüksek konsantrasyonlarda zehirleyici etki yaparlar. 50-200 mg/l amonyum bakterilerin gelişimini sağlarken 1500 mg/l amonyum bakterilerde zehirli etki yapmaktadır (Öztürk 2005).

Çizelge 1.8.'de inhibasyona neden olabilecek bazı engelleyicilerin sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.8. Bazı engelleyicilerin anaeroblar üzerindeki etkilerinin sınır değerleri (Kossmann ve Pönitz 1999)

Engelleyiciler	**Engelleme Limit Değeri (mg/l)**
Siyanür	2
Bakır (Cu^{+2})	10-250
Nikel (Ni^{+2})	100-1000
Sülfür	200
Krom (Cr^{+3})	200-2000
Çinko	350-1000
Magnezyum (Mg^{+2})	3000
Kalsiyum (Ca^{+2})	8000
Sodyum (Na^{+1})	8000

1.10.9. Organik Madde Yükleme Oranı

Organik yükleme hızı, fermentörün birim hacmine günlük eklenmesi gereken organik madde miktarı olarak tarif edilir. Organik yükleme hızı, sıcaklığa, atıktaki organik kuru madde miktarına ve bekleme süresine bağlıdır (Igoni ve ark. 2008).

Yükleme oranı fermentörün bir m³'lük hacmi için birim zamanda eklenmesi gereken organik kuru madde miktarının kilogram cinsinden değeridir. Düzenli bir şekilde biyogaz üretmek ve sıcaklığı kontrol altında tutmak için fermentörü belli sıklıkta beslemekte yarar vardır (Çeken 1997).

1.10.10. Basınç

Reaktör içerisinde oluşacak basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz üretim verimine etkisine yönelik çok çeşitli bilgiler mevcuttur ancak bazı kaynaklarda 0,75 – 1,5 kilo paskal (kPa) mutlak basınç aralığının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağı belirtilmektedir. Fermentörlerin alt kısmında bulunan metanojenler yüksek hidrolik basınç altında faaliyetlerine devam etmektedir ve bir performans düşüklüğü görülmemiştir (Eryaşar 2007).

Sıvılar sıkıştırılamaz prensibinden hareketle bakterilerin yüksek hidrolik basınç altında faaliyetleri sorunsuz bir şekilde devam edebilir. Reaktörlerde çok yüksek

basınçlara çıkılmadığından basıncın kabaca biyogaz oluşumuna olumsuz bir etkisi olamayacaktır.

1.10.11. Ham madde Türü ve Katı Madde İçeriği

Biyogaz fermantasyonunda kullanılan ham maddenin içerdiği kuru madde, fermantasyonu ve dolayısıyla biyogaz oluşumunu etkilemektedir. Fermantasyonda kullanılan materyallerin türüne bağlı olarak içerdiği kuru madde miktarı da farklılık gösterir. Örneğin tavuk gübresi yaklaşık %22, sığır gübresi %10, koyun gübresi %24 kuru madde bulundurmaktadır (Buğutekin 2007).

Biyogaz eldesinde, verimi doğrudan etkileyen parametrelerden olan kullanılan atıkların toplam kuru madde miktarı ve uçucu kuru madde miktarlarının bilinmesi önemlidir. Kuru madde içindeki uçucu madde miktarı ne kadar çoksa o kadar gaz oluşumuna elverişlidir.

Bazı maddelerin toplam katı (TK) ve uçucu katı (UK) yüzdeleri ile biyogaz verimleri Çizelge 1.9.'da verilmiştir.

Çizelge 1.9. Bazı maddelerin TK ve UK yüzdeleriyle biyogaz verimleri (Eryaşar 2007)

Atık Materyal Türü	TK(%)	UK(%)	Biyogaz Verimi (l/kg.UK)
Sığır gübresi	5-25	75-85	200-350
Tavuk Gübresi(Yumurta)	10-35	70-75	310-620
Tavuk Gübresi(Et)	50-90	60-80	550-650
Küçükbaş Hayvan gübresi	30	20	90-310
At gübresi	25-30	60	200-350
Domuz gübresi	3-16	70-80	200-350
Buğday Samanı	70-90	85-93	200-300
Mısır Atığı	80	91	350-480
Pirinç Atığı	89	93	170-280
Çimen	20-25	89-90	280-550
Küspe	65	78	140-190
Sebze Atığı	5-20	75-86	300-400
İnsan Atığı	20-27	75	310-400
Yapraklar	80	90	300-400
Süt İşletmeleri Atığı	8-12	90	350-800
Konsantre Süt İşleme Atığı	20-25	90	800-950
Meyve Atığı	15-20	75	250-500
Yemek Atığı	10-18	80-95	500-600

Kullanılan substratın katı madde içeriğindeki artış, metanojenlerin aktifliklerini aşamalı olarak yavaşlatmakta ve biyogazın kalitesi düşmektedir. Katı madde oranının % 7-12 kadar olması tavsiye edilmektedir. Anaerobik sistemlerde maksimum verimin reaktöre konulan ham maddedeki katı maddenin kütlece % 6-10 arasında olduğunda gerçekleştiği görülmektedir (Gül 2006).

Ham maddenin parçacık büyüklüğünün de ham madde türü olarak incelenmesi gerekir. Ham maddenin parçacık büyüklüğü azaldıkça bakteri enzimlerinin etki ettiği yüzey alanı arttığından reaksiyon hızı artmakta dolayısıyla biyogaz oluşum hızı artmaktadır. Ayrıca atıkların fermentörde bekleme sürelerinin sınırlı olduğu düşünüldüğünde parçacıklar küçüldükçe belli süre içinde fermente olmuş atık miktarı artar ve böylece verim de artar. Partikül büyüklüğü artıkça atıklar tam fermente olamadan sistemden çıkarılacak böylece verimli bir fermantasyon gerçekleştirilmemiş olacaktır.

1.11. Biyogaz Saflaştırma Yöntemleri

Biyogazın saflaştırılması: Biyogazın enerji seviyesinin yükseltilmesi, taşınabilir duruma getirilmesi, içindeki enerjiyi seyrelten, ısıl değeri düşüren, basınçla depolama sorununa ve taşıma sistemlerinde aşınmaya sebep olan CO_2, H_2S, H_2O gibi bileşiklerden arındırılmasıdır (Bahtiyar ve Emin 2008).

Biyogaz ortalama olarak Çizelge 1.10.'da belirtilen oranlardaki gazlardan oluşmaktadır.

Çizelge 1.10. Biyogaz içeriğindeki gazların bileşim değerleri

Bileşen	**Sembol**	**Yüzde(%)**
Metan	CH_4	50-65
Karbondioksit	CO_2	30-35
Hidrojen	H_2	5-10
Azot	N_2	1-2
Nem	H_2O	0,3
Hidrojensülfür	H_2S	Eser miktarda

Biyogazın saflaştırılmasında asıl amaç biyogaz içindeki CO_2, H_2S ve nemin metandan uzaklaştırılarak biyogazın metanca zenginleştirilmesidir. Ham biyogaz fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle saflaştırılabilir. Biyogaz elde edildikten

sonra fiziksel ve kimyasal yöntemlerle arıtmak yerine fermantasyon sırasında biyolojik yöntemlerin uygulanarak istenmeyen gazların oluşması bir ölçüde engellenebilir. Bu şekilde CH_4 oranı yüksek biyogaz üretilebilir (Strevett ve ark. 1995).

Kullanım amacına göre metan seyrelticilerin (CO_2, H_2S ve nem) biyogaz içerisinden uzaklaştırılmasında;

-Biyogazı asıl bileşeni olan metan yönünden zenginleştirerek enerji değerini olabildiğince artırmak,

-Seyrelticilerin neden olduğu aşındırıcı, yakıcı ve çürütücü etkiyi engellemek,

-Çevre kirliliğini azaltarak toprak, su ve havanın doğal dengesinin korunmasına katkı sunmak,

-Başta insan sağlığı olmak üzere tüm canlıların sağlığını korumak amaçlanmaktadır.

CO_2: Biyogazın ısıl değerini düşüren, nem ile zayıf asit oluşturarak aşınmaya sebep olan, sıkıştırma esnasında kompresörde kuru buz oluşumuna ve tıkanmalara sebep olan, biyogazın metandan sonraki en yüksek miktardaki bileşenidir. Biyogazın zenginleştirilmesi de esas olarak CO_2'nin uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Biyogazın enerji seviyesini düşüren ve depolama sırasında fazla hacim kaplayan enerji seyreltici bu gazın doğalgaz şebekelerine verilmesi veya mekanik aksamları hassas olan motorlu taşıtlarda kullanılabilmesi için biyogaz içindeki miktarının düşürülmesi gerekmektedir.

Organik maddeler yapılarını oluşturan proteinler ve sülfürlü bileşiklerden dolayı fermantasyona uğradıklarında H_2S açığa çıkar. H_2S miktarı organik materyalin türüne göre değişir. Protein ağırlıklı atıkların fermantasyonu sonucu daha fazla H_2S açığa çıkmaktadır. H_2S toksik bir gaz olmasının yanında korozif etkisi direk veya dolaylı olarak yüksek olan bir gazdır. Hem insan sağlığı hem doğal çevre ve makine parçaları üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı biyogazın kullanımından önce uzaklaştırılması gerekir. Biyogazdan H_2S'in uzaklaştırılması desülfürizasyon olarak bilinmektedir.

1.11.1. CO_2 ve H_2S Ayrıştırma Yöntemleri

1.11.1.1. Kriyojenik Ayırma (Yoğuşturma)

Kriyojenik sıcaklıklarda biyogaz içeriğindeki CO_2 ve H_2S'in yoğuşturularak sıvılaştırılması esasına dayanmaktadır. Çok düşük sıcaklıklara inilmesi çok zor olduğundan işlem yüksek basınç altında gerçekleştirilir. Yüksek basınç, ulaşılması zor olan düşük sıcaklık değerlerini daha yukarıya çekerek biyogaz seyreltici gazların yoğuşma sıcaklıklarının çok üstünde hal değiştirerek yoğuşmasını sağlar. CH_4'ün sıvılaşmadığı ancak CO_2 ve H_2S'in sıvılaştığı farklı basınç ve kriyojenik sıcaklıklarda biyogaz içindeki CO_2 ve H_2S gazları hal değişimine uğrayarak sıvılaşır ve CH_4'ten ayrılır. Burada asıl amaç metandan sonraki en büyük hacme sahip olan CO_2'yi yoğuşturmaktır. Bu sırada H_2S'in de yoğuşması avantajdır. Ancak bu yöntem çok fazla enerji gerektirmektedir.

CO_2, CH_4'e nazaran daha düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta yoğuşur. CO_2 yoğuşturulurken H_2S ve nem de yoğuşur ancak yoğuşan nem buz haline geldiğinde sistemde tıkanmaya neden olur. Bu nedenle biyogazdan ilk önce nem giderilmeli ve ardından sıcaklık CO_2'in yoğuşacağı seviyeye indirilmelidir. 80 bar basınç ve -45 ^{0}C sıcaklıkta %97 saflıkta metan elde etmek mümkündür (İlkılıç ve Deviren 2011).

Isı değiştiriciler ve kompresörler yardımıyla, -100 ^{0}C civarındaki düşük sıcaklıklar ile 40 bar gibi yüksek basınçlar uygulandığında CO_2, H_2S ve diğer kirleticiler sıvılaşırken, CH_4 hal değişimine uğramaz. Kriyojenik ayırmanın en önemli avantajları CH_4 bakımından zenginleştirilmiş biyogazın %99'a varan yüksek saflığı ve yüksek miktarlardaki biyogazın en iyi şekilde saflaştırılabilmesidir (zhao ve ark. 2010).

1.11.1.2. Basınçlı Suyla Yıkama

Fiziksel bir ayırma yöntemi olan bu yöntemle metanın saflaştırılmasında, biyogaz bileşenlerinin sudaki çözünürlük farkından yararlanılır. CO_2 ve H_2S'in sudaki çözünürlüğü CH_4'e göre daha yüksektir. Bir su tankına üstten su verilirken basınçlı biyogaz alt taraftan verilerek biyogazın sudan geçirilmesi sağlanır. Bu işlemde suda çözünen CH_4 miktarı, CO_2 ve H_2S'in miktarına göre ihmal edilebilecek kadar azdır. Başka bir deyişle bu yöntem gazların sudaki absorbsiyonudur. Bu yöntemde zamanla suda çözünmüş CO_2 ve H_2S miktarı artacağından suyun başka bir tankta sirküle edilerek

rejenere edilmesi gerekir. Aksi takdirde çok büyük miktarda suyun harcanmasına neden olunur (Bahtiyar ve Emin 2008).

Çizelge 1.11. Biyogazın bazı bileşenlerinin 20 ^{0}C ve 1 atm basınçta sudaki çözünürlüğü (Lie 2005)

Gaz	Sudaki Çözünürlük (cm^3/kgsu)	Kaynama Sıcaklığı (℃)	Erime Sıcaklığı (℃)	Kritik Sıcaklık (℃)	Kritik Basınç (bar)
CH_4	3.3	-161,5	-182.5	-82.1	46.4
CO_2	85.1	-78	-57	31	73.8
H_2S	25.0	100	0	374	221
N_2	1.5	-196	-210	-146.9	34

1.11.1.3. Polietilen Glikol (PEG) Kullanma

Polietilen glikol veya PEG'in dimetil eteri, endüstride kullanılan bir çözücü olan seleksolün temel bileşenidir. PEG ile ayrıştırma su ile ayrıştırma yöntemi gibi fiziksel bir ayırma yöntemidir. Bu yöntemin farkı, su yerine seleksolün temel kimyasal bir bileşeni olan PEG kullanılmasıdır. PEG, CO_2 ve H_2S'i suya göre daha iyi çözer. Böylece biyogazın saflaştırılması, absorpsiyon kulesinde daha düşük basınçta gerçekleştirilir. PEG tanklarına gönderilen biyogaz içindeki CO_2 ve H_2S, PEG içinde çözünerek biyogazdan ayrıştırılır. Bu yöntemde de suda çözme ile ayrıştırmada olduğu gibi PEG desorpsiyon yoluyla rejenere edilerek yeniden kazanılabilmektedir. Şekil 1.12.'de PEG ile saflaştırma yapan bir tesis görülmektedir (Eyidoğan 2008).



Şekil 1.12. Polietilen glikol ayrıştırma ünitesi (Persson ve ark. 2007)

1.11.1.4. Membran Kullanarak Ayırma

Membran kullanılarak gerçekleştirilen biyogaz saflaştırma işlemi farklı molekül ağırlığı ve büyüklüğüne sahip biyogaz bileşenlerinin difüzyon hızları arasındaki farktan yararlanılarak ayrıştırılmasına dayanmaktadır. H_2S ve CO_2'ye göre daha küçük ve daha hafif molekül yapısına sahip olan CH_4, bu özelliklerinden dolayı membrandan daha hızlı ve daha fazla geçmektedir.

Bu yöntemde gazların molekül hacimleri, molekül geometrisi ve molekülün membran ile olan etkileşimleri arasındaki farklardan dolayı gazlar membrandan farklı hızlarla geçmektedir. Geçiş hızları arasındaki bu fark, farklı gaz moleküllerinin birbirinden ayrılmasını sağlamaktadır. Membranın iki yüzü arasındaki kısmi basınç veya konsantrasyon farkı, gazın membrandan geçişini sağlayan başlıca etkendir (Bahtiyar ve Emin 2008).

Bu yöntemde en önemli avantaj su/sıvı veya herhangi bir kimyasala ihtiyaç duyulmamasıdır. Biyogazın saflaştırılma derecesi membranın türüne, membranın yüzey yapısına, gaz akış hızına ve ayırma basamaklarının sayısına bağlı olarak değişmektedir.

1.11.1.5. Adsorpsiyon

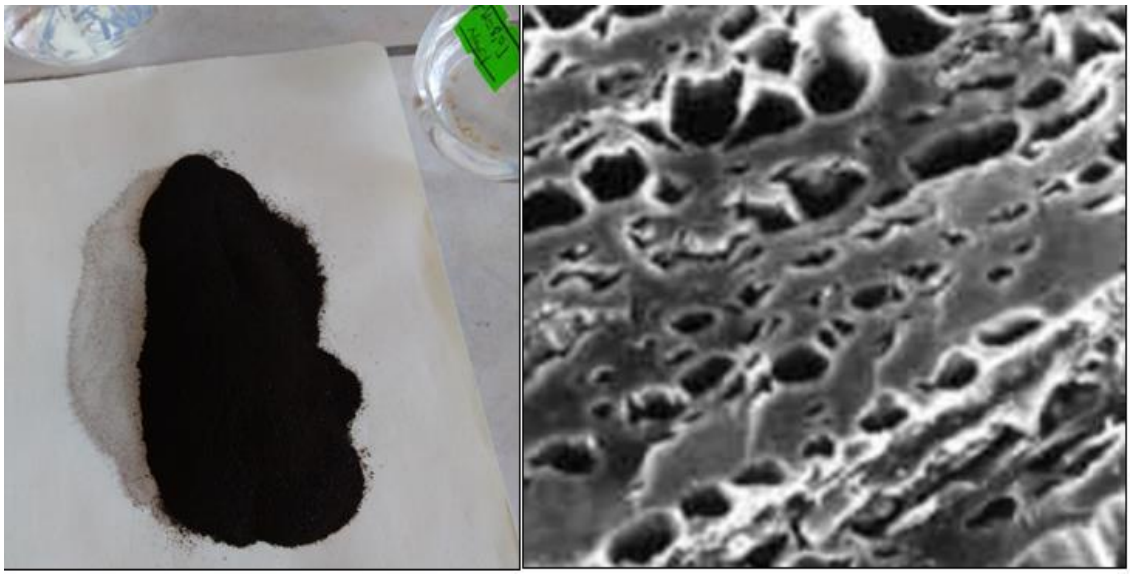
Adsorban taneciklerinin(atom, iyon veya moleküller) katı olan adsorbent yüzeyine kimyasal, fiziksel, elektriksel olarak tutunmasıdır. Gazların Adsorplanması büyük ölçüde adsorbentin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Ayrıca adsorpsiyonda sıcaklık, pH gibi etkenlerin yanında adsorbentin yüzey alanının büyüklüğü önemli bir etkendir. Yüzey alanı arttıkça adsorplanan tanecik sayısı artar. Biyogaz adsorpsiyonla saflaştırılırken polar bir adsorbent tarafından, polar moleküller olan CO_2, H_2S adsorplanırken, CH_4 apolar bir molekül olduğundan adsorplanması nispeten daha düşüktür. Adsorpsiyon sonunda tutulan moleküller desorpsiyonla uzaklaştırılarak tekrar kullanılabilir hale gelirler. Basınç altında gerçekleştirilen adsorpsiyonlarda gaz basınç altında adsorbent üzerine tutunur ve adsorbent doygunluğa eriştikten sonra basınç kaldırılarak adsorplanmış olan gaz serbest bırakılır (desorpsiyon) ve rejenerasyon gerçekleştirilir.

Biyogazdan CO_2'yi gidermek için basınçlı adsorpsiyon uygulanmak istendiğinde bu işlemden önce H_2S ve nem giderilmelidir. Çünkü bu gazlar adsorbentin

rejenerasyonu için basınç kaldırıldığında CO_2 gibi kolaylıkla adsorbenti terk etmezler (Bahtiyar ve Emin 2008).

1.11.1.6. Aktif Karbon

Gazların adsorpsiyon yöntemiyle ayrıştırılmasında kulanılan bir adsorbenttir. Genel olarak bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerin 700-800 ^{0}C gibi sıcaklıklarda karbonizasyonu (karbon iskeleti elde etme) sonrasında fiziksel ve kimyasal aktivasyonla elde edilirler. Aktif karbonların gelişmiş gözenekli yapıları ve geniş yüzey alanları onlara güçlü adsorpsiyon özelliği kazandırmaktadır. Aktif karbonun bir gramı aktivasyonda kullanılan materyallere ve aktivasyon şekline göre 500 ile 1500 m^2'ye varan iç yüzey alanı sağlar bu da daha az adsorbent ile daha fazla gaz adsorplama imkanı elde etmek demektir. Yüksek adsorplama kapasitesi, uzun raf ömrü, su, asit, alkali ve organik çözücülerde çözünmemesi aktif karbonlara üstünlük sağlamaktadır. Maliyetlerinin yüksek olması da önemli bir dezavantajdır.



Şekil 1.13. Aktif karbon ve aktif karbonun gözenekli yapısının elektron mikroskobundaki görüntüsü

Aktif karbonlar aktivasyon şekline göre karbondioksit ve hidrojen sülfürü tutabilir. Seri bağlı aktif karbon düzeneklerinden yararlanılarak karbondioksit ve hidrojen sülfürün tutulması mümkündür.

Biyogazın içine havanın gönderilmesiyle havadaki oksijenin, H_2S ile katalitik reaksiyonu sonucunda kükürt ve H_2O oluşmaktadır. Açığa çıkan kükürt, aktif karbon tarafından adsorbe edilerek, biyogazdan uzaklaştırılmaktadır.

$H_2S + 3/2O_2 \longrightarrow SO_2 + H_2O$

$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3/2S_2 + 2H_2O$

Toplam reaksiyon denklemi:

$H_2S + 1/2O_2 \longrightarrow 1/2S_2 + H_2O$

H_2S ve O_2 normal sıcaklıklarda reaksiyona girmez, fakat 200 ^{0}C'nin üzerinde reaksiyona girerler. Aktif karbon, katalizör görevi görür ve reaksiyon ısısını düşürerek H_2S'in düşük sıcaklıklarda O_2 ile reaksiyona girmesini sağlayarak kükürt ve su oluşturur. Oluşan kükürt aktif karbonun mikro ve mezo gözeneklerinde tutulurken nem ise katalizör yüzeyinden desorpsiyona uğrar. Aktif karbon kendi kütlesi kadar kükürdü adsorplayabilmektedir (Klein ve Henning 1984).

Potasyum iyodür (KI) ile aktive edilmiş karbon sanayide çokça kullanılmaktadır. Bunun nedeni KI'ün sadece reaksiyon hızını artırması değil, aynı zamanda sülfürik asit oluşumunu da engellemesidir (Klein ve Henning 1984).

1.11.1.7. Demir Oksit İle Saflaştırma

Demir oksitler; demir (III) oksit (Fe_2O_3) ve demir (II) oksit (FeO) gibi bileşiklerdir. H_2S, demir hidroksitler ve demir oksitler ile kolayca reaksiyon verir. Biyogaz, demir oksit peletleri bulunan saflaştırma tankından geçirildiğinde, demir oksit peletleri H_2S ile reaksiyona girerek demir (III) sülfür (Fe_2S_3) bileşiği oluşturur. Pelletlerin rejenerasyonu, oksijenle reaksiyona sokularak gerçekleştirilir (Yuan ve Bandosz 2007).

$Fe_2O_3 + 3H_2S \longrightarrow Fe_2S_3 + 3H_2O$

$2Fe_2S_3 + 3O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 6S$

Reaksiyon endotermiktir (ısı alan), bundan dolayı gerekli enerjiyi sağlamak için en az 12 ^{0}C'lik bir sıcaklığa ihtiyaç vardır. Reaksiyon için optimum sıcaklık, 25 ile 50 ^{0}C aralığıdır. Demir oksit ile reaksiyon su gerektirdiğinden, biyogazın bir miktar nem içermesi gerekmektedir. Ürün, yine demir oksit veya hidroksit ve bazik kükürttür (Yuan ve Bandosz 2007).

1.11.1.8. Demir (III) klorür ($FeCl_3$) Kullanımı

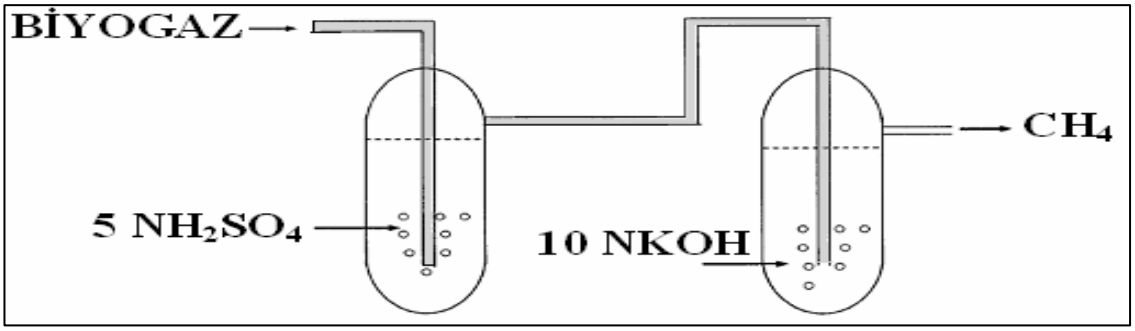
$FeCl_3$, Katı halde portakal sarısı, Çözelti halinde koyu kırmızı/kahve renkte, +3 yükseltgenme basamağında bir bileşiktir. $FeCl_3$, doğrudan ön hazırlık tankındaki digest bulamacına katılır. $FeCl_3$, fermantasyonla açığa çıkan biyogaz içindeki H_2S ile reaksiyona girer ve demir (II) sülfür (FeS) çökeltisini oluşturur.

$$3H_2S + 2FeCl_3 \longrightarrow 2FeS + S + 6HCl$$

Bu yöntemde $FeCl_3$ çözeltisinin kullanılması için bir depolama tankı ve bir dozaj pompası gerekmektedir bunun da maliyeti düşük olmasına rağmen, yüksek maliyetli $FeCl_3$'den dolayı işletme maliyeti yüksek olmaktadır (Wellinger ve Linberg 2000).

1.11.1.9. Sülfürik Asit (H_2SO_4) ve Sodyum Hidroksit (NaOH) ile Saflaştırma

Metanı saflaştırma işlemi, biyogazı belirli miktarlardaki 5N H_2SO_4 (Sülfürik Asit) ve 10N KOH (Potasyum Hidroksit) veya NaOH(sodyum hidroksit) gibi çözeltilerden geçirilerek te yapılmaktadır (Buğutekin 2007).



Şekil 1.14. Biyogazı H_2SO_4 ve KOH ile yıkama yöntemi (Buğutekin 2007)

Biyogaz KOH veya NaOH çözeltisinden geçirilerek CO_2, sodyum karbonat (Na_2CO_3) veya potasyum karbonata (K_2CO_3), H_2S ise sodyum sülfüre(Na_2S) veya potasyum(K_2S) dönüşür.

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$2NaOH + H_2S \rightarrow Na_2S + 2H_2O$$

NaOH veya H_2SO_4'ten geçirilen biyogaz içindeki CO_2 ve H_2S yukarıdaki örnek reaksiyonlarda olduğu gibi tutulurken nem de tutulmaktadır. Çünkü hem NaOH ve H_2SO_4 hem de Na_2S nem tutucu özelliğe sahiptir.

Kostik adıyla bilinen sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinden geçirilen biyogaz içindeki H_2S, NaOH ile reaksiyona girerek sodyum sülfit (Na_2SO_3) veya sodyum hidrojen sülfat ($NaHSO_4$) tuzlarını oluşturur. Bu tuzların çözünmemesi ve yöntemde kullanılan suyun yenilenememesi, sodyum sülfür ile kirlenmiş çok fazla miktarda su harcanmasına ve çevre kirliliğine neden olur (Tunç 2016).

1.11.1.10. Zeolitler ve Moleküler Eleklerin Kullanımı

Zeolitler doğal oluşumlu alüminyum silikatlardır. Tetrahedral kristal yapıdaki SiO_4 (silisyum tetraoksit) içerirler. Bu yapılar hidrojen köprüleriyle birbirlerine bağlıdırlar. Doğal olmalarından dolayı ucuz birer adsorplayıcıdırlar. Anorganik yapıda olmalarından dolayı fiziksel olarak dayanıklıdırlar. Zeolitler, H_2S tutma kapasiteleri yüksek, kolay rejenere edilebilen ve bozulmayan yapıya sahiptirler.

Moleküler elek sentetik bir madde olup zeolitlerin kopyasıdır. Gözenekleri angström (A^0) boyutunda olup ($1\ ^0A=10^{-10}$ m = 0,1 nm) gözenek boyutları eleğin tipini belirler (Tip 3A, tip 4A, tip 5A). Mikro gözenekli olup tüm gözenek boyutları birbirine eşittir. En iyi adsorplayıcılardan biridir. Adsorplama yanında iyi birer katalizördür. Hava ve endüstriyel gaz ayrıştırma, saflaştırmada ve nem almada kullanılırlar. Polar yapıda olup eleme özelliklerinden dolayı selektiftirler.

1.11.2. Nemden Arındırma (Kurutma) Yöntemleri

Fermentördeki ortamın sıcaklığının ortalama 34-38 ^0C civarında olduğu göz önüne alındığında fermentör ortamı neme doygundur. Yani yüksek oranda nem içermektedir. Biyogaz fermentörden alınırken neme doygun haldedir. Nem biyogazın ısıl değerini düşürmekte ve nemi alınmamış biyogaz hafif kızıl bir alevle yanarken, Nemi alınmış biyogaz ise mavi parlak bir alevle yanmaktadır.

Biyogazın 35 ^0C'de nem içeriği yaklaşık %5'tir. Biyogaz basınçla sıkıştırıldığında nem yoğuşarak ventillerde tıkanmalara nakil hatlarında sorunlara yol açmaktadır (Bahtiyar ve Emin 2008). Biyogaz saflaştırılırken hangi aşamada nemin alınması gerektiği uygulanan saflaştırma tekniğine bağlıdır. Nem giderme teknikleri arasında yoğuşturma, metal oksitler ile adsorpsiyon, glikol veya hidrofil tuzlarla absorpsiyon yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Lie 2005).

Nem gerek biyogaz kalitesini, gerekse CO_2, H_2S ve azot oksit (NO_x) gazlarıyla asidik bileşikler oluşturarak korozif etkiye neden olması ve gerekse sıkıştırılma sırasında kompresörlerde ve ventillerde buz oluşturarak sistemde tıkanmalara neden olabilmesi nedeniyle biyogazın nemden arındırılması gerekmektedir.

1.11.2.1. Yoğuşturma

Nemden arındırma işleminde genel olarak yoğuşturma teknikleri kullanılmaktadır. Biyogaz tesislerinde nemin soğutuculardan geçirilerek yoğuşturulması işlemi chiller (soğutucu) üniteleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Chiller ünitesi, ısıyı bir kaynaktan alıp başka bir kaynağa transferini sağlayan kompresör, evaparatör, kondanser, ve kapalı sistem içindeki gazdan ve genleşme vanasından oluşmuş bir sistemdir. Chiller ünitesinde evaparatörden geçen sogutucu gaz burada biyogazın ısısını alarak ısınır ısınan gaz kompresörün de ısısını aldıktan sonra kompresörün basıncıyla kondansere gönderilir. Kondanserden soğuyarak geçen soğutma gazı, genleşme vanasına geçer, burada sıcaklığı iyice düştüğünden, düşük sıcaklık ve yüksek basıncın etkisiyle ünite gazı sıvılaşır. Buradan tekrar evaparatöre gider ve tekrar biyogazın ısısını alarak biyogazı soğutur. Soğuyan biyogaz içindeki nem yoğuşur bu esnada bir miktar CO_2 ve H_2S'te sıvılaşan nem içinde çözünür. Yoğuşmayla nem biyogazdan ayrılırken oluşan su bir tankın içinde birikir ve belli aralıklarla veya sürekli olarak suyun tahliyesi sağlanır. Sistemin çalışması bu şekilde devam eder. Hava ve su soğutmalı chiller sistemleri en bilinenlerdir.



Şekil 1.15. Biyogaz tesisisnde kullanılan chiller ünitesi

1.11.2.2. Adsorpsiyon Yöntemi

Bu yöntemde nemin tutulmasında, moleküler elekler, zeolitler, silika jeller ve alüminalar gibi adsorbanlardan yararlanılır. Yöntem, nemin saydığımız adsorbanlar üzerinde adsorplanması temeline dayanır. Basınç altında yapılan bu işlem nem ve diğer seyrelticilerin tutulmasını sağlar. Polar yapıdaki bu adsorbanlar, polar yapıda olan CO_2, H_2S ve H_2O'yu (nem) adsoplayarak tutarlarken apolar yapılı CH_4'ü tutmamakta veya ihmal edilecek kadar az tutmaktadırlar.

1.12. Biyogaz Üretim Tesisleri

Genel olarak beş tür biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır.

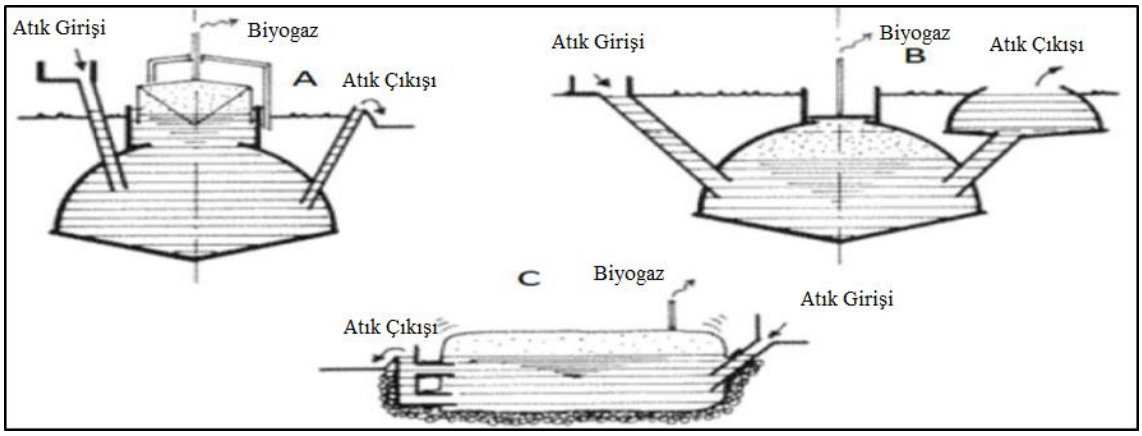
1-Tarımsal biyogaz tesisleri
2-Atık su arıtma tesisleri
3-Katı atık arıtma tesisleri
4-Endüstriyel biyogaz tesisleri
5-Çöp gazı geri kazanım tesisleri (Al Seadi ve ark. 2008).

1.12.1. Tarımsal Biyogaz Tesisleri

Üç gruba ayrılmıştır. Bunlar;

1.12.1.1.Aile Tipi Biyogaz Tesisleri

Çin tipi, Hint tipi ve Tayvan-Çin tipi biyogaz tesisleri olarak adlandırılan küçük ölçekli sistemlerdir (Kossmann ve Pönitz 1999). Aile tipi biyogaz tesisleri Şekil 1.16'da görülmektedir.



Şekil 1.16. Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü (Kossmann ve Pönitz 1999)
(A.Hint tipi, B.Çin tipi, C. Tayvan-Çin tipi)

-Çin Tipi-Sabit Kubbeli Reaktörler

Bir çürütücü ve üzerinde sabit duran kubbe şeklindeki bir gaz tutucudan ibarettir. Hareketli parçası olmadığından yapım maliyeti düşüktür. Kaliteli malzeme kullanılarak yapılması uzun ömürlü olmalarını sağlamaktadır. Çin tipi reaktörler yere gömülü bir şekilde yapıldığından yüzeyde fazla alan işgal etmemeleri yanında ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmelerine karşı korunaklıdırlar (Kossmann ve Pönitz 1999).

-Hint Tipi Reaktörler

Yer altındaki bir çürütücü tankı ile sabit olmayan bir gaz tutucu depodan oluşmaktadır. Gaz tutucu ya doğrudan bulamaç üzerinde yüzer ya da kendisine ait bir su tabakası oluşturur. Açığa çıkan gaz, depolanan gazın miktarına göre üst kısımda bulunan ve aşağı-yukarı hareket eden bir gaz tamburunda toplanır. Sistem gaz tamburunun bir su tabakasında yüzmesi durumunda yüksek katı madde içeren karışımlarda bile takılmanın olmaması bir avantajdır. Uygulanması basit olan sistemde depolanan gaz görünür durumdadır. Gaz basıncı sabit olup gaz basıncı, gaz tutucunun ağırlığı ile belirlenir. İnşaat aşamasında yapılmış olabilecek hatalar gaz veriminde ve uygulamada ciddi problemlere neden olmaz. Ancak korozyona karşı hassas olmasından dolayı çelik tambur maliyeti artırmaktadır. Bu yüzden Çin tipi tesislere göre ömürleri kısadır ve bakım maliyetleri daha yüksektir (Kossmann ve Pönitz 1999).

-Tayvan-Çin Tipi Reaktörler

Polivinilklorür(PVC) veya dayanıklı naylon malzemeden yapılmış silindir yapılardır. Bu tür reaktörler oldukça hafiftir. Hayvanların barınma alanına yakın bir konumda rahatlıkla inşa edilebilirler. Yerin kazılarak zeminden belli bir derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir olması bu reaktörlerin Çin'de hızla yayılmasını sağlamıştır (Yokuş 2011).

1.12.1.2. Çiftlik Tipi Biyogaz Tesisleri

Çiftlik atıklarının kullanıldığı bu sistemlerde, sistemin CH_4 verimini artırmak için deniz ürünleri, sebze, meyve, süt ve yağ endüstrisi atıkları da kullanılabilir. Bu şekilde yapılan sistemler civardaki çiftliklerin de atıklarından yararlanabilir. Almanya,

Avusturya ve Danimarka başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın diğer bölgelerinde bu tesisler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde çoğu Avrupalı çiftçi biyogaz ve verimli organik gübre elde etmenin yanında yeni iş ve istihdam sahaları yarattığı gerekçesiyle bu tür tesislere yatırım yapmaktadır. Bu tip tesisler biyogaz ihtiyacı ve uzun vadeli planlamalar doğrultusunda farklı biçimlerde ve ebatlarda yapılabilmektedir (Al Seadi ve ark. 2008).

Bu türden tesislerin fermantasyon tankları Şekil 1.17.'de görüldüğü gibi yatay veya dikey olarak da yapılabilmektedir. Bu tesislerde HBS atığın türüne ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Atığın ortalama bekletilme süresi 20-40 gün arasında değişkenlik göstermektedir. Üretilen gaz elektrik ve ısı üretmek maksadıyla kullanılmaktadır. Üretilen ısı ve elektriğin %10-30 kadarlık bölümü çiftliğin ihtiyaçlarında kullanılmakta geri kalanı ise satılabilmektedir (Al Seadi ve ark. 2008).



Şekil 1.17. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisi

1.12.1.3. Merkezi Biyogaz Tesisleri

Bitkisel, hayvansal veya endüstriyel atıkların kolaylıkla ulaştırılabileceği merkezi bir konumda kurulan bu tesislerin önemli bazı özellikleri vardır. Bunlar;

-Merkezi konumlarından dolayı getirilen atıkların nakliye maliyetlerini düşürmektedirler.

-Üretilen enerjilerin (ısı-elektrik) iletim kayıplarını azaltmaktadırlar.

-Oluşan organik gübre ve gübre ürünlerinin nakli, işletme maliyetlerini, işgücünü ve zaman kaybını azaltırlar.

-Bu tesislerde zirai atıklar, gıda endüstrisi atıkları, organik evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları değerlendirilebilmektedir.

Bu tesisler başta Danimarka olmak üzere hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde de bu tesislerin sayısı giderek artmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 1.18.'de bir merkezi biyogaz tesisinin üstten görünüşü verilmiştir.

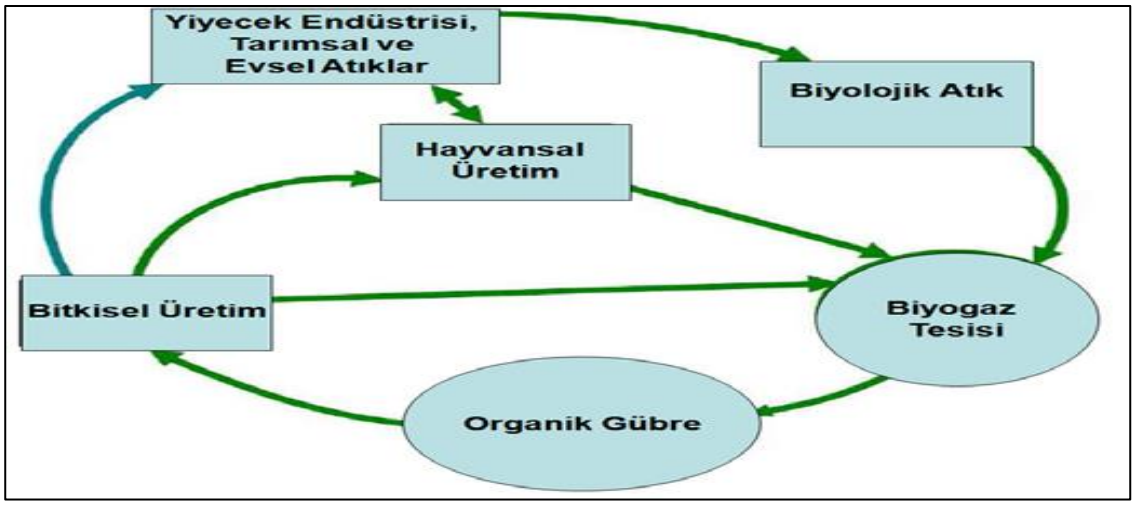


Şekil 1.18. Merkezi biyogaz tesisi

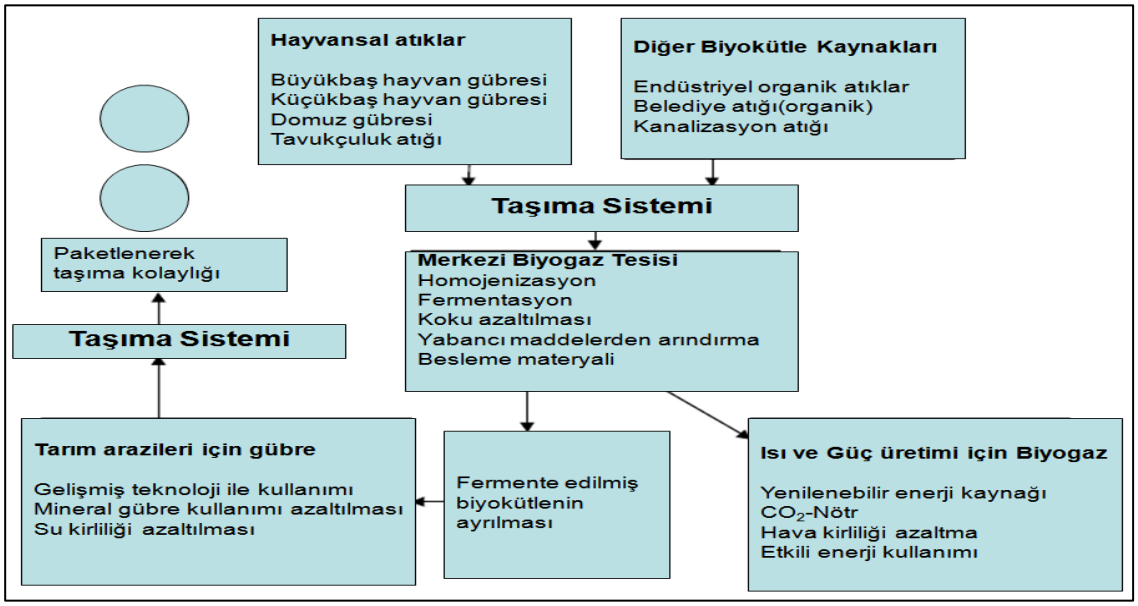
Merkezi biyogaz tesislerine taşınan organik atıklar öncelikle homojen bir forma getirilmekte ardından fermantasyon tankına gönderilmektedir. Bu sistemde çiftçilerden veya diğer atık alma merkezlerinden tesise gönderilen hayvansal atıkların yerinde depolanması ve nakledilmesi tesisin sorumluluğundadır. Depolama alanları duruma göre birkaç çiftçi tarafından ortak olarak değerlendirilebilmektedir. Bu sistemde HBS

ortalama 15-25 gün civarıdır ve sürekli besleme yapılmaktadır. Fermantasyon tankına alınan biokütle karışımı kadar fermente olmuş atığın fermantasyon tankından dışarıya alınması pompa ile gerçekleştirilmektedir (Al Seadi ve ark. 2008).

Aşağıda Şekil 1.19.'da merkezi biyogaz tesisinin çalışma döngüsü ve Şekil 1.20.'de de tesisin çalışma prensibini gösteren şemalar verilmiştir.



Şekil 1.19. Merkezi biyogaz tesisinin işleyiş döngüsü (Al Seadi ve ark. 2008)



Şekil 1.20. Merkezi biyogaz tesisinin çalışma ilkesi (Al Seadi ve ark. 2008)

1.12.2. Atık Su Arıtma Tesisleri

Bu sistemlerde önce atık suların tesise girişi sağlanmakta sonra atık sular, yoğunlaştırma tanklarına alınarak içeriğindeki organik atıkların çöktürülmesi ve çamur kıvamının artırılması sağlanmaktadır. Yoğunlaştırılan organik atık çamurları

çürütücülere gönderilerek fermantasyon işlemine tabi tutulmakta ve biyogaz elde edilmektedir. Elde edilen biyogazdan elektrik ve ısı elde edilmekte ve bu elektrik ve ısı tesis işletmesinde kullanılmaktadır. Fermente olan organik atıkların tarımda kullanılabilmesi için gerekli ölçümler sonucu içeriğindeki ağır metal miktarının sınır değerlerin altında olması gerekmektedir. Ancak yapılan analizler atık su arıtma tesislerine gelen atık suların gerek evsel atıklar içindeki toksik maddeler ve gerekse küçük sanayi işletmelerinin atıkları içinde bulunan yüksek miktardaki kurşun (Pb), krom (Cr), cıva (Hg), kadmiyum (Cd) gibi ağır metalleri içermesi, fermente olmuş atıkların tarımda kullanılmasını engellemektedir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi ağır metallerin de ayrıştırılmasını gerektirmektedir. Bu durum maliyeti artırdığından ülkemizde çoğunlukla bu tesislerde fermente edilmiş çamur tarımda kullanılamamaktadır.

Bu tesisler işlem dengelemesi ve kalan atık miktarını en aza indirmek amacıyla kullanılmaktadır. Avrupa'daki arıtma çamurunun yaklaşık %30-70 kadarı bu şekilde anaeorobik fermantasyon ile iyileştirilmektedir. Arıtma çamurundan enerji elde edilirken işlem sonrası kalan çamur tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılabilmektedir (Al Seadi ve ark. 2008). Şekil 1.21'de Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi atık su arıtma tesisinden bazı bölümlerin görselleri verilmiştir.

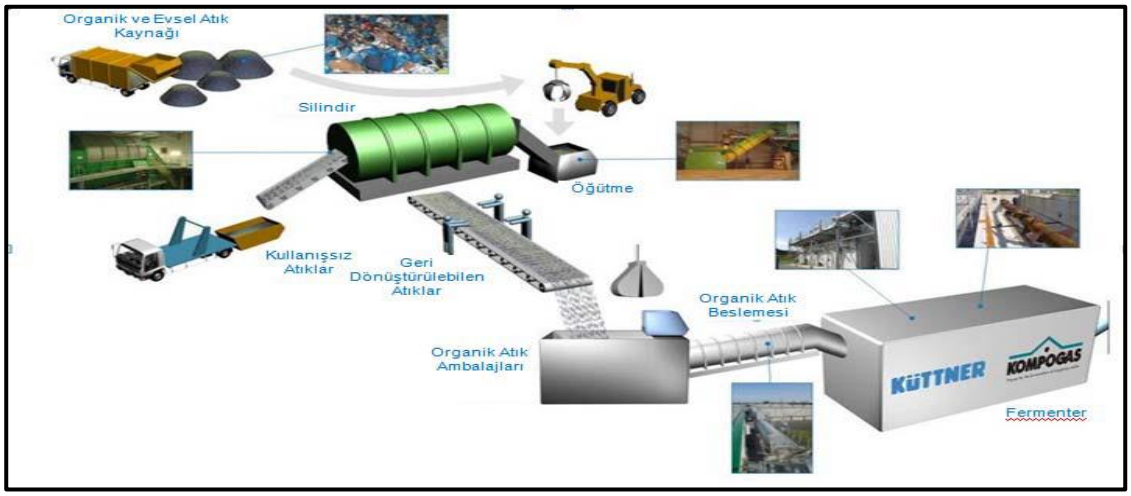


Şekil 1.21. Atık su arıtma tesisinin bazı bölümlerinin dıştan görünümü

1.12.3. Katı Atık Arıtma Tesisleri

Bu tesislerde belediye tarafından toplanan atıkların büyük bir kısmı biyogaza dönüştürülüp değerlendirilir. Son yıllarda evsel atıklar önce kaynağında sonra da belediye çöp alanlarında geri dönüşüme tabi tutulmakta, kalan organik atıklar biyogaz elde edilmesinde kullanılmaktadır. Mutfak atıkları anaeorobik fermantasyon için

elverişli bir hammadde kaynağıdır. Bu nedenle en çok kullanılan atık çeşididir. Burada asıl amaç organik atıkların depolama alanlarında bertarafını sağlamak ve geri dönüşüme kazandırmaktır. Evsel atıklar için tasarlanmış bir biyogaz tesisi Şekil 1.22.'de verilmiştir (Yokuş 2011).



Şekil 1.22. Evsel katı atıklar için planlanmış bir biyogaz tesisi (Yokuş 2011)

1.12.4. Endüstriyel Biyogaz Tesisleri

Organik atıklar içeren sular için kullanılan bu sistem başta Avrupa olmak üzere Dünya'da en çok kullanılan sistemlerdir. Atık su arıtma, Gıda endüstrisi, İçecek endüstrisi, Sanayi ürünleri gibi endüstri alanlarında kullanılmaktadır (Yokuş 2011).



Şekil 1.23. Endüstriyel bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld (Yokuş 2011)

1.12.5. Çöp Gazı Geri Kazanım Tesisleri

Bu tesisler ucuz enerji elde edilmesi için iyi birer kaynaktır. CH_4 ve çürüme sonucu açığa çıkan diğer gaz emisyonlarını azaltmak ve ucuz enerji elde etmek

amacıyla kullanılabilmektedir. Depolama sahalarına uzak olmaları nedeniyle elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Yokuş 2011).



Şekil 1.24. Çöp gazı geri kazanım tesisi (Yokuş 2011)

1.13. Biyogazın Kullanım Alanları

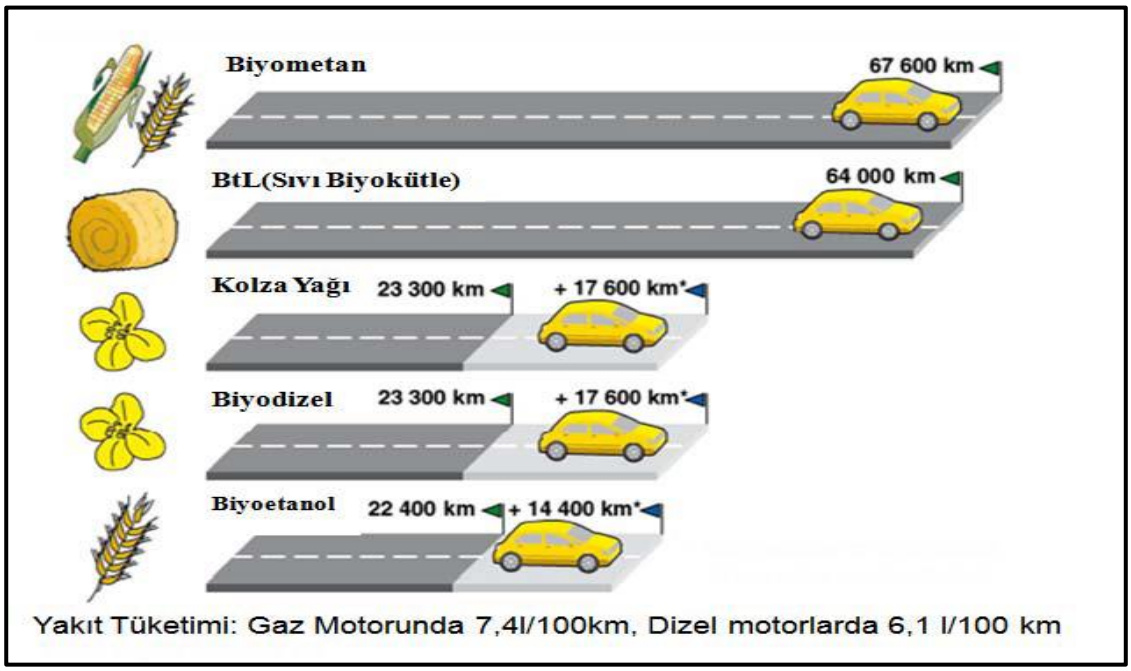
Biyogazın üretimi çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi üretimi, atık kontrolü, organik gübre elde edilmesi, atıkların yarattığı istenmeyen çevresel etkilerin azaltılması gibi amaçlarla gerçekleştirilen bir enerji üretim tekniğidir. Biyogazın çok geniş bir yelpazeye yayılan kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Kombine güç (elektrik/ısı) Üretimi
2. Isı-buhar Üretimi(sıcak su ve hava üretimi ve kurutma proseslerinde egzoz ısısından yararlanılır.)
3. Araba yakıtı olarak
4. Yakıt Pillerinde Kullanımı
5. Kimyasal maddelerin üretilmesinde kullanma
6. Tarımsal Kullanım ve Fermente Gübre eldesi
7. Evsel Kullanım
8. Doğrudan ısıtma için yakıt olarak kullanma
9. Motorlu Araçlarda kullanma
10. Tribünlerde yakılarak elektrik enerjisi üretme
11. Doğal gaza katılarak daha ucuz yakıt olarak kullanma
12. Kurutma ve kuluçka makinelerinde kullanma

1.13.1. Araçlarda Yakıt Olarak Kullanımı

Saflaştırılarak metan oranı %90-95'e çıkarılmış olan biyogaz doğal gaza uyumlu tüm araçlarda rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bunun nedeni doğal gazın da metan içeriğinin % 95'in üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle motor emisyon ve güç performansları birbirine yakındır. Ulaşım ve nakliye araçlarında biyogaz kullanımı açısından İsveç Dünya'da lider ülke konumundadır. İsveç 2007 yılı itibariyle biyogazla çalışan ve kent içi ulaşım alanında yaklaşık 4500 adet otobüs kullanmaktadır (Rutz ve Canssen 2007).

Saflaştırılmış biyogaz (% 95 metan) ile diğer biyoyakıtların kullanıldığı araçların performansları karşılaştırıldığında biyogazın performansının diğer enerji ürünlerinden elde edilen yakıtlara göre gayet yüksek olduğu görülecektir. Şekil 1.25.'da 1 hektar alanda ekilen enerji ürünleri kullanılarak elde edilen biyoyakıtlar ile ne kadar mesafe kat edilebildiği gösterilmektedir. Burada göz önüne alınması gereken husus enerji ürünleri ekip biçmek ve sonra onları birçok aşamadan geçirerek büyük emek ve zaman sarfettikten sonra onlardan enerji elde etmek yerine zaten var olan atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilerek bu yüksek potansiyelli enerjiden yararlanılmasının her açıdan daha karlı olacağıdır . (Lampinen 2007).



Şekil 1.25. Performans yönünden biyoyakıtların kıyaslanması (Yokuş 2011)

1.13.2. Biyogazın Tarımda Kullanımı

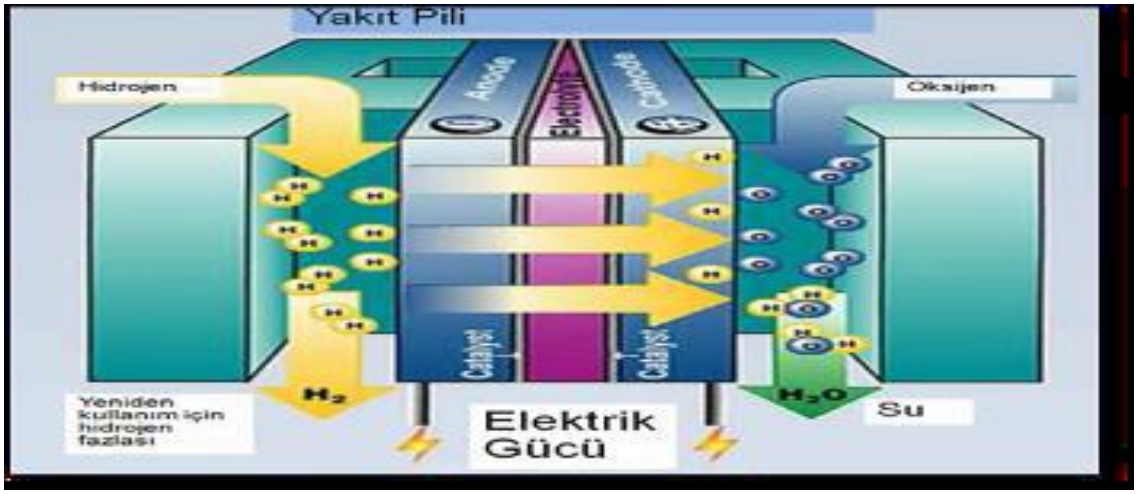
Biyogaz tarımsal alanda su pompaları, harman makinaları, öğütücülerde, jeneratörlerde başta olmak üzere dizel ve benzinli motorlarda rahatlıkla kullanılabilmektedir. Benzinli motorlarda kullanım için benzin karbüratörünün yerine bir gaz karbüratörü takılması yeterlidir. Küçük zamanlama ayarları haricinde sistemde başka bir değişikliğe gerek duyulmamaktadır. Dizel motorlarda biyogaz miktarı değiştirilerek veya dizel yakıta az miktarlarda katılarak kullanılabilmektedir. Basit modifikasyonlardan sonra motor dizel yakıtla çalıştırıldıktan sonra sisteme biyogaz miktarı yavaş yavaş artırılarak verilmelidir. Bu şekilde gaz miktarı %80'e kadar çıkarılabilmektedir. Şayet gaz kaynağı kesilirse dizel yakıtla çalışmaya devam edilebilmektedir. % 20 dizel ile % 80 biyogazdan alınan verim %100 dizelle alınan verimden fazladır (Marchaim 1992).

1.13.3.Biyogazın Endüstriyel Kullanımı

Yakıt pilleri, mikro-türbinler ile ısı ve güç kombinasyonu (kojenerasyon) olmak üzere üç farklı kullanım şekli bulunmaktadır.

1.13.3.1. Yakıt Pilleri

Kimyasal enerjiyi, kimyasal bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Yakıt pili Şekil 1.26'da görüldüğü üzere bir elektrolit tabakası ve iki yanında bulunan gözenekli bir katot ve bir anot elektrottan ibarettir. Yakıt pilinde katot ve anot elektrotlar kesintisiz olarak biyogaz ile beslenir. Elektrotlarda gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyon sonucu elektrik üretimi gerçekleşmektedir (Yokuş 2011). Şekil 1.26.'da bir yakıt pilinin yapısı görülmektedir.



Şekil 1.26. Yakıt pilinin yapısı (Al Seadi ve ark. 2008)

1.13.3.2. Biyogaz Mikro-Türbinleri

Biyogaz ile havanın karıştırılıp yanma odasında sıkıştırılması ile sıcaklığın artması sonucu hava ve gaz karışımı yanar ve gaz karışımı genişler. Genişleyen gazlar basınç oluşturur, bu basınç türbini çevirmekte ve bağlı olduğu elektrik jeneratörü ile elektrik üretmeye başlamaktadır. Yüksek maliyetli bir sistemdir.

1.13.3.3. Kojenerasyon/Birleşik Isı Güç Sistemi(CHP)

Endüstriyel alanda biyogazdan elektrik ve ısı üretiminde en çok kullanılan sistemlerdir. CHP, ısı ve elektriğin birlikte üretildiği bir teknolojidir. Yanma olayı egzotermik(ısı veren) bir olaydır. Gazın yanması sırasında açığa çıkan ısının çevreye salınması yerine, radyatör, ısı soğurucu aparatlar veya eşanjörlerle kaplanmış egzoz ve motor aksamlarından ısının alınarak değerlendirildiği sistemlerdir. Tesisin ısıtılmasında, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında, fermentörün ısı ihtiyacının karşılanmasında ve motorların soğutulmasında kullanılmaktadır.

Bir sistemden aynı anda ısı ve elektrik üretilmesi, kojenerasyon veya birleşik ısı-güç üretimi diye adlandırılır. Isı ve elektriğin aynı sistemde birlikte üretilmesi, ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar vermektedir (Tricase ve Lombardi 2009).

Jeneratörlerde biyogaz kullanılarak elde edilen enerjinin ortalama %75'i ısı olarak kaybedilmektedir. Gelişmiş kojenerasyon sistemlerinde, sistemin toplam enerji verimi ortalama %85-90 civarıdır. Elektrik veriminin % 36, yakma veriminin %80, toplam verimin %58 olduğu birbirinden bağımsız sistemlerle kıyaslandığında, elektrik

verimi %30, ısıl verimi %55 olan kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi, %58'den %85'e çıkmaktadır (Eryaşar 2007).

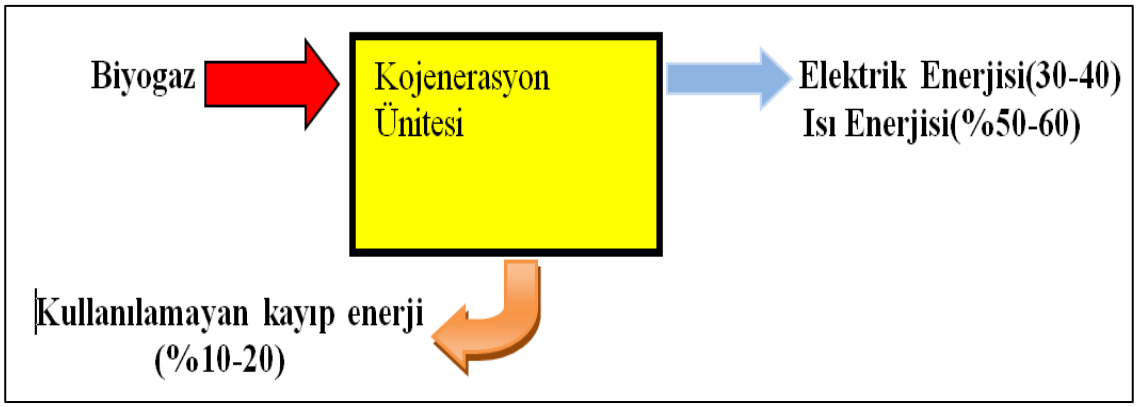
Verimdeki bu farklılık ve CHP sistemlerindeki artışın şematik gösterimi Şekil 1.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.27. Ayrı sistemlerde ısı ve elektrik üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması (Eryaşar 2007)

Ortalama ısıl değeri 5000 kcal/m^3 olan biyogaz 700 °C gibi yüksek sıcaklıkta yanar bu yüzden dizel yakıtla karıştırılarak kullanılabilir. Buji ateşlemeli motorlarda biyogaz tek başına kullanılabilir. Biyogaz dizel yakıttan daha yavaş yanar bu yüzden devir sayısı dakikada 2000 devirden fazla olan motorlarda kullanılmamalıdır (Çeken 1997).

Aşağıdaki görsellerdeki Şekil 1.28.'te bir kojenerasyon sisteminin şematik yapısıyla, Şekil 1.29.'te kojenerasyon sisteminin üniteleri görülmektedir.



Şekil 1.28. Kojenerasyon sisteminin şematik görünüşü



Şekil 1.29. Elektrik ve ısı eldesinde kullanılan kojenerasyon üniteleri(A: Ünitenin içten görünümü, B: Ünitenin dıştan görünüşü, C: Üretilen elektriklerin kontrol panoları)

Kojenerasyon sistemlerinin birçok faydası vardır. Bunlardan bazıları şunlardır;

-İşletmelerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi yanında ısı enerjisi ihtiyaçlarını da karşılayarak maliyetlerin düşmesi,

-Düşük maliyetli enerji üretimi

-Elektrik enerjisinin üretildiği yerde tüketilmesinden dolayı iletim kayıplarının azlığı,

-İhtiyaç duyulan enerjinin bünyesinde üretilmesinden dolayı enerji satın alınmasına olan ihtiyacın azalması,

-Enerji giderinin azlığından dolayı üretim maliyetlerinin düşmesi,

-Enerji veriminin yüksek olması,

-Farklı yakıtlar kullanılabilmesi

1.13.4. Biyogazın Evsel Kullanımı

Biyogazın evdeki kullanımı ısıtma, ışıklandırma ve pişirme amaçlıdır. Evde sobada ısınma amaçlı kullanılacaksa özel tasarımlı sobalar gerekmektedir. Bütan ve propan gibi düşük basınçlarda kullanılabilmektedir. Aydınlatma bir gaz montunda biyogazın yakılmasıyla veya biyogazdan elektrik üreterek yapılabilmektedir. Pişirme için günlük ortalama 0.34-0.41 m^3 biyogaz harcanırken aydınlatma için yaklaşık 0.15 m^3 biyogaz harcanmaktadır. Sonuç olarak altı kişilik bir ailenin günlük ortalama biyogaz ihtiyacı 2.9 m^3'e karşılık gelmektedir (Marchaim 1992).

Biyogazla çalışan lambaların verimi % 3'tür. 60 watt gücündeki biyogaz lambaları, yaklaşık 0.11-0.15 m^3/h yakıt tüketmektedir. Bu nedenle biyogazın yakılarak aydınlatmada kullanılması verimli değildir. 1 m^3 biyogazdan elde edilen elektrik enerjisiyle 60 watt gücündeki 25 adet lamba 1 saat aydınlatabilirken, yakılması durumunda aynı güçte 7 adet gaz lambası ancak aydınlatmada kullanılabilmektedir (Eryaşar 2007).



Şekil 1.30. Biyogazın evsel kullanım araçları (Deviren ve ark. 2017)

1.13.5. Fermente Gübre Kullanımı

Biyogaz üretiminin son aşamasında kalan sulu atık, sıvı formdaki fermente gübre olarak bilinir. Elde edilen sıvı formdaki gübre tarlalara bu haliyle püskürtülerek gübreleme sağlanabildiği gibi, süzüldükten sonra kurutularak veya granül hale getirilerek ihtiyaç şekline göre de gübrelemede kullanılabilmektedir. Elde edilen

fermente gübre ev bitkileri için satılan topraklarda, çiçekçilik-fidancılık gibi sektörlerde kullanıldığı gibi balık ve solucan yemi olarak ta değerlendirilmektedir.

1.14. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemlerin(tesislerin) Bölümleri

Biyogaz üretim sistemlerinde disiplin ve güvenlik konusunda çok titiz olunmalıdır. Sistemin bölümleri basınca karşı emniyet ventilleriyle donatılmalı, statik elektriğe karşı topraklama bağlantıları sağlıklı olmalı, sızdırmazlık, yalıtım, korozyona dayanıklılık, tehlike anında güvenli bir şekilde tahliye edilebilme, üniteler arasındaki atık girişleri ve ürün çıkışlarının sorunsuz gerçekleştirilebilme kolaylığına sahip olmalı, bakım ve onarım yanında personellere çalışma kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanmış olması gerekmektedir.

1.14.1. Atık Toplama ve Dengeleme Tankları

Atık toplama havuzları atıkların toplandığı, ızgaralarla eleme işlemlerinin yapıldığı, sistemde sorun teşkil edecek atıkların ayrıldığı bölümdür. Atıklar buradan dengeleme havuzlarına aktarılır. Dengeleme tankları atıklarının fermantasyon tankına aktarılmadan önce karıştırılarak homojen bir karışım haline getirildiği, su miktarı, bulamacın homojenizasyonu gibi ön parametrelerin sağlandığı ve hammadde akış kapasitesinin dengelenmesinin karıştırıcılarla sağlandığı bölümdür.



Şekil 1.31. Atık toplama ve dengeleme tankları

1.14.2. Digester(Reaktör) Tankı

Çürütücü ya da fermentör de denilen, dengelenme tankında gerekli ayrıştırmaların ve düzenlemelerin yapılmış olarak geldiği, ısı, pH, karıştırma, basınç gibi fermantasyon şartlarının hassasiyetle korunduğu ve fermantasyonun

gerçekleştirilerek biyogazın oluştuğu bölümdür. Bu bölümde gerçekleştirilen tüm işlemlerin hassasiyetle kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.32. Digesterin görünümü

1.14.3. Gaz Depolama Bölümü

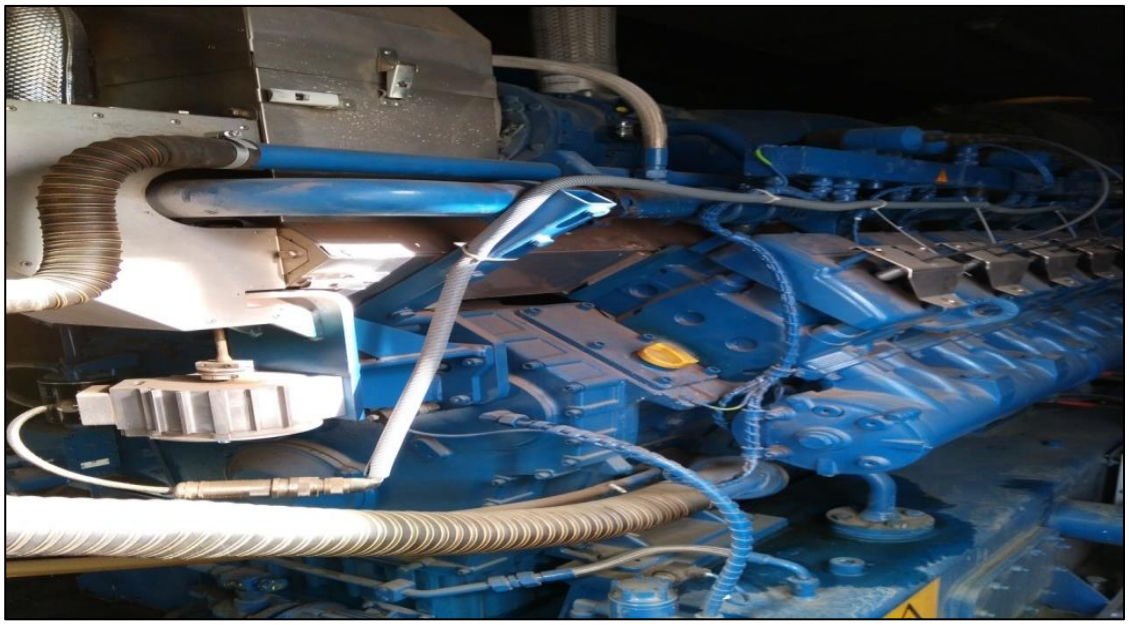
Bu bölüm fermentör üzerinde yapılabildiği gibi ayrı bir depolama tankı şeklinde de yapılabilir. Ya da gazların belirli basınç altında depolandığı sistemler(gazometre) yapılarak ta üretilen gaz buralarda depolanabilmektedir.

1.14.4. Saflaştırma Üniteleri

Biyogaz içindeki CO_2, H_2S ve H_2O'nun(nem), biyogazdan ayrıştırılarak biyogazın metanca zenginleştirildiği, enerji değerinin artırıldığı ünitelerdir. Biyogazın kullanım amacına göre saflaştırma işlemleri, kullanılacak yöntemler ve saflaştırma sistemleri farklılık göstermektedir.

1.14.5. Kojenerasyon Ünitesi

Biyogazın yakılarak ısı ve elektrik enerjisi elde edildiği ünitelerdir. Bu ünitede biyogaz, gaz jeneratörü tarafından yakılarak elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemlerde jeneratör elektrik enerjisi üretirken açığa çıkan ısıdan faydalanmak için jeneratörün ısısını kazanmak ve bu ısıdan faydalanmak için eşanjörlerden faydalanılır. Eşanjörler bir yandan radyatör görevi görerek motorları soğuturken diğer yandan da açığa çıkan ısıyı kullanılacak alana iletmeye yarar. Kojenerasyonda enerji veriminin maksimum olması amaçlanmaktadır. Aşağıda Şekil 1.33'te bir kojenerasyon ünitesinde kullanılan motor görülmektedir.



Şekil 1.33. Elektrik ve ısı üretiminin yapıldığı motorlar

1.14.6. Flare (Gaz Yakma Bacaları)

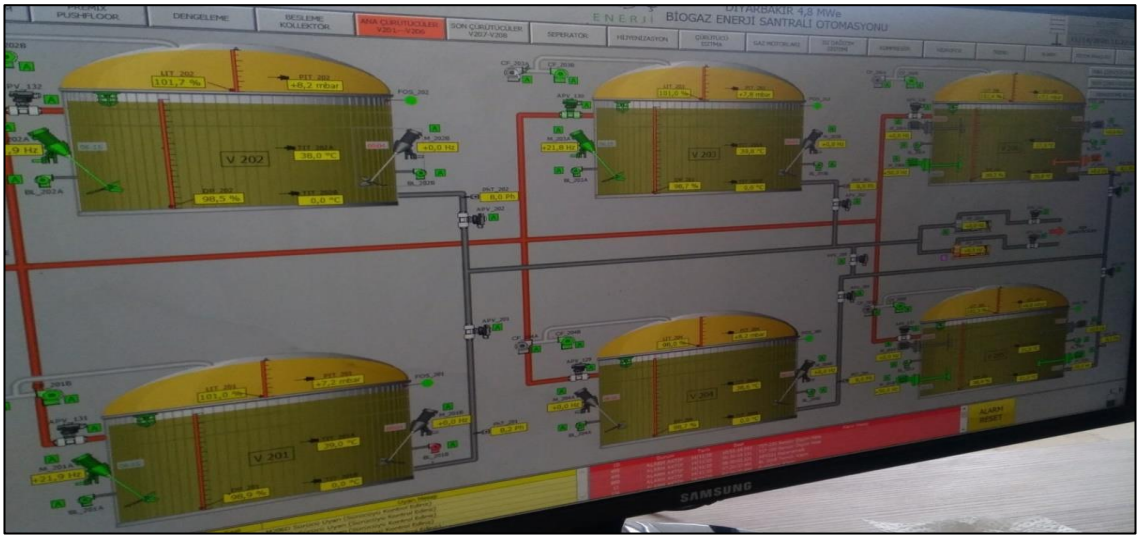
Üretilen biyogaz jeneratörlerde elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülür. Bu dönüşümün arıza veya bakım sebebiyle sağlanamadığı ayrıca biyogazın kullanılamadığı, biyogazı depolamanın yetersiz kaldığı veya biyogazın ihtiyaç fazlası olduğu durumlarda hem sistem güvenliği hem de metanın çevresel etkilerini bertaraf etmek için biyogaz gaz yakma bacalarında (flare) yakılmaktadır. Böylece metanın atmosfere salınması engellenerek sera gazı salınımının azaltılması yanında sistemin güvenliği sağlanmaktadır.



Şekil 1.34. Flareler (gaz yakma bacaları)
A: Yanan bir flare, B: Yanmamış bir flare

1.14.7. Biyogaz Tesis Kontrol Ünitesi (Otomasyon)

Biyogaz tesislerinde üretimin kontrol altında tutulduğu sistemdeki değişikliklerin otomasyonla izlendiği bölümdür. Bu ünite Tesisin güvenliği için önemlidir. Sistemdeki birçok sorun bu bölümde dijital olarak izlenebilmekte ve anında müdahale etme imkanı sağlamaktadır. Şekil 1.35.'te sistemin ekrana yansımış şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 1.35. Biyogaz tesisi enerji santrali otomasyonu

1.14.8. Fermente Gübre Depolama Alanı

Fermantasyon sonunda son ürün olan organik gübrenin havalandırıldığı, kurutulduğu, ambalajlandığı ve depolandığı alandır.



Şekil 1.36. Fermente katı gübrenin toplanma alanı

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gordon (1980), İsviçre'de özel bir çiftlikte kurduğu sistemde ürettiği gazın bir kısmını araba motorunu çalıştırmada bir kısmını da elektrik ve ısı enerjisi elde etmekte kullanmıştır. Fiat motorunda eklediği alternatörle 200 ampul veya büyük bir çiftliğin elektrik ihtiyacını karşılayacak enerjiyi üretirken motorda oluşan ısıyı radyatör yardımıyla merkezi bir ısıtma sistemine aktarmıştır. Günlük 10 saat çalışan motordan saatte 33 000 cal ısı ve 13 000 cal elektrik enerjisi, 4000 cal atıl olmak üzere toplam verimi % 92 olan 50000 cal enerji üretmiştir.

Singh ve ark. (1984). Sıcaklığın 30 ℃ olduğu, katı madde miktarları farklı büyükbaş hayvan atıklarından oluşan beslemeli bir sisteme günlük 25 g/l atık eklenerek HBS 20 gün olarak tutulmuştur. Süre sonunda toplam katının % 9 olduğu atıktan 620 ml CH_4 gazı elde edilmiş, verimi 163 m^3/ton uçucu katı olarak ölçmüşlerdir. Toplam katı miktarı % 2.25 olan katı atıktan 140 ml CH_4 gazı elde edilmiş, uçucu katı miktarını 37 m^3/ton olarak ölçmüşlerdir.

Bujoczek ve ark. 2000. Çalışmalarında 35 ℃'de 119 günlük HBS'de tavuk gübresinden biyogaz oluşumunu incelemişler. Aşı olarak 180 gün bekletilmiş tavuk gübresi ile anaerobik arıtım çamuru kullanılmış. Bu aşılardan % 5 alınarak ayrı ayrı toplam katı içeriği faklı olan tavuk gübresiyle karıştırılmış ayrıca taze gübrenin aşı kullanılmadan biyogaz üretiminin nasıl olacağı incelenmiştir. Çalışmanın sonunda % 10.3 katı oranının en uygun oran olduğunu aşı olarak ta anaerobik arıtım çamurunun 180 gün bekletilerek elde edilen tavuk gübresinden daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir. Tüm bunlardan başka 250 mg/l üzerindeki serbest amonyağın metan üretimini durdurduğunu gözlemişlerdir.

Toruk ve Eker (2003), Trakya Bölgesi'nde biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği üzerine çalışmışlar. Devlet İstatistik Enstitüsü, Tarım İl Müdürlükleri verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada elde ettikleri veriler doğrultusunda Tekirdağ, Kırklareli ve Edirne illerine ait işletme sayılarını, büyüklüklerini, hayvan sayılarını, yıllık tahmini gübre, biyogaz ve enerji üretim miktarını hesaplamışlar.

Akbulut ve Dikici (2004), Elazığ ilinin biyogaz potansiyeli üzerine yaptıkları çalışmada. İlde 1990 ile 2000 yılları arasında yetiştirilen hayvan sayıları ile bitkisel

üretim miktarlarını tespit edip, TÜİK verilerinden hareketle elde edilebilecek yaş gübre, kuru gübre miktarlarını, biyogaz ile enerji üretim miktarlarını ve ekonomik değerlerini belirlemişlerdir.

Gül (2006), Yaptığı tez çalışmasında farklı katı madde miktarlarının biyogaz üretimine etkisi üzerinde durmuş, 6 adet reaktör kullanarak tavuk gübresinden biyogaz üretimi gerçekleştirmiştir. 90 Gün boyunca gaz çıkışı takip edilmiş, katı madde miktarının artışı ile birlikte biyogaz üretim miktarının da arttığı ancak birim katı madde başına düşen üretimin azaldığını gözlemlemiştir.

Koçer Nacar ve ark. (2006), Türkiye'nin büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından yıllık elde edilebilecek gübre miktarlarını hesaplayıp üreteç sıcaklığı esas alınarak elde edilebilir biyogaz miktarını hesaplamışlar.

Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 15 ilin biokütle kaynaklarını ve özelliklerini ekili alanlarını dikkate alarak 15 ilin biokütle potansiyeli ve eşdeğer enerji miktarlarının tahminini yapmışlar. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda biokütleden enerji elde etme teknolojilerinin bu bölgede kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Yiğit (2007), laboratuvar şartlarında yaptığı çalışmada seyrelme oranı farklı olan peynir altı suları, 2 farklı fermentörde işleme tabi tutulmuş ve elde edilen biyogaz içindeki metan gazının değişim oranları ölçülmüştür. 72 gün boyunca günlük ve belli periyotlarla yapılan ölçümler ve elde edilen veriler sonucunda en yüksek metan oluşma oranı ve oluşum hızı 1/2 oranında seyreltilen peynir altı suyunda ölçmüştür.

Kalyuzhnyi (2008), Rusya'da büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanı ve domuzların sayısından yola çıkarak yıllık elde edilebilecek atık miktarını, biyogaz potansiyelini ve fermente organik gübre miktarını hesaplamıştır. Belirtilen hayvansal atık potansiyeli dışında çöp depolama alanlarından, Belediye katı atıklarından ve atık su çamurundan elde edilebilecek biyogaz miktarlarını da hesaplamıştır.

Armağan ve ark. (2008), GAP(Güneydoğu Anadolu Projesi) bölgesi çiftlik atıklarından biyogaz üretme potansiyelini hesaplamaya yönelik yaptıkları çalışmada Türkiye'nin hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarını ve hayvansal kaynaklı enerji potansiyelini milyon ton eşdeğer petrol(MTEP) olarak belirlemişler. TÜİK verileri esas alınarak 2003-2006 yıllarına ait Kilis, Şanlıurfa, Gaziantep ve

Adıyaman illerine ait elde edilebilecek gübre ile buna karşılık gelen biyogaz miktarını belirleyerek gerekli olan toplam tesis sayılarını belirlemişlerdir.

Kaya ve ark. (2009), TÜİK'in 2006 yılı verilerini esas alarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından yıllık elde edilebilecek gübre miktarlarını ve kullanılabilir gübre miktarlarını belirledikten sonra bir ton gübreden elde edilebilecek biyogaz ve eşdeğer enerji miktarını belirlemişler. Ayrıca Türkiye'nin illere göre hayvansal kaynaklı kullanılabilir atıklarının ve enerji potansiyellerinin haritalarını da çıkarmışlar. Bunun yanında büyükbaş hayvan gübresi ile çalışan bir biyogaz tesisinin teknik özellikleri ile maliyetini belirlemişler.

Konstantinos (2009), Yunanistan'ı on bölgeye ayırarak Yunanistan'ın atık potansiyeli haritasını çıkarmış, bunun için 2007 yılından beri 15 tesisle çöp alanlarından biyogaz üretimi gerçekleştirmekte olan Yunanistan'da öncelikle belediye atıkları, endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar olmak üzere atık potansiyelini hesaplamış elde edilen atık miktarları baz alınarak biyogaz potansiyeli ve eşdeğer enerji karşılığı hesaplamaya çalışmıştır.

Afilal ve ark. (2010), Fas'ın kuzey şehirleri üç bölgeye ayrılmış ve bu bölgelerin organik atıklarının biyogaz potansiyelinin hesaplaması yapılmış bunun için önce organik atıklar tarımsal atık, hayvansal atık, kanalizasyon atığı, organik kaynaklı belediye atıkları, mezbaha atığı şeklinde sınıflandırılmış ve bunların her birinin potansiyeli belirlenip bu atık miktarlarına karşılık gelen enerji miktarları saptamışlar.

Ergür ve ark. (2010), Eskişehir'de sığırdan elde edilen gübrelerden biyogaz üretimi ve maliyet analizlerini yapmıştır. Eskişehir ilinde toplamda 118 937 adet sığırın bulunduğunu ve 150 milyar litrelik biyogaz potansiyeline sahip olduğunu hesaplamıştır. Biyogaz üretimi için en uygun gübrenin sığır gübresi olduğunu ve gübrelerin değerlendirilmesi ile oluşan atık gübrenin tarımda birinci kalite gübre olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Güç (2010), "Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretimi ve Uşak İli için Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi" adlı çalışmasında büyükbaş hayvan gübresi ile diğer organik atıklar kıyaslanmış, biyogaz üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmiş aynı zamanda Uşak İlindeki büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Uşak ilinde 2000 yılında 67 940 olan büyükbaş hayvan

sayısının 2010'da 89 877'ye çıktığını bu veriden hareketle elde edilebilecek biyogaz ile toplamda, yıllık her biri 11 000 kcal/kg ısı enerjisine sahip 12 kg'lık 1 228 000 adet mutfak tüpüne eşdeğer ısı enerjisi üretim potansiyeli olduğunu saptamıştır.

Alanso-Vicario ve ark. (2010), çalışmalarında iki sentetik moleküler elek (5A ve 13X) ve emici malzeme olarak doğal zeolit(klinoptilolit) kullanılarak termal desorpsiyon ile basınç salınım adsorpsiyonu yaparak biyogaz iyileştirmeyi(CO_2/CH_4 oranı ayarı) ve biyogaz temizlemeyi (biyogazdan H_2S uzaklaştırmayı) incelemişler. Çalışma sonucuna göre biyogazın saflaştırılması ve iyileştirilmesi için klinoptilolitin daha iyi malzeme olduğunu belirtmişler. Ayrıca klinoptilolitin birkaç adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünde tamamen rejenere olmasıyla birlikte bol olması ve düşük maliyeti ile ekonomik açıdan son derece cazip olduğunu vurgulamışlar.

Onurbaş Avcıoğlu ve Eliçin (2010), TÜİK ve Ankara Tarım İl Müdürlüğü verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları sayısı saptanmış bu sayılara göre işletme büyüklükleri belirlenmiş, Ankara'nın biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünün tespiti üzerine çalışmışlar. Literatürdeki canlı ağırlık, taze gübre miktarı, toplam kuru madde, uçucu kuru madde, hayvanların barınakta kalma süresi ve ortalama biyogaz verimi değerleri esas alınarak elde edilebilir katı madde miktarı, biyogaz miktarı ve ısıl değerini hesaplamışlar. Ayrıca hidrolik bekletme süresini dikkate alarak %9 katı için eklenecek su miktarını, uygun reaktör hacmini ve günlük elde edilebilecek biyogaz miktarını hesaplamışlar.

Lung (2011), yaptığı çalışmada katı hal çürütücüsünü kesikli reaktör gibi kullanarak % 100 ıslak damıtılmış tahıldan 0.17 l biyogaz elde ederken, % 75 ıslak tahıl ile % 25 hayvan gübresinden 0.21 l gaz, % 25 ıslak tahıl ile % 75 hayvan gübresinden 0.18 l gaz, % 100 hayvan gübresinden 0.12 l biyogaz elde etmiştir.

Yokuş (2011), çalışmasında 28 567 km^2(kilometre kare) alanı ile Türkiye'nin 2. büyük ili olan Sivas'ın hayvancılık özelliklerini incelemiştir. Hayvan sayıları ve kapasitesi, Sivas Tarım İl Müdürlüğü verileriyle ortaya konmuş buradan hareketle hayvansal gübre miktarı ve biyogaz potansiyeli ve buna karşılık gelen enerji miktarı belirlenmiştir.

Eryılmaz ve ark. (2015), araştırmalarında, Yozgat ili ve ilçelerindeki hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz üretim potansiyeli ile iç Anadolu Bölgesi ve Türkiye'de

genel olarak hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelleri belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yozgat ilinin hayvansal atıklarının biyogaz potansiyelinin, iç Anadolu Bölgesi'nin %7.024'ünü, Türkiye'nin ise %1.266'sını oluşturduğunu hesaplamışlardır.

Çevik (2016), Çanakkale İlinde hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini belirlemiş ve bu potansiyelin ilçelere göre dağılımını coğrafi olarak ortaya koymuş ve bu dağılımda etkili olan unsurları belirlemiştir.

Toprakçıoğlu (2016), çalışmasında Siirt batman illerinin biyogaz potansiyelini ve bu potansiyele karşı gelen biyogaz miktarından elde edilebilecek enerji miktarını hesaplamıştır. Ayrıca Siirt ilinin Kurtalan ilçesinde günlük 11 000 m^3 biyogaz potansiyeline ve 1 megawattlık(MW) elektrik üretim kapasitesine sahip bir tesis kurulumu planlayarak Siirt-Batman illerinin biyogaz enerji potansiyelini araştırmıştır.

Baran ve ark. (2017), yapmış oldukları çalışmada, Adıyaman ilinin hayvan sayılarına göre elde edilebilecek enerji miktarını incelemişlerdir. Çalışmada, istatistiki verilerden hareketle 2015 yılına ait Adıyaman İli hayvan sayıları belirlenmiş ve enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Büyükbaş hayvanlardan yılda 294 238 ton, küçükbaş hayvanlardan 214 006 ton, kanatlılardan ise 5 089 ton gübre elde edilebileceği hesaplanmış. Bu atıklardan yılda 15 milyon m^3 biyogaz üretilebileceği ve elde edilen biyogazdan da yaklaşık 70.5GWh(gigawatt saat) enerji üretilebileceğini belirlemiştir.

Karaca (2017), Hatay İli sığır ve yumurta tavuğunun gübre ve biyogaz miktarlarını ilçe bazında inceleyerek toplam potansiyelini hesaplamıştır. Sığır ve yumurta tavuklarından elde edilen yaş gübrelerden yıllık 15 milyon m^3 biyogaz elde etmiştir. Bu biyogazın elektrik enerjisi üretimi için kullanılması ile birlikte 37.7 GWh'lık elektrik enerjisi üretimi gerçekleşebileceğini belirtmiştir.

Zahedi ve ark. (2017), Belediye atıkları ile gliserin karışımının metan potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Gliserini hacimce % 0.1, % 0.25, % 0.5 ve % 1 oranında belediye atıklarıyla karıştırmışlardır. % 0.25 oranındaki ham gliserin karışımının CH_4 verimini % 48 oranında artırırken % 0.5 ve daha üstünde ham gliserin katılmasının CH_4 verimini artırmadığı yüksek oranlardaki gliserin ilavesinin metanojenlere toksik etki yaptığını gözlemlemişlerdir.

Konuk (2019), Tokat ilinde 2018 yılına ait verilerle yapılan çalışmada hayvansal gübrelerden üretilebilecek biyogaz miktarı yaklaşık 49 179 000 m^3/yıl olarak hesaplanmış buna karşılık gelen enerji eşdeğeri 1 116 370 gigawatt saat(GWh), elektriksel değeri ise 124 042 megawatt saat(MWh) olarak hesaplanmıştır.

Öztürk (2019), "Aydın İli Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi" konulu yüksek lisans çalışmasında Aydın ilinin tarımsal ve hayvansal verilerinden yola çıkarak elde edilebilecek atıklarının biyogaz potansiyelini hesaplamıştır.

Üçgül (2019), "Tekirdağ İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi" konulu yüksek lisans tez çalışmasında Tekirdağ İlinde büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan elde edilebilecek gübrelerin biyogaz potansiyeli hesaplanmış, bunun yanında 4 MW, 2.8 MW, 2.5 MW ve 1.2 MW kurulu güçte dört adet tesisin tasarımı ve bu tesislerin yapımına ilişkin maliyet analizleri yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada biyogaz elde edilmesi işlemlerinde, materyal olarak, büyükbaş hayvanlardan elde edilen 1 kg gübre ve su kullanılmıştır.

Diyarbakır ilinin biyogaz potansiyeli ve bu biyogaza karşılık gelen enerji potansiyelinin hesaplanması işlemleri için de öncelikle ihtiyaç duyulan hayvan sayılarına ilişkin Çizelge 3.1.'de verilen Diyarbakır İl Tarım Müdürlüğünün 2020 yılına ait büyükbaş, küçükbaş hayvan sayıları ile kümes hayvanlarına ait veriler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Diyarbakır ilinin ilçeler bazında 2020 yılına ait hayvan türü ve sayıları (Tarım İl Müdürlüğü 2021)

İlçeler	**Büyükbaş Hayvan Sayısı**		**Küçükbaş Hayvan Sayısı**	**Kümes Hayvanları Sayısı**
	Sığır (Yetişkin)	Sığır (Genç,Yavru)	Koyun-Keçi	Tavuk, Hindi vs.
Bağlar	35 030	8 416	263 080	8 913
Bismil	30 983	7 933	152 122	22 300
Çermik	36 711	10 202	462 942	69 415
Çınar	46 118	14 653	354 880	493 550
Çüngüş	3 141	840	13 274	1 572
Dicle	18 903	8 240	29 973	6 670
Eğil	12 829	2 007	50 592	9 263
Ergani	63 025	12 649	216 600	20 835
Hani	10 484	3 107	39 231	25 387
Hazro	17 275	5 756	22 990	8 070
Kayapınar	27 488	8 339	117 044	16 120
Kocaköy	11 988	3 102	12 307	3 600
Kulp	59 015	22 965	81 742	15 700
Lice	38 300	9 450	59 000	23 200
Silvan	51 730	20 840	43 667	35 875
Sur	28 676	6 104	22 018	34 000
Yenişehir	16 933	2 842	42 432	132 786
Toplam	**508 629**	**147 445**	**1 983 894**	**927 256**

3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Biyogaz eldesinde kullanılan alet ve cihazlar aşağıda verilmiştir.

-Hanna marka pH ölçer(masa tipi, HI2002-edge pH),

-Universal marka indikatör kağıdı,

-Siemens marka Karıştırıcı motor (220V, 6W, 30devir/dk),

-Siemens marka rezistans(220V-2000w),

-Siemens marka termostat(220V-max 40 ℃),

-Siemens marka devir ayarlayıcı(24-220V),

-General marka 1/3 ekovat(220V),

-Pakkens marka manometre(max 10 bar) ve bazı tesisat malzemeleri ile görselleri Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Biyogaz eldesi ve saflaştırılması için kullanılan materyaller, alet ve cihazlardan bazıları

3.3. Metot

3.3.1. Deney Düzeneğini Hazırlama, Biyogaz Eldesi ve Saflaştırma İşlemi

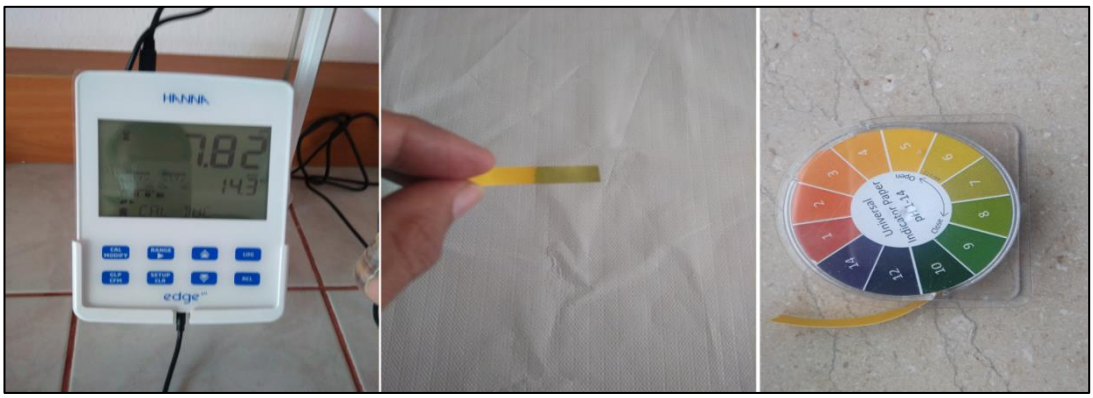
Fermantasyon işleminde reaktörü ısıtmak ve ısı kaybını minimize etmek için sıcak su tankı olarak ısıya dayanıklı plastikten yapılmış 70 l'lik bir bidon kullanıldı. reaktörün ısıtıcı tankının içine takılıp-çıkarılabilmesi ve ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için reaktörü daha yukarıda tutacak olan metal askı yapılarak sıcak su tankının içine monte edildi. Isıtma tankına karıştırıcının hızını ayarlayan dimer (akım/hız değiştirici), bir adet rezistans ve sıcaklığı maksimum 40 ℃'ye ayarlayabilen bir termostat takıldı ve termostat 38 ℃' ye ayarlandı.

Reaktör olarak kullanılacak tankın üzerinde atık giriş çıkışını sağlayan yuvalar açılıp, vanalar takıldıktan sonra, Reaktör tankı sıcak su tankının içindeki askıya oturtuldu. Reaktörle depolama tankı arasında, daha önce üzerinde manometre ve gaz alma vanası takılmış olan bakır eşanjörler kullanılarak Şekil 3.2.'deki gibi bağlantı sağlandı.



Şekil 3.2. Biyogaz reaktörünün dıştan görünümü ile şematik görünümü

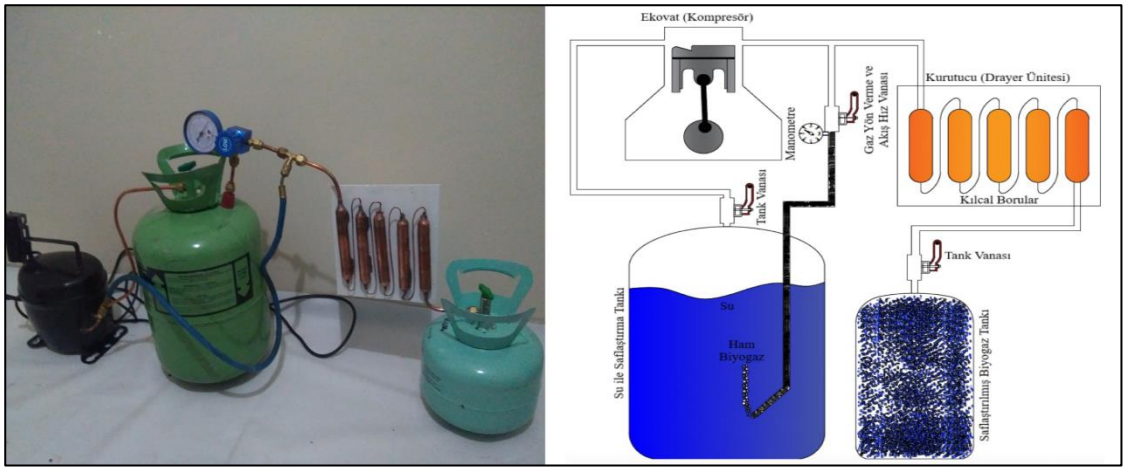
Aynı gün temin edilen büyükbaş hayvan gübresinin ayıklanma işlemlerinin ardından 1 kilogramlık (kg) kısmı 1/1 oranında sulandırıldı. Sulandırma işlemi daha önce farklı bir kapta fermente edilmiş gübrenin süzülmesiyle elde edilen aşı sıvısı kullanılarak yapıldı. Böylece hidrolik bekleme süresi olarak seçilen 30 günlük sürede biyogazın oluşması ve maksimum miktarda elde edilmesi amaçlandı. Gübre Reaktöre konmadan pH ölçümü yapıldı ve pH'nın 6.8 olduğu tepit edildi. pH ölçümleri ilk bir hafta ikişer günlük periyotlarla daha sonraki iki hafta dörder günlük periyotlarla tekrarlandı. Genel olarak pH'nın 7.6 ile 8.2 aralığında değiştiği görüldü. pH ölçümünde kullanılan cihaz ve pH indikatör kağıdı Şekil 3.3.'te görülmektedir.



Şekil 3.3. pH ölçümünde kullanılan araçlar

İlk pH ölçümünden sonra hazırlanan gübre Şekil 3.2.'de görseli ve şeması bulunan Reaktörün içine konuldu. Reaktörün karıştırılma işlemleri için daha önceden hız ayarlayıcı ile hızı 30 devir/dakikaya ayarlanmış karıştırıcı motor takılmış karıştırıcı, rezistansın ısınmasıyla eş zamanlı olarak çalışacak şekilde ayarlandı. Bu şekilde karıştırma işlemi sağlanarak reaktör içindeki ısının ve katı konsantrasyonunun homojenizasyonu sağlanırken ani ısınmaların da önüne geçilmesi amaçlandı. Sistemin sızdırmazlık testi için sisteme, soğutuculardaki kullanılan kompresör yardımıyla hava basıldı, basınç değişimi olup olmadığı kontrol edildi. Sızdırmazlık testinden sonra depolama tankının havası ekovat(kompresör) ile vakumlandı, böylece depolama tankına alınacak biyogazın daha fazla depolanabilmesi amaçlandı. Basınç değişimi ve sistem güvenliği için eşanjör üzerindeki manometre kullanıldı, sistemin gaz bağlantıları yüksek basınca dayanıklı hortumlar, bakır eşanjörler, pirinç rekorlar ve contalarla sağlanırken, elektrik devre elemanlarının bağlantıları da uygun malzemeler kullanılarak tamamlandı.

30 günlük hidrolik bekleme süresi boyunca manometredeki basınç yükselmesine bağlı olarak belli aralıklarla elde edilen biyogaz sistemden vakumlu tüplerle alındı ve hacimleri ölçüldü. Sonrasında elde edilen biyogazın fiziksel saflaştırılması işlemi için yine bir büyük bir de küçük tüpün kullanıldığı iki adet tank, eşanjör ve içinde silikajellerin olduğu soğutuculardaki kullanılan drayerlerden (nem ve asit emen kimyasalların olduğu kurutucu filtre) oluşan dış görünüşü ile şematik görünüşü Şekil 3.4.'teki sistem oluşturuldu.



Şekil 3.4. Biyogaz saflaştırma ünitesi ile ünitenin şematik görünümü

Elde edilen ham biyogazın reaktörden çıktığı andaki nem içeriğinin en yüksek değerde olduğu bilinmektedir. Biyogaz, sıcaklığı 4-8 ℃'lık sudan 20 kez kompresörle

1/4 l/dk debi ile geçirilerek içindeki CO_2 ve H_2S'in suda çözünmesi ve nemin yoğuşturulması işlemi gerçekleştirildi. Son aşamada sudan geçirilen biyogazın içinde kalan nemin kurutucudan geçirilerek alınmasına çalışıldı. Kurutucuda bulunan silikajeller nem ile birlikte H_2S'i de tutmaktadır. Yoğuşturma öncesi ve biyogazın kurutucudan geçirilmesi sonrası biyogazın yanma deneyleri bunzen beki kullanılarak yapıldı, aradaki farkın daha net görülebilmesi için aydınlık ve karanlık ortamlarda incelenerek bu ortamlardaki görüntüleri çekildi.

3.3.2. Diyarbakır İli Hayvansal Atık Potansiyelinin Hesaplanması

Diyarbakır İli Hayvansal Atık Potansiyelinin Hesaplanması için öncelikle yıllık toplam yaş hayvansal gübre miktarı hesaplandı. Bunun için çizelge 3.1.'deki hayvan sayıları (HS) ile hayvan türüne göre literatürde Çizelge 3.2.'deki gibi verilmiş olan yıllık elde edilebilir yaş gübre miktarları çarpıldı.

Çizelge 3.2. Farklı hayvan türlerinin yıllık elde edilebilir yaş gübre miktarları (Yıldız 1999)

Hayvan Türü	**Elde Edilebilir Yaş Gübre Miktarı(ton/yıl)**
Sığır (Yetişkin)	13.70
Sığır(Buzağı)	3.40
Küçükbaş(Koyun ve keçi)	0.74
Kanatlı(tavuk, ördek, Kaz ve hindi	0.07

Hayvansal Atıkların biyogaz potansiyeli gübrelerin toplanabilirliğiyle doğru orantılıdır. Hayvanların büyük kısmının meralarda beslendiği göz önüne alındığında toplanabilir hayvansal gübre miktarını hayvanların ahırda kalma süreleri belirlemektedir. Ahırda kalma süresi içinde toplanan gübre miktarlarından elde edilebilecek katı madde (KM) miktarları literatürdeki verilerden hesaplanabilmektedir. Literatür verilerinden Çizelge 3.3.'te görüldüğü üzere bir büyükbaş hayvandan elde edilebilen yaş gübrenin %15'i, bir küçükbaş hayvandan elde edilebilen yaş gübrenin %30'u, bir kümes hayvanından elde edilebilen yaş gübrenin %35'i katı madde (KM) olarak tespit edilmiştir. Yine Çizelge 3.3.'te görüldüğü üzere hayvansal atıklardan toplam elde edilebilirlik miktarı; büyükbaş hayvanlar için %50, küçükbaş hayvanlar için %13, kümes hayvanları için %99 görülmektedir(Yokuş 2011).

Toplam elde edilebilecek yıllık yaş gübre miktarının Çizelge 3.3.'teki katı madde yüzdeleri ile çarpımından yaş gübrenin katı miktarı hesaplandı bu değerinde aynı çizelgedeki toplam elde edilebilirlik oranıyla çarpımından da katı gübrenin toplam elde edilebilir yani biyogaz üretiminde kullanılabilen miktarı hesaplandı. Bu bilgilerden hareketle hayvan türüne bağlı olarak yaş gübrelerden elde edilen KM ve toplam elde edilebilir KM miktarları hesaplandı.

Çizelge 3.3. Hayvan cinsine bağlı olarak yaş gübreden elde edilebilecek toplam katı gübre miktarları ve toplam elde edilebilir katı madde miktarı (Yokuş 2011)

Hayvan Türü	**Katı Madde(%)**	**Toplam Elde Edilebilirlik**
Büyükbaş	15	0.50
Küçükbaş	30	0.13
Kanatlı	35	0.99

Toplam elde edilebilir katı madde miktarlarının Çizelge 3.4.'teki hayvan türüne göre belirlenmiş elde edilebilir biyogaz değerleriyle çarpılmasıyla her hayvan türü için toplam elde edilebilir biyogaz miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Bazı hayvan türlerine ait gübrelerin biyogaz değerleri (Akbulut ve Dikici 2004)

Hayvansal Atık Türü	**Elde Edilebilir Biyogaz Miktarı(m^3/yıl)**
Büyükbaş Hayvan Gübresi	33
Küçükbaş Hayvan Gübresi	58
Kanatlı(Kümes) Hayvan Gübresi	78

$1m^3$ biyogaz 4.70 kWh enerjiye eşdeğerdir (Bilir ve ark. 1983, Akbulut ve Dikici 2004). 1 m^3 biyogazın sağladığı ısı miktarı; 0.63 litre gaz yağına, 3.47 kg oduna, 0.43 kg bütan gazına, 4,7 kWh elektriğe ve 0.8 litre benzine eş değerdir. $1m^3$ metan gazı 10 kWh enerjiye eşdeğerdir (Akbulut ve Dikici 2004).

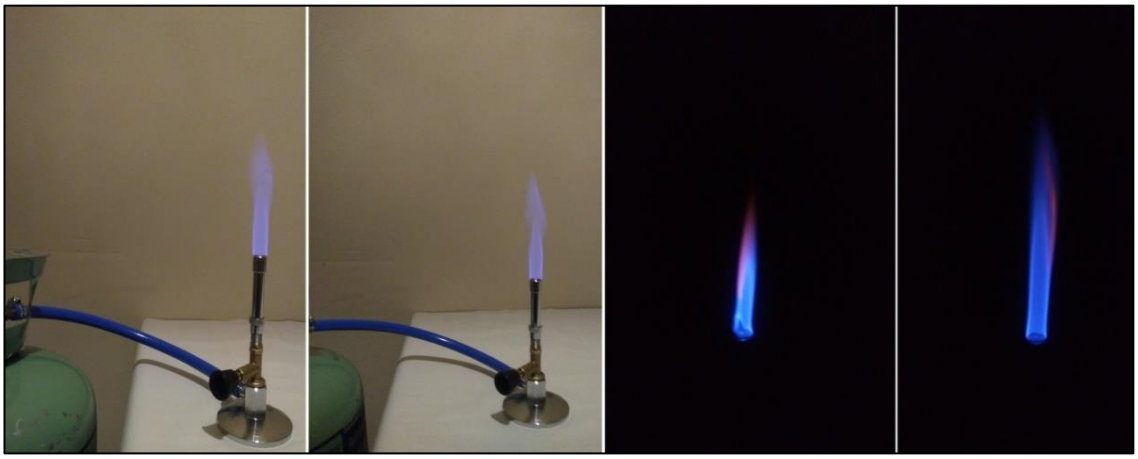
Toplam enerji hesaplanmasında 1 m^3 biyogaz için yukarıda da belirtildiği gibi 4.70 kWh elektrik elde edileceği baz alınmıştır. Toplam elde edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek toplam biyogaz Miktarı 4.70 kWh ile çarpılarak toplam enerji potansiyelleri elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fermantasyon işlemi süresince ilk günden itibaren gaz çıkışının hızlanarak arttığı on ikinci günden sonra yaklaşık 6 gün sabit kaldığı daha sonrada azalmaya başladığı görüldü. Toplamda 1 kg büyükbaş hayvansal gübreden 34.80 litre biyogaz elde edildi. Literatür verileri sıklıkla (bir ton hayvansal gübreden 33 m^3) bir kilogram büyükbaş hayvansal gübreden 33 litre biyogaz elde edilebildiğini ancak bu farkın hayvanın beslenme materyaline ve beslenme materyalinin bileşimine bağlı olarak değişebildiğini ve kullanılan aşı malzemesinin içinde kalmış olabilecek atıkların çürümesi sonucu oluştuğu düşünüldü.

Elde edilen biyogazın içindeki karbondioksitin ve hidrojen sülfürün ve nemin tutulması için soğuk sudan geçirilmesi işleminde soğuk sudan geçirme işleminden önceki ve sonraki suyun pH'sı kontrol edilmiş, biyogaz sudan geçirilmeden önce suyun pH'sı 7.1 iken biyogazın sudan geçirildikten sonraki pH'sı 6.8 seviyesine kadar düştüğü görüldü. pH'daki bu düşüş CO_2 ve H_2S'in suda çözünmesi olarak değerlendirildi.

Ham biyogazın fermentörün sahip olduğu ısıdan dolayı neme doygun olduğu bilinmektedir. Biyogazın yanma deneylerinde, biyogazın nem, CO_2 ve H_2S'ten dolayı Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi kızıl ve parçalı alevlerle yandığı görüldü.



Şekil 4.1. Saflaştırma öncesi biyogazın aydınlık ve karanlık ortamlardaki yanma görüntüleri

Saflaştırma sonrası Bunzen beki kullanılarak yanma deneyi tekrarlandı, alevlerin fiziksel özellikleri incelendi. Saflaştırma sonrası elde edilen biyogazla gerçekleştirilen yanma deneylerinde Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi biyogazın daha parlak mavi renkte ve daha stabil alevlerle yandığı alevlerin etrafındaki kızıl renklerin ve parçalı alevlerin olmadığı görüldü.



Şekil 4.2. Saflaştırma sonrası biyogazın aydınlık ve karanlık ortamlardaki yanma görüntüleri

Biyogazın elde edilmesi, saflaştırılması ve yanma kalitesinin incelenmesinin ardından Diyarbakır ilinin biyogaz potansiyelinin hesaplanması aşamasında Diyarbakır İl Tarım Müdürlüğünden alınan veriler kullanılarak veriler incelendi.

Diyarbakır ilinin büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları bakımından Türkiye'de kaçıncı sırada olduğunu veren Çizelge 4.1. ile Çizelge 4.2. oluşturuldu. Diyarbakır iline ait büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının toplam sayılarından elde edilebilecek yaş gübre miktarlarıda Çizelge 4.3.'teki gibi düzenlenerek aşağıda gösterildi.

Çizelge 4.1. Diyarbakır ilinin büyükbaş hayvan sayısı bakımından Türkiye sıralaması

İl Adı	**1. Konya**	**2. Erzurum**	**3. İzmir**	**4. Diyarbakır**
Büyükbaş Hayvan Sayısı	946 144	869 009	785 608	656 074

Çizelge 4.2. Diyarbakır ilinin Küçükbaş hayvan sayısı bakımından Türkiye sıralaması

İl Adı	**1. Van**	**2. Konya**	**3. Şanlıurfa**	**4. Diyarbakır**
Küçükbaş Hayvan Sayısı	3 166 236	2 843 229	2 581 865	2 091 344

Diyarbakır İl Tarım Müdürlüğünden elde edilen veriler incelendiğinde, Diyarbakır ilinin Türkiye'de Çizelge.4.1. ve Çizelge.4.2.'de görüldüğü üzere büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı bakımından 4. sırada olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3.'te hayvan sayılarından hareketle yetişkin, genç ve yavru büyükbaş hayvanlardan elde edilen yıllık yaş gübre miktarları hesaplanarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Diyarbakır ilinin ilçeler bazında hayvan türüne bağlı olarak elde edilebilecek yaş gübre miktarları (ton/yıl)

İlçeler	Elde Edilebilcek Yaş Hayvansal Gübre Miktarı(ton/yıl)			
	Büyükbaş Hayvanlar için		Küçükbaş Hayvanlar için	Kümes Hayvanları için
	Sığır(Yetişkin)	Sığır(Genç,Yavru)	Koyun-Keçi	Tavuk, Hindi vs.
Bağlar	479 911.00	28 614.40	194 679.20	623.91
Bismil	424 467.10	26 972.20	112 570.28	1 561.00
Çermik	502 940.70	34 686.80	342 577.08	4 859.05
Çınar	631 816.60	49 820.20	262 611.20	34 548.50
Çüngüş	43 031.70	2 856.00	9 822.76	110.04
Dicle	258 971.10	28 016.00	22 180.22	466.90
Eğil	175 757.30	6 823.80	37 438.08	648.41
Ergani	863 442.50	43 006.60	160 284.00	1 458.45
Hani	143 630.80	10 563.80	29 030.94	1 777.09
Hazro	236 667.50	19 570.40	17 012.60	564.90
Kayapınar	376 585.60	28 352.60	86 612.56	1 128.40
Kocaköy	164 235.60	10 546.80	9 107.18	252.00
Kulp	808 505.50	78 081.00	60 489.08	1 099.00
Lice	524 710.00	32 130.00	43 660.00	1 624.00
Silvan	708 701.00	70 856.00	32 313.58	2 511.25
Sur	392 861.20	20 753.60	16 293.32	2 380.00
Yenişehir	231 982.10	9 662.80	31 399.68	9 295.02
Toplam	**6 968 217,30**	**501 313.00**	**1 468 081.80**	**64 907.92**

Çizelge 4.3.'te yetişkin, genç ve yavru büyükbaş hayvanlardan elde edilen yıllık yaş gübre miktarları toplanmış, küçükbaş hayvanlar ile kümes hayvanlarından elde edilen yıllık yaş gübre miktarları ile birlikte Çizelge 4.4.'teki yıllık yaş gübre sütununa eklenmiştir. Bu çizelgeye hesaplamalar sonucu elde edilen yıllık toplam katı madde miktarları ile yıllık toplam elde edilebilir katı madde miktarları hesaplanarak eklenmiştir.

Çizelge 4.4. Hayvan türüne bağlı olarak yıllık elde edilebilecek yaş gübre, katı madde(KM) ve elde edilebilir KM miktarları

İlçeler	Yıllık Toplam Yaş Gübre Miktarı(ton)			Yıllık Toplam KM Miktarı(ton)			Yıllık Toplam Elde edilebilir KM Miktarı(ton)		
	Büyükbaş (Sığır, Genç, Yavru)	Küçükbaş	Kümes	Büyükbaş(Yaş gübrenin%15'i)	Küçükbaş(yaş gübrenin %30'u)	Kümes(Yaş gübrenin %35'i)	Büyükbaş (Katı madde Miktarının %50'si)	Küçükbaş(Katı madde Miktarının %13'ü)	Kümes(Katı Madde Miktarının %99'u)
Bağlar	508 525.40	194 679.20	623.91	76 278.81	58 403.76	218.37	38 139.41	7 592.49	216.19
Bismil	451 439.30	112 570.28	1 561.00	67 715.89	33 771.08	546.35	33 857.95	4 390.24	540.89
Çermik	537 627.50	342 577.08	4 859.05	80 644.13	102 773.13	1 700.67	40 322.07	13 360.51	1 683.66
Çınar	681 636.80	262 611.20	34 548.50	102 245.52	78 783.36	12 091.98	51 122.76	10 241.84	11 971.06
Çüngüş	45 887.70	9 822.76	110.04	6 883.16	2 946.83	38.51	3 441.58	383.09	38.12
Dicle	286 987.10	22 180.22	466.90	43 048.07	6 654.07	163.42	21 524.04	865.02	161.79
Eğil	182 581.10	37 438.08	648.41	27 387.17	11 231.42	226.94	13 693.59	1 460.08	224.67
Ergani	906 449.10	160 284.00	1 458.45	135 967.37	48 085.20	510.46	67 983.69	6 251.07	505.36
Hani	154 194.60	29 030.94	1 777.09	23 129.19	8 709.28	621.98	11 564.59	1 132.21	615.76
Hazro	256 237.90	17 012.60	564.90	38 435.69	5 103.78	197.72	19 217.85	663.49	195.74
Kavaklıpınar	404 938.20	86 612.56	1 128.40	60 740.73	25 983.77	394.94	30 370.37	3 377.89	390.99
Kocaköy	174 782.40	9 107.18	252.00	26 217.36	2 732.15	88.20	13 108.68	355.18	87.32
Kulp	886 586.50	60 489.08	1 099.00	132 987.98	18 146.72	384.65	66 493.99	2 359.07	380.80
Lice	556 840.00	43 660.00	1 624.00	83 526.00	13 098.00	568.40	41 763.00	1 702.74	562.72
Silvan	779 557.00	32 313.58	2 511.25	116 933.55	9 694.07	878.94	58 466.78	1 260.23	870.15
Sur	413 614.80	16 293.32	2 380.00	62 042.22	4 887.99	833.00	31 021.11	635.44	824.67
Yenişehir	241 644.90	31 399.68	9 295.02	36 246.74	9 419.90	3 253.26	18 123.37	1 224.59	3 220.73
Toplam	**7 469 530.30**	**1 468 081.80**	**64 907.92**	**1 120 429.58**	**440 424.51**	**22 717.79**	**560 214.83**	**57 255.18**	**22 490.62**

Çizelge 4.4. incelendiğinde büyükbaş hayvanlardan yıllık toplam elde edilebilir KM miktarı 560 214.83 ton, küçükbaş hayvanlardan 57 255.18 ton ve kümes hayvanlarından 22 490.62 ton olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Elde edilebilir büyükbaş KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri

İlçeler	**Yıllık Elde Edilebilir Büyükbaş KM Miktarı (ton KM/yıl)**	**Yıllık Elde Edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m^3/ton KM)**	**Yıllık Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarına Göre Biyogaz Enerji Potansiyeli Değerleri(kWh/m^3)**
Bismil	38 139.41	1 258 600.53	5 915 422.49
Bağlar	33 857.95	1 117 312.35	5 251 368.05
Çermik	40 322.07	1 330 628.31	6 253 953.06
Çınar	51 122.76	1 687 051.08	7 929 140.08
Çüngüş	3 441.58	113 572.14	533 789.06
Dicle	21 524.04	710 293.32	3 338 378.60
Eğil	13 693.59	451 888.47	2 123 875.81
Ergani	67 983.69	2 243 461.77	10 544 270.32
Hani	11 564.59	381 631.47	1 793 667.91
Hazro	19 217.85	634 189.05	2 980 688.54
Kayapınar	30 370.37	1 002 222.21	4 710 444.39
Kocaköy	13 108.68	432 586.44	2 033 156.27
Kulp	66 493.99	2 194 301.67	10 313 217.85
Lice	41 763.00	1 378 179.00	6 477 441.30
Silvan	58 466.78	1 929 403.74	9 068 197.58
Sur	31 021.11	1 023 693.00	4 811 357.10
Yenişehir	18 123.37	598 071.21	2 810 934.69
Toplam	**560 214.83**	**18 487 085.76**	**86 889 303.10**

Çizelge 4.5. incelendiğinde büyükbaş hayvanlardan elde edilebilir KM miktarına göre Ergani ilçesi yıllık elde edilebilen biyogaz miktarı 2 243 461.77 m^3 ve enerji eşdeğeri olarak 10 544 270.32 kWh ile en yüksek potansiyele sahip iken, Kulp ilçesi 2 194 301.67 m^3 biyogaz ve 10 313 217.85 kWh enerji potansiyeli ile ikinci sırada, Çınar ilçesi 1 687 051.08 m^3 biyogaz ve 7 929 140.08 kWh enerji potansiyeli ile üçüncü sırada gelmektedir.

Çizelge 4.6. Elde edilebilir küçükbaş KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri

İlçeler	**Yıllık Elde Edilebilir Küçükbaş KM Miktarı (ton KM/yıl)**	**Yıllık Elde Edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m^3/ton KM)**	**Yıllık Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarına Göre Biyogaz Enerji Potansiyeli Değerleri (kWh/m^3)**
Bismil	7 592.49	440 364.42	2 069 712.77
Bağlar	4 390.24	254 633.92	1 196 779.42
Çermik	13 360.51	774 909.58	3 642 075.03
Çınar	10 241.84	594 026.72	2 791 925.58
Çüngüş	383.09	22 219.22	104 430.33
Dicle	865.02	50 171.16	235 804.45
Eğil	1 460.08	84 684.64	398 017.81
Ergani	6 251.07	362 562.06	1 704 041.68
Hani	1 132.21	65 668.18	308 640.45
Hazro	663.49	38 482.42	180 867.37
Kayapınar	3 377.89	195 917.62	920 812.81
Kocaköy	355.18	20 600.44	96 822.07
Kulp	2 359.07	136 826.06	643 082.48
Lice	1 702.74	98 758.92	464 166.92
Silvan	1 260.23	73 093.34	343 538.69
Sur	635.44	36 855.52	173 220.94
Yenişehir	1 224.59	71 026.22	333 823.23
Toplam	**57 255.18**	**3 320 800.44**	**15 607 762.30**

Çizelge 4.6. incelendiğinde küçükbaş hayvanlardan elde edilebilir KM miktarına göre Çermik ilçesi yıllık elde edilebilen biyogaz miktarı 774 909.58 m^3 ve enerji eşdeğeri olarak 3 642 075.03 kWh ile en yüksek potansiyele sahip iken Çınar ilçesi 594 026.72 m^3 biyogaz ve 2 791 925.58 kWh enerji potansiyeli ile ikinci sırada, Bismil ilçesi 440 364.42 m^3 biyogaz ve 2 069 712.77 kWh enerji potansiyeli ile üçüncü sırada gelmektedir.

Çizelge 4.7. Elde edilebilir kümes hayvanı KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri

İlçeler	**Yıllık Elde Edilebilir Kümes Hayvanı KM Miktarı (ton KM/yıl)**	**Yıllık Elde Edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m^3/ton KM)**	**Yıllık Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarına Göre Biyogaz Enerji Potansiyeli Değerleri (kWh/m^3)**
Bismil	216.19	16 862.82	79 255.25
Bağlar	540.89	42 189.89	198 290.27
Çermik	1 683.66	131 325.48	617 229.76
Çınar	11 971.06	933 742.68	4 388 590.59
Çüngüş	38.12	2 973.36	13 974.79
Dicle	161.79	12 619.62	59 312.21
Eğil	224.67	17 524.26	82 364.02
Ergani	505.36	39 418.08	185 264.98
Hani	615.76	48 029.28	225 737.62
Hazro	195.74	15 267.72	71 758.28
Kayapınar	390.99	30 497.22	143 336.93
Kocaköy	87.32	6 810.96	32 011.51
Kulp	380.80	29 702.40	139 601.28
Lice	562.72	43 892.72	206 293.15
Silvan	870.15	67 871.70	318 996.99
Sur	824.67	64 324.67	302 324.02
Yenişehir	3 220.73	251 216.94	1 180 719.62
Toplam	**22 490.62**	**1 754 269.80**	**8 245 061.27**

Çizelge 4.7. incelendiğinde kümes hayvanlarından elde edilebilir KM miktarına göre Çınar ilçesi yıllık elde edilebilen biyogaz miktarı 933 742.68 m^3 ve enerji eşdeğeri olarak 4 388 590.59 kWh ile en yüksek potansiyele sahip iken Yenişehir ilçesi 251 216.94 m^3 biyogaz ve 1 180 719.62 kWh enerji potansiyeli ile ikinci sırada, Çermik ilçesi 131 325.48 m^3 biyogaz ve 617 229.76 kWh enerji potansiyeli ile üçüncü sırada gelmektedir.

Çizelge 4.8. Diyarbakır ili büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından elde edilebilir KM miktarına göre ilçeler bazında elde edilebilecek biyogaz miktarları ve enerji potansiyelleri

İlçeler	**Yıllık Toplam Elde Edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı(m3/ton KM)**	**Yıllık Toplam Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarına Göre Biyogaz Enerji Potansiyeli Değerleri(kWh/m^3)**
Bismil	1 715 827.77	8 064 390.51
Bağlar	1 555 423.84	6 646 437.74
Çermik	2 236 863.37	10 513 258.12
Çınar	3 214 820.48	15 109 656.25
Çüngüş	138 764.72	652 194.18
Dicle	773 084.10	3 633 495.26
Eğil	554 097.36	2 604 257.64
Ergani	2 645 441.91	12 433 576.98
Hani	495 328.93	2 328 045.98
Hazro	687 939.19	3 233 314.19
Kayapınar	1 228 637.05	5 774 594.13
Kocaköy	459 997.84	2 161 989.85
Kulp	2 360 830.13	11 095 901.61
Lice	1 520 830.64	7 147 901.37
Silvan	2 070 368.78	9 730 733.26
Sur	1 124 873.19	5 286 902.06
Yenişehir	920 314.37	4 325 477.54
Toplam	**23 703 443.67**	**110 742 126.70**

İlçelerin biyogaz ve enerji potansiyelleri bakımından durumlarının daha rahat görülmesi için Çizelge 4.8. düzenlenerek Çizelge 4.9. oluşturulmuştur.

Çizelge 4.9. incelendiğinde Diyarbakır ilinin ilçeler bazında biyogaz ve enerji potansiyelleri en yüksek olandan en düşük olana doğru sıralandığı görülmektedir.

Çizelge 4.9. Diyarbakır ilçelerinin biyogaz ve enerji potansiyelleri bakımından sıralaması

Sıra	**İlçeler**	**Yıllık Toplam Elde Edilebilir KM Miktarına Göre Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m3/ton KM)**	**Yıllık Toplam Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarına Göre Biyogaz Enerji Potansiyeli Değerleri (kWh/m^3)**
1	Çınar	3 214 820.48	15 109 656.25
2	Ergani	2 645 441.91	12 433 576.98
3	Kulp	2 360 830.13	11 095 901.61
4	Çermik	2 236 863.37	10 513 258.12
5	Silvan	2 070 368.78	9 730 733.26
6	Bismil	1 715 827.77	8 064 390.51
7	Bağlar	1 555 423.84	6 646 437.74
8	Lice	1 520 830.64	7 147 901.37
9	Kayapınar	1 228 637.05	5 774 594.13
10	Sur	1 124 873.19	5 286 902.06
11	Yenişehir	920 314.37	4 325 477.54
12	Dicle	773 084.10	3 633 495.26
13	Hazro	687 939.19	3 233 314.19
14	Eğil	554 097.36	2 604 257.64
15	Hani	495 328.93	2 328 045.98
16	Kocaköy	459 997.84	2 161 989.85
17	Çüngüş	138 764.72	652 194.18
	Toplam	**23 703 443.67**	**110 742 126.70**

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, 1 kg büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz elde edilmesi, saflaştırılması işlemleri yapılmış akabinde Diyarbakır ili ve ilçeleri için hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli belirlenmiştir.

İki aşamada gerçekleştirilen çalışmanın ilk aşamasında 1 kg büyük baş hayvan gübresinden 34.80 litre biyogaz üretilmiştir. Akabinde saflaştırma işlemi öncesinde ve sonrasında elde edilen biyogazın bunzen bekindeki alevleri karşılaştırılmıştır. Ham biyogaz içindeki safsızlıklardan ve nemden dolayı kızıl ve parçalı alevlerle yanarken saflaştırılmış biyogaz mavi parlak ve stabil alevlerle yandığı görülmüştür. Bu durum saflaştırma işlemleri sonunda biyogaz kalitesinin arttığını göstermektedir.

İkinci ve son aşamada Diyarbakır İlinin hayvansal gübre miktarının biyogaz potansiyeli incelenerek hesaplanmıştır. Diyarbakır ili Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'den görüleceği üzere büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı bakımından Türkiye'de 4. Sırada bulunmaktadır. Diyarbakır İlinin hem büyükbaş hem de küçükbaş hayvan sayısı bakımından 4. Sırada olması biyogaz potansiyelinin ve elde edilebilecek fermente gübre miktarının ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir.

Yıllık 7 469 530.30 ton büyükbaş, 1 468 081.80 ton küçükbaş, 64 907.92 ton kanatlı hayvan gübresinin oluştuğu bir üretim bulunmaktadır. Bu gübrelerin kullanılabilir kuru madde miktarı ise büyükbaş hayvan gübresi için 560 214.83 ton, küçük baş hayvan gübresi için 57 255.18 ton , kümes hayvanlarının gübreleri için 22 490.62 ton olarak hesaplanmıştır. (Kullanılabilir katı atık miktarları aynı zamanda elde edilebilecek organik gübre miktarını da vermektedir.) Bulunan kuru madde miktarından yıllık elde edilecek biyogaz miktarı büyükbaş hayvansal gübre için 18 487 085.76 m^3, küçükbaş hayvansal gübre için 3 320 800.44 m^3 ve kümes hayvanları gübresi için 1 754 269.80 m^3 iken, enerji eşdeğeri ise büyükbaş hayvan gübreleri için yıllık 86 889 303.10 kWh, küçükbaş hayvan gübreleri için 15 607 762.30 kWh ve kümes hayvanları için 8 245 061.27 kWh olarak hesaplanmıştır. Diyarbakır ili için yıllık toplam elde edilebilir biyogaz miktarı 23 703 443.67 m^3 ve buna karşılık gelen yıllık toplam enerji miktarıda 110 742 126.70 kWh olarak hesaplanmıştır.

Bulunan enerji miktarı aylık ortalama 200 kWh , yıllık ortalama 2400 kWh elektrik tüketen 46 142 hanenin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır.

Öte yandan Çizelge 4.9.'da görüldüğü üzere ilçeler bazında Çınar ilçesi yıllık toplam elde edilebilir biyogaz potansiyeli bakımından 3 214 820.48 m^3 ile birinci sırada iken 2 645 441.91 m^3 ile Ergani ilçesi ikinci sırada yer almaktadır.

Çizelgeden elde edilen verilerle ilçelerin potansiyelleri ve konumları göz önüne alındığında Çınar, Ergani, Silvan biyogaz tesislerinin kurulumu için ideal bir konumdadır. Bu ilçelerin gerek komşu ilçeleri ve gerekse konumlarıyla diğer illere geçiş güzergahı üzerinde olmalarından dolayı atık maddelerin tedariki ve nakliyesi daha kolay olacaktır. Bunun dışında merkez ilçelerden Bağlar ve Kayapınar'ın potansiyeli biraz daha düşük olmasına rağmen Çınar ve Ergani ile benzer özelliklere sahip olmaları ve merkezi konumlarından dolayı tesis kurulumu için ideal ilçelerdirler. Bu ilçelerde kurulacak biyogaz tesislerinin hayvansal atık tedarikinde diğer iller ve ilçelerinden de ham madde tedarik edebileceği, nakliye sorunları ve maliyetler açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu bölgelerde geniş tarım arazilerinin olması fermente olmuş tamamen organik gübrelerin çiftçiye daha ekonomik olarak sunulmasını sağlayacak ve çiftçileri fenni gübrelere bağımlılıktan kurtaracaktır. Bunun yanında Diyarbakır'ın yıllık sıcaklık ortalaması biyogaz elde etmek için önemli bir avantajdır. Oluşan yan ürün olan gübrenin tarımda kullanılması ile kışın bitkilerin donması engellenirken, yaz aylarında ise yüksek sıcaklıktan kaynaklı topraktaki su kaybının azalması ve dolayısıyla bitkileri sulamada kullanılacak su miktarının azalması sağlanmış olacaktır.

6.KAYNAKLAR

Abbasi, T., Tauseef, S.M. 2012. Biogas Energy. Springer Briefs In Enviromental Science 2. Springer Yayınları, Sayfa:1-168. Puducherry.

Acaroğlu, M. 2008. Türkiye'de biyokütle ve biyomotorin kaynakları ve biyoyakıt enerjisinin geleceği. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul 351-362.

Afilal, M.E., Bakx, A., Belakhdar, N., Membrez,Y. 2010. Evaluation of The Biogas Potential of Organic Waste in The Northern Provinces of Morocco. Revue des Energies Renouvelables, 2010, Switzerland . Vol. 13 No: 2, P, 249-255.

Akbulut, A., Dikici, A. 2004. Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi. Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, Elazığ S, 36-41.

Aktaş, A. 2008. Yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde çamur granüllerinin oluşmasına etki eden faktörlerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 155.

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Finsterwalder, T., Köttner, M., Volk S., Janssen, R. 2008. Biogas Handbook, ISBN 978-87-992962-0-0, , Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700. Esbjerg.

Alonso-Vicario, A., Ochoa-Gomez, J.R., Gil-Rio, S., Gomez-Jimenez-Aberasturi, O., Ramirez-Lopez, C.A., Torrecilla-Soria, J., and Dominguez, A., 2010. Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites. ***Microporous and Mesoporous Materials***, 134: 100-107 .

Ar, F. F., Akdağ, N. F., Malkoç Y., Çalışkan, M., 2003. Biyokütle enerjisi ve biyomotorin. TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara S, 583-584, 591

Armağan, B., Yıldız, H., Arslan, A. 2008. GAP bölgesi çiftlik atıklarından biyogaz üretme potansiyelinin incelenmesi. VII Ulusal Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul. S, 313-322,

Arnott, M. 1985. The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, PeaceCorps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48.

Aslanlı, Ş. 2009. Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine çeşitli bor bileşiklerinin etkinliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa. 4-6, 27.

Bahtiyar, Ö., Emin, O. 2008. Membran yöntemiyle biyogazdan karbondioksitin ayrıştırılması ve metan saflaştırma, *Proje No:* 105Y084, Samsun.

Baran, M. F., Fuat, E., Gökdoğan, O. 2017. Adıyaman ilinin hayvansal atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyeli. ***Turkish Journal of Agriculturaland Natural Sciences***, S, 245-249.

Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R.B., Hamdi, M. 2005. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. ***Process biochemistry,*** 40(3-4): 989-995.

Buğutekin, A. 2007. Atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 14, 19-20, 35-36, 157.

Bujoczek, G., Oleszkiwicz, J., Sparling, R., Cenkowski, S. 2000. High solid anaerobic digestion of chicken manure, ***J.Agricultural Engineering Resources***,**7**6**,** 51-60.

Çeken, H.B. 1997. Biyogaz üretim sistemi tasarımı ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon. 43-45.

Çelik, M.S. 2014. Tokat şartlarında kentsel atıkların biyogaza dönüştürülmesi ve elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosman Paşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat. 44.

Çevik, A. 2016. Çanakkale İli'ndeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale. 6.

Demirci, G., Türkavcı, L. 2001. Biyogaz Atıklardan Enerji, Tübitak Basımevi, Yayın No: MMO/2008/479. Sayfa: 9-13. Ankara.

Deviren, H., İlkılıç. C., Aydın S. 2017. Biyogaz üretiminde kullanılabilen materyaller ve biyogazın kullanım alanları. ***Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi***, 7 (2/2): 81.

Ergür, H. S., Okumuş, F. 2010. Cost and potential analysis of biogas in Eskisehir. ***Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering***, 15(2): 1-6.

Eryaşar, A. 2007. Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, testi ve performansına etki eden parametrelerin araştırılması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 302.

ETKB, 2016. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri. Erişim: [www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi%20Kitap%2FMavi_kitap_2016.pd]. Erişim Tarihi :11.07.2020

Eyidoğan, M. 2008. Biyogazın saflaştırılması ve motor yakıtı olarak kullanılması, ***Mühendis ve Makine***, 49(584): 18-24.

Gordon, E. 1980. Biyogaz umutları, Makine Mühendis, 26(313): 4-5.

Güç, A. 2010. Büyükbaş hayvan atığından biyogaz üretimi ve Uşak ili için çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , İzmir. 80.

Gül, N. 2006. Tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 69.

Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D. 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solidwaste, ***Applied Energy*** 85: 430-438.

İlkılıç, C., Deviren H. 2011. Biyogazın oluşumu ve biyogazı saflaştirma yöntemleri. 6 th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ. S,152

Jiang, Z., Steinsberger, S.C., Shih, J.C.H. 1987. In situ utilization of biogas on a poultry farm: heating, drying and animal brooding, ***Biomass***, 14: 269-281.

Jeris, J.S., McCarty, P. L. 1965. Biochemistry of methane fermentation using C14 tracers, JWPCF. S:37,178.

Kalyuzhnyi, S. 2008. Energy Potential of Anaerobic Digestion of Wastes Produced in Russia Via Biogas and Microbial Fuel Cell Technologies. IUPAC, Pure and Applied Chemistry, Vol. 80, No. 10, pp. 2115–2124.

Karaca, C. 2017. Hatay İli'nin hayvansal gübre kaynağından üretilebilir biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. ***Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi***. S: 34-39.

Kaya, D., Eyidoğan, M., Çoban, V., Çağman, S., Aydoner, C., Tırıs, M. 2009. Türkiye'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi. Devlet Planlama Teşkilatı Biyogaz Projesi Yayınları, Yayın No:5, Sayfa: 59-62. Ankara.

Kaygusuz, K., Sarı, A. 2003. Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey", Energy Conversion and Management, 44, 459-478.

Kızmaz, A. 2019. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarının biyogaz potansiyelinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 29.

Klein, J., Henning, K.D. 1984. Catalytic oxidation of H2S on an activated carbon. ***Fuel***, 63: 1064-1067.

Koçer Nacar, N., Öner, C., Sugözü, İ. 2006. Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları S: 17-20, Elazığ.

Koçer, N., Ünlü, A. 2007. Doğu Anadolu Bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi, Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, S: 175-181, Elazığ.

Konstantinos, S. 2009. Biogas potential in Greece. Summary Report, Project: BiG>East (EIE/07/214) WP 2.8 Deliverable 2.2, Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Greece.

Konuk, M. 2019. Tokat ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosman Paşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat. 43.

Kossmann, W., Pönitz, U. 1999. Biogas digest, biogas basics volume I, information and advisory service on appropriate technology (ISAT), ***GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*** (GTZ), GmbH.

Laua, L.C., Nor, N.M., Leeb, K.T., Mohamed, A.R. 2015. Selection of better synthesis route of CeO2/NaOH/PSAC for hydrogen sulphide removal from biogas. ***Journal of Environmental Chemical Engineering***, 3:1522–1529.

Lie, J.A. 2005. Synthesis, performance and regeneration of carbon membranes for biogas upgrading. PhD Thesis, *Norwegian University of Science and Technology* (NTNU), Trondheim. 16-45.

Lung, P., 2011. Solid-state anaerobic digestion for integrated ethanol production, M.Sc.Thesis, Department of Chemical and Biological Engineering, University of Saskatchewan, Saskatchewan. 60-75

Lübken, M., Wicherna, M., Schlattmannb, M., Gronauerb, A., Horna, H. 2007. Modelling the energy balance of an anaerobic digester fed with cattle manure and renewable energy crops. ***Science Direct***, 41: 4085-4096.

Marchaim, U. 1992. Biogas processes for sustainable development. Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN 92-5-103126-6.

MMO, 2018. Türkiye'nin enerji görünümü, Yayın No:MMO/691. Erişim: [www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf]. Erişim Tarihi :18.08.2020

Onurbaş, A., Eliçin, A.K. 2010. Ankara'nın hayvansal atıklardan biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünün belirlenmesi. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, S.356-362 Hatay.

Öner, B. 2009. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Avrupa birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Avrupa Birliği enerji politikasındaki gelişmeler: Arz güvenliğinin sağlanması, ICCI 15.Uluslararası enerji ve çevre fuarı ve konferansı bildiriler kitabı, Sayfa: 37-43. Ankara.

Özbaşer, F., Erdem, E. 2013. Biyogaz üretimi ve kullanımı. ***Lalahan Hayvansal Araştırmalar Enstitüsü Dergisi***, 53 (2): 115-124.

Öztürk, B. 2019. Aydın İli biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Aydın. 36.

Öztürk, M. 2005. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara S. 9-21

Persson, M., Jönsson, A., Wellinger, A. 2007. Biogas upgrading to vehicle fuel standarts and grid injection. ***International Energy Agency (IEA)Publications***, ***Bioenergy***. Task 37: S:7-11.

Rutz, D., Canssen, R. 2007. WIP Renewable Energies. Biofuel Teknology Handbook, Erişim. [https://www.co2star.eu/publications/BioFuel_Technology_Handbook_1vs_WIP.pdf]. Erişim Tarihi :03.01.2021

Sıngh, R., Malik, R. K., Jaın, M. K., Tauro, P., 1984. Biogas Production at Different Solids Concentrations in Daily Fed Cattle Waste Digesters. *Agricultural Wastes*, 11: 253–257.

Sözer, S., Yaldız, O. 2006. Sığır gübresi ve peynir altı suyu karışımlarından biyogaz üretimi üzerine bir araştırma. ***Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi***, 19(2): 179-183.

Strevett, K.A., Vieth, R.F., Grass, D. 1995. Chemo-Autotrophic Biogas purification for methane enrichment, mechanism and kinetics, ***The Chemical Engineering Journal***, 58: 71-79.

TEİAŞ, 2018. Türkiye Elektrik İletim A.Ş, elektrik istatistikleri, Türkiye aylık elektrik enerjisi istatistik raporu 1, Erişim: www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari Erişim Tarihi 01.12.2019

Topraççıoğlu, G. 2016. Siirt ve Batman illerinin biyogazdan elektrik enerjisi üretim potansiyellerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt. 59.

Toruk, F., Eker, B. 2003. Trakya Bölgesi'nde biyogaz enerjisinin kullanılabilirliliği. II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 15-18 Ekim 2003, İzmir. S, 1-6.

Tricase, C., Lombardi, M. 2009. State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations, ***Renewable Energy*** 34, 477-485.

Tunç, N. 2016. Hayvansal atıklardan üretilen biyogazın alternatif malzemeler ile saflaştırılmasının incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Karabük Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Karabük. 24-55.

Türker, M. 2008. Anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi Dünya'da ve Türkiye'de eğilimler. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul. S, 305-312.

Üçgül, V. 2019. Tekirdağ İli'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ. 26.

Wellinger, A., Linberg, A. 2000. Biogas upgrading and utilization. ***IEA Bioenergy***, 24: 6-18.

Weiland, P. 2001. Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620. *Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven,* S. 19-32.

Visser, J. 1997. Sulfur compound oxidation and sulfur production by Thiobacillus sp. W5, PhD tezi, DUT, Hollanda.

Yanar, R., Kerimoğlu, G. 2011. Türkiye'de enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve cari açık ilişkisi. ***Ekonomi Bilimleri Dergisi***, 3, (2):191-201.

Yıldız, Y. 1999. Hayvancılıkta mekanizasyon. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın, Yayın No:84, Sayfa:1-253. Adana.

Yiğit, N. 2007. Peyniraltı suyundan sürekli sistemde biyogaz üretimi için en uygun koşulların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 133.

Yokuş, İ. 2011. Sivas İlindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 6,148.

Yuan, W., Bandosz, T.J. 2007. Removal of hydrogen sulphide from biogas on sludge-derived adsorbents. ***Fuel***, 86: 2736–2746.

Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C., Chen, S. 2010. Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion, *CSANR Research Report*, 2010- 001

Zahedi, S., Solera, R., Garcia-Morales, J. L., Ennouri, H., Sales, D., 2017. Evaluation of the effect of glcerol supplementation on the anaerobic digestion of real municipal solid waste in batch mode. ***Fuel***, 193: 15-21.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Bülent BAL

Yabancı Dili: İngilizce

Görevi: Öğretmen

Kurumu: MEB

Eğitim Bilgileri:

Lisans: Dicle Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü(1996-2000)

Lise: Diyarbakır Fatih Lisesi(1989-1992)

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Bülent BAL
ÖĞRENCİ NO	19803001
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2020-2021
YARIYIL	☐ Güz x☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Kimya
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Hayvansal Atıklardan Biyogaz Eldesi ve Diyarbakır Kapsamında Potansiyelinin İncelenmesi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	109
BENZERLİK ORANI	%12
RAPORLAMA TARİHİ	05/07/ 2021

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 109 sayfalık kısmına ilişkin, 05/07/2021 tarihinde Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 12'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
X ☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Bülent BAL
06.07.2021

Prof. Dr. Haluk AYDIN **Tez Danışmanı** 06.07.2021	Prof. Dr. Sait ERDOĞAN **Anabilim Dalı Başkanı** 06.07.2021

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.