

BİYOĞAZIN ISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE
KULLANILMASININ İRDELENMESİ

Arzu AKBULUT

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs - 2011

BİYOĞAZIN ISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILMASININ İRDELENMESİ

Arzu AKBULUT

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Mayıs - 2011

KABUL ve ONAY SAYFASI

Arzu AKBULUT'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “BİYOGAZIN ISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILMASININ İRDELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

(Sınav tarihi)

Üye: Prof.Dr. Ramazan KÖSE

Üye: Yrd. Doç. Dr. Oğuz ARSLAN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Cihan DARCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BİYOGAZIN ISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILMASININ İRDELENMESİ

Arzu AKBULUT

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Ramazan KÖSE

ÖZET

Gelişen teknoloji ve nüfusla birlikte artan enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesinde atıkların değerlendirilmesiyle üretilen biyogazdır. Biyogaz üretiminin verimliliğini etkileyen gübre cinsi, sıcaklık, karıştırma, pH ve bekletilme süresi gibi birçok parametre vardır. Bunlardan en önemlilerden bir tanesinde gübre karışımıdır. Bu çalışmada, Afyon ili Döğler beldesinde bir köy evinden alınan ve %10 katı madde miktarına sahip büyükbaş hayvan gübresinin biyogaz reaktöründe fermantasyonu ve biyogaz üretimi için gerekli uygun koşulları araştırılmıştır. Bu amaçla, 4mm paslanmaz çelik sactan 3 m yüksekliğinde ve 2.5 m çapında, toplam hacmi yaklaşık 15 m³ olan bir biyogaz reaktörü imal edilmiştir. Biyogaz reaktör ünitesinin iç kısmı 6 mm kalınlığında fiber malzemeden imal edilmiş ve reaktörü 35°C sıcaklıkta sabit tutmak için ısıtıcı serpantin kullanılmıştır. Yıllık gübre miktarının, biyogaz miktarının ve enerji üretiminin sırasıyla 182.5 ton, 7122 m³ ve 32576 kWh olduğu gözlemlenmiştir. Günlük üretilen 19.51 m³ biyogazdan 126.8 kWh/gün elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Enerji, Biyokütle, Biyogaz, Köy Tipi Biyogaz Reaktörü.

THE INVESTIGATION OF BIOGAS USING IN HEAT AND ELECTRICITY PRODUCTION

Arzu AKBULUT

Mechanical Engineering, M.S.Thesis, 2011

Thesis Supervisor: Prof. Ramazan KÖSE

SUMMARY

Power need, increased with improved technology, made renewable resources much more important. One of those renewable energy sources is biogas, produced by processing waste product. There are a lot of parameters like type of organic manure, temperature, mixing, pH, retention time effecting the performance of biogas production. One of the important parameter is organic manure mixing. In this study, anaerobic treatability of cow manure which taken from the willage house in Afyon province, Döğler town in biogas reactor and the optimum conditions for biogas production were investigated. The biogas reactor unit was made of 4 mm thick with stainless-steel material, 2.5 m diameter and 3 m length and 15 m³ total volumes. In order to keep constant of the reactor unit inlet temperature at 35°C, heat exchanger unit was used and installed. It was observed that the amount of annual manure, biogas and energy production were 182.5 ton, 7122 m³ and 32576 kWh, respectively. It was calculated that the amount of 126.8 kWh/day electricity can be produced from the 19.51 m³ daily produced biogas.

Keywords: Alternative Energy, Biogas, Biomass, Village Type Biogas Reactor.

TEŞEKKÜR

“Biyogazın Isı ve Elektrik Üretiminde Kullanılmasının İrdelenmesi“ isimli yüksek lisans tezimde yardımlarından dolayı, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ramazan KÖSE'ye teşekkür ederim.

Arzu AKBULUT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	8
3. BİYOGAZ ÜRETİMİN MİKROBİYOLOJİSİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	13
3.1 Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi.....	15
3.2 Fermantasyon ve Hidroliz.....	15
3.3 Asedik Asidin Oluşumu	16
3.4 Metan Gazının Oluşumu	16
3.5 Sıcaklık	17
3.6 Ph Değişimi.....	18
3.7 Partikül Boyutu	18
3.8 C/N (karbon/azot) Oranı	19
3.9 Karıştırma	21
3.10 Organik Yükleme Hızı	21
3.11 Hidrolik Bekleme Süresi.....	22
3.12 Katı Madde Konsantrasyonu.....	23
3.13 Hızlandırma.....	23
3.14 Ön Hazırlık.....	23
3.15 Toksikite.....	23
4. BİYOGAZ TESİSLERİNİN TASARLANMASI.....	25
4.1 Gübre Miktarının ve Reaktör Hacminin Belirlenmesi	25
4.2 Biyogaz Miktarının Hesaplanması.....	30
4.3 Biyogaz Reaktör Modelleri	31
4.3.1 Küçük hacimli reaktörler	31
4.3.1.1 Yüzer çatılı Hindistan tipi biyogaz reaktörleri	35
4.3.1.2 Sabit çatılı Çin tipi reaktörler	36
4.3.1.3 Yüzer çatı tipi reaktörler.....	40
4.3.1.4 Torba tipi (Tayvan- Çin) reaktörler	42
4.3.1.5 Balon tipi reaktörler	43
4.3.2 Büyük kapasiteli reaktörler	44

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2.1 Tam karışımli reaktörler	45
4.3.2.2 Lagun tipi reaktörler	47
4.3.2.3 Piston akımlı reaktörler.....	48
5. BİYOGAZ REAKTÖRÜNDE SICAKLIK KOŞULLARININ SAĞLANMASI	50
5.1 Reaktör Isı Kaybının Hesaplanması.....	50
5.2 Reaktör Isıtma Yöntemleri.....	51
5.2.1 Güneş enerjisi destekli biyogaz reaktörleri.....	51
5.2.2 Biyogaz reaktörlerinin toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması.....	52
5.2.3 Biyogaz reaktörlerinin hava kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması	53
5.2.4 Jeotermal enerji ile biyogaz reaktörünün ısıtılması	54
6. TÜRKİYENİN BİYOGAZ POTANSİYELİ	55
7. BİYOGAZIN SAFLAŞTIRILMASI	58
7.1 CO ₂ Ayrıştırma Yöntemleri	58
7.2 H ₂ S Ayrıştırma Yöntemleri.....	60
8. BİYOGAZ SİSTEMİ KAPASİTE BELİRLEME VE ELEKTRİK-ISI ÜRETİMİNİN İRDELENMESİNE AİT ÖRNEK HESAPLAMALAR.....	62
8.1 100 ton/gün İnek Gübresi Elde Edilmesi Durumu.....	62
8.1.1 Analiz değerleri ve kabullerin I. yöntemine göre yapılması durumunda.....	62
8.1.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. yöntemine göre yapılması durumunda.....	65
8.2 100 ton / gün Tavuk Gübresi Elde Edilmesi Durumu.....	66
8.2.1 Analiz değerleri ve kabullerin I. yöntemine göre yapılması durumunda.....	66
8.2.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. yöntemine göre yapılması durumunda.....	68
8.3 100 ton / gün Mısır Silajı Elde Edilmesi Durumu.....	70
8.3.1 Analiz değerleri ve kabullerin I. Yönteme göre yapılması durumunda	70
8.3.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. Yönteme göre yapılması durumunda.....	72
9. DENEYSEL ÇALIŞMA	74
9.1 Deney Düzeneginin Tanıtılması.....	74
9.2 Gübre Ön Hazırlama Ünitesi.....	77
9.3 Biyogaz Reaktörü.....	79
9.4 Gaz İyileştirme Ünitesi	85
10. MATERYAL VE METOD	90
11. SONUÇLAR	108
KAYNAKLAR DİZİNİ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi.	15
4.1. Avrupa Topluluğu ülkelerinde hayvan gübresi miktarı.	26
4.2. Sıcaklığa ve hidrolik bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi.....	28
4.3. Biyogaz reaktörlerinde besi maddesi hareketi.	32
4.4. Hareketli gaz depolama tankı.....	34
4.5. Yüzer çatılı biyoreaktörler	36
4.6. Sabit çatılı çin tipi reaktörler.....	37
4.7. 7.2 m ³ Reaktörün detay projesi.	37
4.8. Sabit çatılı reaktörlerde çatı detayı.....	38
4.9. Sıkıştırma tankı yüksekliğinin doğru seçilmesi.	38
4.10. Sabit çatılı reaktörlerde gaz dolması ve boşalması.	39
4.11. Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması.	40
4.12. Hareketli kubbe tipi reaktör.	41
4.13. Yüzer çatının detayı.	41
4.14. Torba tipi (Tayvan-Çin) reaktörler.....	42
4.15. Yatay balon tipi reactor.....	43
4.16. Balon tipi bioreactor.....	44
4.17. Büyük kapasiteli biyogaz reaktör sistemi.....	45
4.18. Tam karışimli reaktörler.....	46
4.19. Üstü örtülü lagundan görüntü.....	48
4.20. Isıtımlı ve çatısı örtülü lagundan görüntü.....	48
4.21. Piston akımlı reaktörler.	49
5.1. Biyogaz reaktörü ısı denge şeması.....	50
5.2. Güneş enerjili ve otomatik kontrollü biyogaz sistemi.	52
5.3. Isı pompası sisteminin biyogaz reaktörüne uygulanışı.	53
5.4. Biyogaz reaktörüne hava kaynaklı ısı pompası sisteminin uygulaması.	54
9.1. Köy tipi biyogaz sistemi.....	75
9.2. Köy tipi biyogaz sistemi deney düzeneği.....	76
9.3. Sistemin genel yerleşkesi	76
9.4. Gübre ön hazırlama ünitesi.	78
9.5. Gübre ön hazırlama ünitesi karıştırıcı sistemi.....	78
9.6. Pompa ünitesi.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.7. Biyogaz reaktörü fiber malzeme ana kalıbı.....	79
9.8. Fiber malzemeden yapılmış biyogaz reaktörü.	80
9.9. Biyogaz reaktörünün üstten görünüşü.....	82
9.10. Biyogaz reaktörü koruyucu kafes sistemi ve bağlantılar.....	82
9.11. Biyogaz reaktörü izolasyon çalışması.	83
9.12. Biyogaz reaktörü izolasyon çalışması ve kafes sistemi.....	83
9.13. Biyogaz reaktörünün üstten görünüşü.....	84
9.14. Gaz iyileştirme üniteleri.....	85
9.15. Deney düzeneğinde kullanılan gaz iyileştirme üniteleri.	86
10.1. Dördüncü günde gübredeki oluşumlar.	91
10.2. Onsekisinci günde gübredeki oluşumlar.	91
10.3. Elde edilen gazın ocakta yanışı.	92
10.4. Elde edilen gazın yemek pişirme amaçlı kullanılışı.....	92
10.5. Biyogaz üretimi esnasında Ph değişimi grafiği.....	93
10.6. Biyogazın termal kamera görüntüsü.	94
10.7. Biyogazın emisyon değerleri görüntüsü.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. OECD ülkeleri toplam elektrik üretimi (TWh).....	3
1.2. Türkiye birincil enerji kaynakları.....	5
1.3. Türkiye birincil enerji kaynakları üretim hedefleri.....	6
3.1. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Listesi ve Özellikleri.....	13
3.2. Organik Maddenin Üç Temel Ögesinden Elde Edilecek Biyogaz ve Metan Miktarlarıyla Hacimsel Ve Ağırlık Yüzdesi Olarak Gaz Bileşimleri.....	17
3.3. Organik Maddelerin C/N Oranı	20
3.4. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi	24
3.5. Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi.....	24
4.1. Birim gübre ağırlığı başına biyogaz oluşumu ve seyreltme oranı.....	27
4.2. Çeşitli atık türleri için ortalama gaz ürünü.....	29
4.3. Küçük boyutlu biyogaz reaktörü boyutlandırılması.....	29
4.4. Hayvan başına üretilen biyogaz miktarı.....	30
6.1. Türkiye’de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı	55
6.2. Biyogaz kaynaklarının verimleri ve metan oranları.....	56
6.3. Türkiye’ nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve kömür eşdeğeri	56
6.4. Hayvan gübrelerinin kimyasal gübre karşılıkları.....	57
7.1. Biyogaz CO ₂ ayrıştırma metodları avantaj-dezavantaj durumları	59
9.1. Büyükbaş hayvan gübresi analiz değerleri.....	77
9.2. Biyogaz sisteminde kullanılan malzemeler ve fiyatlandırma.....	87
9.3. Biyogaz reaktörü ısı kaybı hesap tablosu.....	88
10.1. Biyogaz üretiminde kullanılan malzemelerin içerikleri.....	104
10.2. Afyon ili döğer beldesinde kurulan sistemden elde edilen değerler.....	105
10.3. Biyogaz sisteminden elde edilen üretim değerleri.....	106

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
C	Özgül ısı (kJ/kgK)
\dot{C}_m	Günlük beslenen atık miktarı (m ³ /gün)
f	Gaz üretim çarpanı
GY	Gaz Üretimi (m ³)
m	Ortalama
M	Besleme hammaddesinin kütlesi (kg)
V _d	Reaktör Hacmi (m ³)
V _g	Gaz hacmi (m ³)
Q _T	Toplam ısı enerjisi ihtiyacı (kW)
Q _Y	Reaktör yüzeylerinden oluşan ısı kaybı (kW)
Q _B	Buharlaştırma yoluyla ısı kaybı (kW)
Q _G	Reaktörü terk eden biyogazla oluşan ısı kaybı (kW)
Q _M	Besleme hammaddesinin reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gerekli ısı (kW)
Q _R	Reaksiyon sırasında açığa çıkan ısı kazancı (kW)
<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
BTEP	Bin Ton Eşdeğer Petrol
HBS	Hidrolik Bekleme Süresi
KM	Katı Madde
OKM	Organik Katı Madde
OYH	Organik Yükleme Hızı
TWh	Terawatt saat
UM	Uçucu Madde

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların sınırlı oluşu, hava kirliliği ve asit yağmurları ile sera gazı etkisi şeklinde ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada giderek artan bir ilgi ile karşılanmakta ve enerji gereksiniminin karşılanmasında önemli bir kaynak olarak görülmektedir [1]. Bu nedenle Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkeler, sanayileşmiş ülkelerin düzeyine yetişmek için daha çok enerji yatırımı yapmak zorundadır.

Uluslararası ilişkilerin enerjiye endekslendiği günümüzde, ülkelerin politikaları enerji kazanımları üzerine kurulmuştur. Zengin maden rezervleri artık ülkeleri zengin değil, sefil etmektedir. Enerji kaynaklarına sahip olmak isteyen süper güçler çeşitli entrikalarla ülkeleri karıştırmaktadır. Günümüzde enerji uğruna devletler kurulup devletler yıkılmakta, güçlü olan, her alanda olduğu gibi enerji sahasında da istediğini elde etmektedir. Teknoloji çağında toprağın altına mahkum enerji rezervleri değil, var olan enerjiyi teknolojiye en iyi şekilde uyarlayan ülkeler güçlü konuma gelmektedirler.

Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez (konvansiyonel) olarak iki grup altında toplanabilir. Yenilenebilir enerji, kullanıldığında kaynağı tükenmeyen ve kısa sürede yerine konulan enerjidir. Diğer bir deyişle, yenilenebilir enerji tekrar kullanılabilen enerjidir. Güneş, yenilebilir enerji kaynaklarının en önemlilerindedir. Ekolojik döngülerin temel girdisi olan güneş; ışınlarıyla dünyamızı aydınlatırken, ışınların taşıdığı ısılarla da dünyamızı ısıtıp yaşanacak düzeye getirmektedir. Güneşten gelen ışık-ısı ikilisi, besin zincirinin en alt ve en önemlisi olan fotosentezi gerçekleştirirken, birçok yaşamsal denklemlerin oluşumunda da katalizör görevi yapmaktadır. Ayrıca güneşin etkilerinden çeşitli kullanılabilir enerji üretimi de oldukça popülerdir. Rüzgar enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkisel ve hayvansal atıklardan üretilen biyogaz ve sudan elde edilen hidroenerji ve hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Konvansiyonel enerji ise, kullanıldığında kısa zaman aralığında tekrar oluşturulamayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genelde fosil yakıtlardır. Yeni rezervlerin bulunması yoluyla çoğaltılabilseler de, bu onları sınırlı ömürden kurtarmamaktadır. Genç fosil rezervlerinin oluşması, binlerce yıllık bir süreç gerektirmektedir. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemez fosil kaynakların yanında uranyum ve toryum gibi nükleer kaynaklarda tükenebilir enerji kategorisindedir.

Taşıtlarda, fosil yakıtlardan petrol ve türevlerinin kullanılması, elektrik üretiminde ve ısınma gibi ihtiyaçların giderilmesinde doğal gaz kullanılması gibi nedenlerle, enerji ihtiyacımızın %86 gibi büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu ihtiyacın %42'sini petrol, %22'sini doğalgaz ve %22'sini kömür oluşturmaktadır. Geri kalan

%14'lük bölümün %8'i yenilenebilir enerji kaynakları ve %6'sı nükleer enerji tarafından karşılanmaktadır [2]. Literatürde biyogaz konusu ile ilgili yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Büyük ve küçük ölçekli, farklı hayvan gübrelerinin ve bitkisel atıkların kullanıldığı deneysel ve uygulamalı olmak üzere pek çok çalışma mevcuttur. Yapılmış olan bu literatür çalışmaları aşağıda belirtilmiştir.

Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu küresel ısınmadır. Küresel ısınmanın temel nedeni, aşırı fosil yakıt kullanımınıdır. Fosil yakıtların yanma emisyonlarının da karbondioksit gibi sera gazlarının mevcut olması; atmosferi kaplayan bir cam tabakası gibi, güneşten ışık yoluyla gelen ısıyı geçirirken, enerjisi azalmış yansıyan ışınlardaki ısıyı atmosfer dışına çıkarmamaktadır. Bu süreç iklim değişikliklerine neden olan global ısınma sürecini başlatmıştır. CO₂ ve metan gibi sera gazları bünyelerinde ısı tutma özelliklerine sahiptir. Sera etkisine yol açan sera gazları ısının bir kısmının atmosfer dışına çıkışını engellemektedir. CO₂ emisyonlarının en büyük kaynağı ise ısıtma, soğutma, ulaşım ve elektrik üretim amaçlı yakılan fosil yakıtlardır.

Fosil yakıt kullanımında GJ başına ortalama CO₂ emisyonu; kömürde 88,5 kg, petrolde 69,4 kg ve doğalgazda 52,0 kg düzeyindedir. Bu da fosil yakıt kullanımında, atmosfere korkunç derecede CO₂ salınımı demektir. Bu boyut öyle bir hal almıştır ki, 2020 yılında CO₂ emisyonunun yıllık olarak 8.4 Gton'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bilimsel kaynaklar atmosferdeki bu kadar büyük oranda CO₂'in okyanuslar tarafından soğurulamayacağını ve bitkiler tarafından tutulamayacağını göstermiştir. CO₂ emisyonunun engellenmesinin, temiz enerji kaynaklarının, toplam enerji kullanımındaki payının artırılmasından geçtiği ifade edilmektedir [32].

Dünyadaki enerji talebi ve nüfus artış hızlarının geçen yüzyıllık gelişimi değerlendirildiğinde, enerji tüketiminin nüfusa oranla daha hızlı arttığı sonucu çıkmaktadır. Dünyada kişi başına düşen enerji sürekliliği bir artış eğilimi içindedir. Enerji talep tahminleri konusunda yapılan incelemelerde, 2020 yılındaki enerji talebinin bugünkü enerji talebine göre %65, 2050 yılındaki enerji talebinin ise %250 daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumda söz konusu enerji talep artışının sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda hangi enerji kaynaklarından sağlanacağını belirlemek gerekmektedir.

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında kaynak kullanımı açısından bütün alternatiflerin değerlendirilerek ekonomik ve stratejik açıdan optimum çözümlerin elde edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Enerji ve tercih edilen enerji kaynağı değerlendirilirken kaynağın fiyatı, kaynağın elde edilme kolaylığı, başka ülkelere bağımlılık ve ayrıca çevre ve sağlık etkileri göz önüne alınır. Yaklaşık 6,5 milyarlık dünya nüfusunun 4,5 milyarının dünya ortalamasından daha düşük enerji tükettiği; 2,4 milyarının hala ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu; 1,6 milyarına ise elektriğin ulaşmamış olduğu ve gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 katı yüksek olduğu bilinmektedir [32].

Dünyada en hızlı gelişme gösteren enerji formu, elektriktir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplumların gelişmeleri ve hayat standartları elektrik sistemlerinin gelişmesiyle, kişi başına elektrik tüketimleriyle, enerji yoğunluklarıyla ölçülmektedir. 2007 yılı itibariyle OECD ülkelerinde elektrik kurulu gücü tabloda verilmektedir.

Çizelge 1.1 OECD ülkeleri toplam elektrik üretimi (TWh) [34].

Yıllar	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2015
Toplam Elektrik Üretimi	9618	9486	9772	9869	10115	10385	10460	10064	10633	11239

Çizelge 1.1’de görüleceği üzere, 2000 - 2015 yılları itibariyle OECD ülkelerinin toplam elektrik temin miktarı 102225.9 TWh olarak belirlenmiştir. Bu miktarın yaklaşık %64’ünü fosil yakıtlar, %21’ini nükleer santraller, %13’ünü hidroelektrik santraller ve %2’lik kısmını da yenilenebilir kaynaklar karşılamıştır. Yenilenebilir kaynaklardan 2007 yılında 197 TWh elektrik enerjisi sağlanmıştır [34].

Elektrik pahalı bir enerji türüdür ve hem yenilenebilir, hem de tükenebilir kaynaklardan elde edilebilir. Düşük enerji fiyatının ekonomik gelişmeyi tetiklediği ve hidrojen enerjisi dışındaki yenilenebilir kaynakların fosil kaynaklara göre tüketici için genelde daha yüksek maliyetli olduğu bilinen gerçeklerdir.

OECD ülkeleri ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki nüfus ve enerji tüketimi ilişkisi ters orantılıdır. Dünya nüfusunun %20’sini oluşturan OECD ülkelerindeki enerji tüketimi, toplam tüketiminin %50’sinden fazla olmasına karşın, dünya nüfusunun yaklaşık %75’ini oluşturan gelişmekte olan ülkelerdeki talep %30 düzeyinde kalmaktadır. Bu durumda; Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin endüstrileşme yolunda hızla ilerleyebilmesi için enerjiye daha fazla ihtiyacı olacağı ortaya çıkmaktadır. Burada altı çizilmesi gereken başka husus da dünyada üretilen enerjinin yaklaşık olarak yarısını tüketen OECD ülkelerinin enerji üretim

teknolojilerine sahip olduğu gerçeğidir. Enerji kaynağı tüm ülkelere eşit olarak dağılmış durumda değildir. Dünyada bazı ülkeler rezervlere sahip olup üretici konumundayken, diğerleri bu enerji kaynaklarını elde etmeye çalışan tüketici konumundadır.

Türkiye'nin enerji tüketimi ve ithalatı, ekonomisinde olduğu gibi hızlı bir artış içerisindedir. Türkiye'deki enerji sektörü çoğunlukla kamuya aittir. Enerji üretim tesisleri uzun dönemli yatırımları ve büyük miktarlardaki finansal kaynakları getirmektedir. İnşaları zamanlamaların gerisinde kalan tesisler genellikle ülkenin güç talebi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak ve enerji sektörünün fonksiyonlarını geliştirmek amacıyla, özel sektör yatırımlarını sektöre kanallandırmak özel sektörün, enerji projelerine 'Yap-İşlet-Devret', 'yap-ışlet' ve 'ışletme hakkı devri' gibi modeller vasıtasıyla yatırım yapmalarını teşvik edilmektedir.

Linyit madenleri, elektrik santralleri ve elektrik sektöründeki dağılım faaliyetleri 'ışletme hakkı devri' modeli vasıtasıyla özelleştirilmiştir.

Türkiye'de linyit, taşkömürü, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biomas enerji gibi yenilenebilir kaynak potansiyelleri bulunmaktadır.

Türkiye, üzerinde bulunduğu coğrafyanın jeopolitik konumu nedeniyle doğalgaz, petrol ve elektrik enerjisi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu durum çok akılcı ve milli çıkarlara uygun bir şekilde değerlendirilmeli ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Böylece ülkemiz bölgenin enerji terminali olacak ve dünya enerji sektöründeki stratejik önemi daha da artacaktır.

Diğer taraftan elektrik enerjisi arz güvenliği konusunda ülkemizde yakın gelecekte büyük bir tehlike söz konusudur. Yeni güç tesislerinin devreye alınması, iletim ve dağıtım tesislerinin yenilenmesi, yüksek kayıp-kaçak miktarının azaltılması ve öz kaynaklarımızın kullanılması gibi önlemler hızla gerçekleştirilmelidir. Ülkemizin birinci enerji kaynakları üretimi çizelge 1.2 ve birincil enerji kaynakları üretim hedefi çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Türkiye birincil enerji kaynakları [41].

Yıllar	Taşkömürü (Bin Ton)	Linyit (Bin Ton)	Asfaltit (Bin Ton)	Petrol (Bin Ton)	Doğalgaz (10 ⁶ m ³)	Hidrolik ve Jeotermal Elektrik (GWh)	Jeotermal Isı (Bin TEP)	Rüzgar (GWh)	Güneş (Bin TEP)	Odun (Bin Ton)	Hayvansal ve Bitkisel Atıklar (Bin Ton)	Biyoyakıt (Bin Ton)	TOPLAM (Bin TEP)
1998	2156	65204	23	3224	565	42314	582	---	210	18374	6396	-	29324
1999	1990	65019	29	2940	731	34759	618	6	236	17642	6184	-	27659
2000	2392	60854	22	2749	639	30955	648	21	262	16938	5981	-	26047
2001	2494	59572	31	2551	312	24100	687	33	287	16263	5790	-	24576
2002	2319	51660	5	2442	378	33789	730	62	318	15614	5609	-	24282
2003	2059	46168	336	2375	561	35419	784	48	350	14991	5439	-	23783
2004	1946	43709	722	2276	708	46177	811	61	375	14393	5278	-	24332
2005	2170	57708	888	2281	897	39655	926	58	385	13819	5127	-	24549
2006	2319	61484	452	2176	907	44338	898	127	403	13411	4984	2	26850
2007	2492	69304	782	2134	878	35711	914	355	420	12882	4850	12	26810

Çizelge 1.2’de, Türkiye’nin 1998 yılından itibaren 2007 yılına kadar olan birincil enerji kaynaklarının durumu görülmektedir. Buna göre; 2007 yılında 26810 BTEP (Bin Ton Eşdeğer Petrol) olarak gerçekleşen üretimin yaklaşık olarak %5’ini taşkömürü, %43’ünü linyit, %9’unu petrol, %15’ini hidrolik+jeotermal, %15’ini odun ve geriye kaynakları oluşturmaktadır.

Doğalgaz 1998’den itibaren yıllara göre sürekli artış göstermiştir. Bunun temel nedeni olarak yapılan doğalgaz anlaşmaları gösterilebilir. Ayrıca güneş enerjisi de sürekli artış göstermiştir. Ülkemizin güneş ve rüzgar enerji potansiyelinin yüksek olması ve son yıllarda artan küresel ısınma problemleriyle birlikte çıkartılan yasalarında bunda büyük etkisi vardır. Jeotermal enerjinin ısı olarak kullanılması da yıllara göre sürekli artış göstermiştir. 2006 yılında ilk defa biyoyakıt da kaynakların listesinde yerini almıştır. Ayrıca hayvansal ve bitkisel atıklarında yıllara göre enerji üretiminde kullanımının sürekli azaldığı gözden kaçmayan bir diğer durumdur. Yıllara göre kullanımın sürekli azalan bir diğer kaynakta odundur. Taşkömürü ve linyit kullanımı ise yıllara göre sürekli değişiklik arz etmiştir. Son dört yılda asfaltit kullanımında önceki yıllara oranla bir hayli fazladır [41].

Çizelge 1.3 Türkiye birincil enerji kaynakları üretim hedefleri [41].

Yıllar	Taşkömürü (Bin Ton)	Linyit (Bin Ton)	Asfaltit (Bin Ton)	Petrol (Bin Ton)	Doğalgaz (10 ⁶ m ³)	Hidrolik (GWh)	Jeotermal elektrik (GWh)Elektrik	Jeotermal Isı (Bin TEP)	Rüzgar (GWh)	Güneş (GWh)	Nükleer (GWh)	Odun (Bin Ton)	Hay. Ve Bit. Art. (Bin Ton)	TOPLAM
2008	9000	98630	700	1754	322	54395	330	1052	4192	441	-	12231	4725	36131
2009	9000	101488	700	1618	273	54557	330	1199	4541	475	-	11743	4605	36686
2010	9000	102705	700	1498	258	57009	330	1360	4890	495	-	11275	4493	37126
2011	9000	113932	700	1390	250	60196	330	1538	5238	515	-	11062	4389	38879
2012	9000	119233	700	1294	243	65651	330	1734	5587	536	10527	10853	4287	42828
2013	9000	130382	700	1204	247	71770	330	1949	5938	558	10527	10648	4194	44888
2014	9000	140657	700	1105	245	77590	330	2186	6287	580	21052	10447	4108	49452
2015	9000	151659	700	1018	234	82095	330	2446	6636	605	31579	10250	4026	54124
2016	9000	162701	700	943	233	87102	330	2732	6985	650	31579	10250	3952	56244
2017	9000	174559	700	871	237	92415	330	3047	7334	697	31579	10250	3878	58634
2018	9000	191189	700	809	242	97916	330	3394	7684	748	31579	10250	3813	61599
2019	9000	202334	700	718	252	103865	330	3775	8033	803	31579	10250	3752	63774
2020	9000	209733	700	660	215	109524	330	4195	8382	862	31579	10250	3696	65704

2011'den 2020 yılında kadar olan yıllar için ülkemizin birincil enerji kaynaklarından enerji üretim hedefleri ve kullanılacak kaynakların miktarı tahmini olarak Çizelge 1.3'de gösterilmiştir. 2020 yılı için enerji üretimi hedefi 66.094 MTEP olarak belirtilmiştir. 2006 yılında gerçekleşen değer ise 26.763 MTEP'dür. 14 yılda yaklaşık olarak 2,5 kat bir artış öngörülmektedir. Bu da önemli bir miktardır [41].

Ayrıca güneş, rüzgar, jeotermal ısı gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerji yıllara göre sürekli bir artış göstermektedir. Hidrolik santrallerin de enerji üretimine katkısının her geçen yıl artması planlanmıştır. Petrol ve doğalgaz kullanımının enerji üretimine olan katkısının önümüzdeki yıllarda sürekli olarak azalması planlanmıştır. Linyitin ise yıllara göre sürekli artan bir eğilim göstermesi planlanmıştır. Hayvan ve bitki atıklarının da azalan bir eğilimde olduğu gözden kaçmamaktadır. 2020 yılı itibariyle linyit ve taşkömürünün toplam enerji üretimindeki payı yaklaşık olarak %56 olarak planlanmıştır. Hidroelektrik santrallerin üretimdeki payı %15, nükleer santrallerin payı %13, jeotermal, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise yaklaşık %10 olarak planlanmıştır. Geriye kalan kısmı ise diğer kaynaklar oluşturmaktadır [41].

1996 yılında birincil enerji kaynaklarının tüketimi 69.862 BTEP iken bu değer 2006 yılında 99.825 BTEP olarak gerçekleşmiştir. 2006 yılı birincil enerji kaynakları tüketiminde linyit ve taşkömürü %2621'lik bir paya sahiptir. Jeotermal, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir

kaynakların 2006 yılı tüketimindeki payı ise %5'tir. Doğalgaz 2006 yılında %29'luk bir paya sahip iken petrolün payı ise %33 olarak gerçekleşmiştir [34].

2020 yılı için yapılan tahmine göre ise enerji tüketimi 222.424 MTEP'dür. Bu değer in %36'sını linyit ve taşkömürü oluşturmaktadır. Petrol %27, doğalgaz %23, hidroelektrik santraller %4, yenilenebilir kaynaklar %3 ve nükleer enerjisi ise %4'lük bir paya sahiptir. Diğer kaynaklar da geriye kalan kısımdan oluşmaktadır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Ahn ve Foster (2000), sığır gübresinin termofilik şartlarda havasız çürümesi (fermantasyon) esnasında, içindeki yüksek miktarlardaki patajonin ve yabancı otların, mezofilik şartlara göre daha fazla yok edildiğini belirtip bu termofilik ve mezofilik şartların elde edilmesinde güneş enerjisinin kullanılabilirliğini ve Mısır koşullarında uygulanabilirliğini araştırmışlar ve sistemlerini modelleme ile de desteklemişlerdir. Deneylerinde laboratuvar ölçekli (180 cm çapında 450 cm yüksekliğinde) sürekli karıştırılmalı bir biyoreaktör kullanmışlar ve 50 °C ve 60 °C de biyogaz üretmişlerdir. Biyoreaktör içindeki sıcaklık dalgalanmalarının metan üretimini 50 °C'de %12 ve 60 °C'de ise %20 azalttığını ve Mısır için böyle bir termofilik sistemde güneş enerjisinin kullanılabilirliğini fakat 100 m³'den büyük digester hacimleri için güneş enerjisi sisteminin verimli olmayacağını, 50 °C'de üretilen metanın 60 °C'de üretilenden daha fazla olduğunu, bunun nedeninin de 60 °C'deki serbest amonyum konsantrasyonunun 50 °C'dekinden daha fazla olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir [3].

Pougatch ve Salcudean (2006), ağaç kırıntılarının su ile büyük ölçekli sürekli akışlı bir digester içindeki çok fazla kimyasal reaksiyonlarını modellemişlerdir. Modellerinden elde ettikleri verileri doğrulamak için simülasyonlarını endüstriyel bir reaktörde uygulamışlar ve model sonuçlarının uygulama ile uyum içinde olduğunu görmüşlerdir [4].

Sahistrom (2003), havasız çürütme sonucu elde edilen atıkların tarımda kullanılabilirliğini, fakat bu atıkların insanlar ve hayvanlar için hayati öneme sahip bakteriler ve mikroorganizmalar içerdiğini, bu riskin çok ciddi olmasa da ihmal edilemeyeceğini belirtmişlerdir. Biyogaz reaktörlerinde bu patojenlerin azaltılmasında sıcaklığın çok büyük etkisi olduğunu fakat diğer faktörlerin de ihmal edilemeyeceğini düşünerek biyoreaktör içinde hijyenik şartları oluşturmaya çalışmışlardır [5].

Zuru ve arkadaşları (2004), katıların ısı çürütmesinin kinetiğinde kullandıkları 9 model ile sulandırılmış deve, sığır, at ve koyun gübrelerinden biyogaz üretimini araştırmışlardır. 200 gram gübreye karşılık 800 cm³ su ilave ederek 1 litrelik bir biyoreaktörde 13 hafta boyunca 24 saatlik sürelerde üretilen gazları ölçmüşlerdir [6].

Kim ve Speece (2002), 300 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki sürekli karıştırılmalı bir havasız biyoreaktörde sığır gübresinin çürütülmesi esnasında balık artıklarının sisteme etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada uçucu katı/(m³-gün) miktarı 5.1 ile 6.3 kg ve bekleme zamanı 21 gün için biyogaz üretimi araştırılmıştır. % 4'lük balık atığının uçucu katılar ve metan üretimindeki azalmaya yol açmasından dolayı biyoreaktörün performansında bozulmaya neden

olduğunu, %6 oranında eklenen balık atığının ise biyoreaktörün performansını çok bozduğunu belirtmişlerdir [7].

Callaghan ve arkadaşları (1998), 3 adet 5 litrelik tamamen karıştırmalı tank kullanarak atık çamurun termofilik ve mezofilik havasız ortamlarda çürümesinin ilk aşamalarında en uygun bekleme zamanını araştırmışlardır. Bu zamanı 8 saat ile 48 saat arasında değiştirmişler ve hidrolik bekleme zamanı 18 ile 48 saat arasındaki zamanlarda uçucu yağ asitlerinin az miktarda depolandığını dolayısıyla gaz üretiminin arttığını daha düşük bekleme zamanlarında ise asitlerin depolanmadığını ve gaz üretiminin de azaldığını belirtmişlerdir [8]

Roberts ve arkadaşları (1998), yüksek katı oranına sahip gübrelerin klasik biyoreaktörler için uygun olmadığını, bu tür gübreler için yapılan büyük ölçekli klasik biyoreaktörlerin yatırım, ısıtma, gaz tutma ve atıklarının kullanım maliyet sistemlerinin verimini azalttığını belirtmişlerdir. Bunun için seyreltilmemiş sığır gübrelerinin havasız ayrıştırıcı bir biyoreaktörde biyogaz haline dönüştürülmesi üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla 2.5 ile 0.9 litrelik efektif hacimli reaktörleri sığır gübresi, havasız tohum, ağaç tozu veya kırpıntısı ve su ile doldurarak biyokimyasal reaksiyona maruz bırakmışlardır. Sonuçta ayrıştırıcı biyogaz reaktörlerin seyreltilmemiş sığır gübresinden biyogaz elde edilmesinde, klasik biyogaz reaktörlerine göre %25 fazla verimle gaz üretebildikleri sonucuna ulaşmışlardır [9].

Demirer ve Chen (2008), laboratuvar ölçekli bir biyogaz reaktöründe biyogaz geri beslemesi, pervaneli karıştırıcı ve sıvının geri beslemesi ile karıştırılmasının biyogaz üretimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun için %5-10 ve 15 kuru madde içeriğine sahip gübreler 35 °C'de 16.2 gün bekleme zamanında çürümeye bırakılmışlardır [10].

Karima ve arkadaşları (2005), sığır gübresinden üretilen biyogazların artırılması için biyogaz reaktörünün biyogaz potansiyeli yüksek maddelerle desteklenmesi gerektiğini, bu tür bir madde olan hardalının yüksek azot ve fosfat içeriğine sahip olduğu ve %30 oranında sisteme hardalın katılması durumunda uçucu madde çıkışında %12.2 ile 13.8 arasında bir artış olduğunu görmüşlerdir. Bu %30'luk katkı sadece sığır gübresiyle üretilen biyogaza kıyaslandığında % 63.44 artışa karşılık gelmektedir [11].

Satyanarayana ve arkadaşları (2008), mısır ve sığır gübresinin havasız ortamda çürütülmesinin iyileştirilmesi için 1 litrelik bir kaptaki 38 °C'de 60 gün boyunca metan üretimini ölçmüşlerdir. Ham bir durumdan olgun bir hale kadar özel olarak yetiştirilen 13 çeşit mısır yetiştirmişler ve geç hasat edilen mısırların daha fazla biyogaz ürettiklerini, tamamen

olgunlaşmaya yaklaşan mısırların ise metan üretimini azalttığını, mısır silajının ise metan üretimini %25 arttırdığını bulmuşlardır [12].

Amon ve arkadaşları (2007), sıcaklık fazlı havasız çürütmenin sığır gübresinin dengelenmesine uygulanabilirliğini araştırmışlardır [13].

Harikishan ve arkadaşları (2003), koyun ve keçi gübresinin farklı oranlarda hardal eklenmesi halinde biyogaz üretiminin durumunu araştırmışlardır. Azalan gübre miktarına karşılık artırılan katkı maddesi oranı biyogaz üretiminde azalmaya neden olmuş, buna karşın %40 koyun gübresi - %60 hardal karışımıyla üretilen biyogazın, %40 keçi gübresi- %60 hardal karışımıyla üretilen biyogaza göre çok daha fazla olduğunu bulmuşlardır [14].

Al-Masri ve arkadaşları (2001), sığır gübresini birçok organik madde ile karıştırarak bu karışımın biyogaz üretimine etkisini araştırmışlardır. Bunun için 18 litrelik bir hacimde 35°C'de 21 günlük bekletme süresiyle sığır gübresini bazı sebze ve meyve atıklarıyla ve de tavuk gübresiyle karıştırarak biyogaz üretmişler ve bu karışımın ilerisi için umut verici bir karışım olduğunu belirtmişlerdir. Sebze ve meyve atıklarının oranının %20'den %50'ye çıkarılmasıyla metan üretiminin 0.23 m³/kg'dan 0.45 m³/kg'a çıktığını, tavuk gübresi ilavesinin ise biyoreaktör performansını kötüleştirdiğini bulmuşlardır [15].

Callaghana ve arkadaşları (2002), güneş enerjisi destekli, 10 m³'lük sürekli karıştırmalı, termofilik şartlarda (50°C) sıvılaştırılmış sığır gübresinin kullanıldığı biyoreaktörü enerji açısından incelemişler ve benzeşim modeli geliştirmişlerdir [16].

El-Mashad ve arkadaşları (2004), iki tane büyük ölçekli biyogaz reaktörlerine (2000 m³ ve 1850 m³'lük tamamen karıştırmalı) organik yükleme miktarının iki aşamada 2.11 kg uçucu madde/m³-gün'den 4.25 kg uçucu madde/m³-gün'e yükseltilmesi durumunda tesis gücünün biyoreaktör hacmini değiştirmeden 500 kW'tan 1MW'a çıkarıldığını göstermişlerdir [17].

Demirci ve Demirer (2004), tavuk ve sığır gübresinin havasız ortamda çürütülebilirliğini ve biyogaz üretim potansiyelini araştırmışlardır. Bu amaçla tavuk ve sığır gübresinin ayrı ayrı ve bunların birbirleri arasında farklı oranlarda karıştırılması durumunda çürüme ve biyogaz üretme kapasitelerinin deneylerini yaparken bu karışımların başlangıç kimyasal oksijen isteği konsantrasyonu, besin ve kalıntı metal ilavelerinin, biyoreaktör sıcaklığının ve bakterilerin ortama alışma konularını araştırmışlardır [18].

Sterling ve arkadaşları (2001), sığır gübresinden havasız ortamda çürütülmesi esnasında amonyak tozu ilavesinin hidrojen gazı üretimindeki etkilerini araştırmışlardır [19].

Hammada ve arkadaşları (1999), farklı hayvanların gübre ve artıklarıyla yeraltına yapılan kübik bir biyoreaktörde %57 ile %67 oranında metan üretmeyi başarmışlar ve elde ettikleri metanı su ısıtmasında ve elektrik üretiminde kullanmışlardır. Çevre sıcaklığındaki dalgalanmaların biyogaz üretimini çok fazla etkilemediğini fakat biyoreaktördeki sıcaklığın hem biyogaz miktarını hem de metan yüzdesini etkilediğini, en uygun biyoreaktör sıcaklığının ise 35 °C olduğunu bildirmişlerdir [20].

Ishikawa ve arkadaşları (2006), deneysel çalışmalar için inşa ettirdikleri çiftlik ölçekli bir biyogaz tesisinde 35°C'de 30 gün bekletme zamanlı olarak çalıştırdıkları sistemde biyogaz üretmişler ve tesisteki CO₂ üretiminin, tesis çevresindeki küresel yapıyı ne kadar etkilediğini araştırmışlardır [21].

Zupanic ve arkadaşları (2003), laboratuvar ölçekli bir termofilik havasız biyoreaktörün 1 günden 10 güne kadar olan bekletme zamanları için ısı ihtiyaçlarını hesaplamaya çalışmışlardır. Isılarını bir kojenerasyon sistemden elde etmişler ve termofilik şartlarda çok daha küçük biyoreaktör hacimlerinde mezofilik şartlara göre çok daha fazla biyogaz üretilbildiğini, biyoreaktördeki ısı kaybının, beslenen gübre su karışımının ısı ihtiyacının sadece %2 ile %8'i arasında olduğunu belirtmişlerdir. Termofilik şartlardaki ısı ihtiyacının mezofilik şartlarınkinden 2 kat daha fazla olduğunu, sadece kojenerasyon sisteminde üretilen ısı ile termofilik sıcaklık şartlarının oluşturulamayacağını bunun için biyoreaktörden çıkan akışkanın da ısısının kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır [22].

Kalia ve arkadaşları (1998), 3 litrelik bir hacimde, 12 haftalık bekletme zamanında 25 °C'deki biyoreaktöre sığır gübresi ile buna ilave olarak farklı oranlarda at gübresi karıştırarak biyogaz üretimini incelemişler ve %80 sığır-%20 at gübresi karışımının sistemdeki gaz üretimini yavaşlattığını fakat bundan sonraki at gübresi ilavelerinin sistemde büyük bir değişiklik yapmadığını ancak en fazla üretimin 100 sığır gübresinde olduğunu deneylerinden elde etmişlerdir [23].

Duerr ve arkadaşları (2007), biyogaz sistemlerinden elde edilen gazın içten yanmalı motorlarda yakılarak elektriğe dönüştürüldüğünü fakat biyoreaktörden elde edilen metanın ayrıştırılarak hidrojen elde edilebileceğini ve yakıt hücrelerinde daha verimli ve çevreci bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [24].

Shing ve arkadaşları (2001), sığır gübresine, sığır gübresi ve mutfak atıkları karışımına farklı oranlarda kattıkları uyarıcılar olan Aquasan ve Teresan'ın biyogaz üretimine etkilerini incelemişler ve uygun bir dozda Aquasan ilavesiyle %39'dan %55'e kadar daha fazla gaz

çıkarılabildiğini, sığır gübresi ile mutfak atığı karışımına katılacak uygun miktardaki Teresan ilavesi ile de %35 daha fazla gaz üretilbildiğini kanıtlamışlardır [25].

Keshtkar ve arkadaşları (2003), mevcut bulunan sürekli karıştırmalı biyoreaktörlerin aslında tam olarak karıştırılmadığından yola çıkarak sığır gübrelerinin sürekli karıştırmalı biyoreaktörde ideal olmayan karışım esnasında çürümesini modelleyerek, akış oranının, hidrolik bekletme zamanının, beslemenin bileşiminin biyoreaktörün başlangıç şartlarının ve karıştırma derecesinin sistem performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [26].

Clemens ve arkadaşları (2006), sığır gübresiyle ve sığır gübresiyle patates nişastasının karıştırılması durumunda biyogaz tesisinde çürütülen gübre ve atığın çürütülmeye bırakılmamış gübrelerle kıyaslayarak bunların çevresel etkilerini incelemişlerdir [27].

Lubken ve arkadaşları (2007), havasız çürütme modelini kullanarak biyogaz üretimi ve düzenlemesinin yapılabileceğini belirterek, sığır gübresi ve yenilenebilir enerji ekinlerinin çürütülmesi esnasında enerji üretimini simüle etmek için bir uygulama yapmışlar ve havasız çürütme modelini değiştirmişler, net enerji üretiminin dinamik hesaplamasını yapabilen bir enerji dengesi modeli sunmuşlardır [28].

Axaopoulos ve arkadaşları (2001), yeraltına inşa edilmiş 45 m³ faydalı hacme sahip güneş enerjili bir biyoreaktör imal ederek, güneş panellerini biyoreaktör içerisine daldırıp bir ısı değiştiricisine bağlamışlardır. Otomatik kontrol ünitesi sistemi ile sistemin performansını deneysel olarak araştırmışlardır [29].

Alvarez ve Liden (2008), lama, sığır ve koyun gübrelerinin yarı sürekli bir biyoreaktörde çürütülmesi esnasında biyoreaktördeki günlük sıcaklık dalgalanmalarının sistem performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sabit sıcaklıkta havasız çürütme ile elde edilmiş verilerle biyogaz üretim oranı, metan üretimi ve uçucu maddeki azalma miktarlarını karşılaştırmışlardır [30].

Tez kapsamında uygulamalı olarak yapılan bu çalışma literatürde mevcut bulunan çalışmalara genel olarak benzemekle beraber, biyogaz sistemlerinin en önemli kısmını oluşturan tasarım adımlarının belirlenmesi ve belirlenen bu değerlerin ışığında her aşamada bir hesaplama tablosunun oluşturulması bakımından yenilik ve özgünlük içermektedir.

3. BİYOGAZ ÜRETİMİN MİKROBİYOLOJİSİ VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Biyogaz, hayvansal ve bitkisel atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Bileşiminde % 60-70 metan (CH₄), % 30-40 karbondioksit (CO₂), % 0-2 hidrojen sülfür (H₂S) ile çok az miktarda azot (N₂) ve hidrojen (H₂) bulunmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılacak atıklar hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve çiftlik dışı atıklar olmak üzere genel olarak üç şekilde sınıflandırılabilir. Hayvansal Atıklar; sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır [35]. Bitkisel Artıklar; ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır [35]. Çiftlik dışı atıklar; yemek atıkları, gliserin, mayonez, işkembe v.b gibi çiftlikte mevcut bulunan hayvan ya da bitkilerden elde edilmemiş, daha ziyade yemek atıkları tarzında ki malzemelerdir.

Çizelge 3.1 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Listesi ve Özellikleri

Çamur Bulamaç gibi	KM [%]	OKM [%KM]	Biyogaz verimliliği lt/kg-OKM	Metan içeriği %
Süt İneği	9,50	80	300	55
Besi Sığırı 0,5 - 2 yıllık	8,00	81	450	55
Yağlı Cins 0,5 - 2 yıllık	8,00	81	450	55
Dana	6,00	80	600	55
Yavrulu Dişi Domuz - 9 kg	6,00	85	400	60
Dişi Domuz	6,00	85	400	60
shoat (9-28 kg)	6,00	85	400	60
Fattener	6,00	85	400	60
Yayılmış tavuk	18,00	75	500	56
sullage (in m ³)	2,00	0	0	0
Kuru Gübre	KM [%]	OKM [%KM]	Biogaz Verimliliği lt/kg-OKM	Metan İçeriği %
Süt İneği	23	80	330	55
Besi Sığırı 0,5 - 2 yıllık	23	80	450	55
Yağlı Cins 0,5 - 2 yıllık	23	80	450	55
Dana	23	80	450	55
Yavrulu Dişi Domuz - 9 kg	22	78	450	60
Dişi Domuz	22	78	500	60
shoat (9-28 kg)	22	78	550	60
Fattener	22	78	600	60
Izgaralık Piliç	55	70	500	62
Genç Besi Tavuğu	55	70	500	62

Çizelge 31 (devam)

Tavuk	55	75	400	62
Besi Hindi	55	75	350	62
Yağlı Hindi	55	75	350	62
Koyun	25	70	450	55
At	25	75	300	55
Bitkisel Atıklar				
Tip	KM [%]	OKM [%KM]	Biogaz verimliliği lt/kg-OKM	Metan içeriği %
Mısır Silajı	33	95	650	52
sudan grass / sorghum	29	93	530	52
Çimen Silajı	32	90	550	54
1. kesim Çimen Silajı	35	85	600	55
2. veya 3. Kesim Çimen Silajı	37	85	500	53
Kış Çimeni	18	85	630	53
Yeşil Mısır	17	85	630	53
Karaçayır	21	90	600	54
Kırmızı turp	16	80	560	53
Kolza	14	85	590	53
Phacelia	15	85	620	53
Şeker Pancarı	14	85	680	51
Patates	20	80	770	51,5
Arpa Buğday	86	90	770	52
Mısır, Mısır Koçanı Karışımı	60	95	700	52
Ayçiçeği Silajı	27	90	600	57
Arpa Buğday / Çavdar Silajı	27	90	600	52
Çiftlik Dışı Malzemeler				
Tip	KM [%]	OKM [%DM]	Biogaz verimliliği lt/kg-OKM	Metan içeriği %
Hayvan Yemeği	94	85	540	58
Bio Atık	40	50	615	52
DAF çamur	20	45	450	65
Un Tozu	87	97	750	52
Çiçek Yongaları	25	75	550	52
Yemek Atıkları	28	90	650	55
Meyve Atıkları	11	90	670	54
Kil	35	35	1000	68
Gliserin	60	90	1000	50
grease trap fats	18	87	1000	65
Üzüm Ezmesi	25	86	635	55
Kesilmiş çimen	42	90	750	54
Mutfak Atıkları	18	90	700	60
Mayonez	58	90	900	68
Yulaf Kabuğu	88	96	312	52
İşkembe Gübresi	15	84	480	55
Evcil Hayvan Yemeği	92	92	650	63

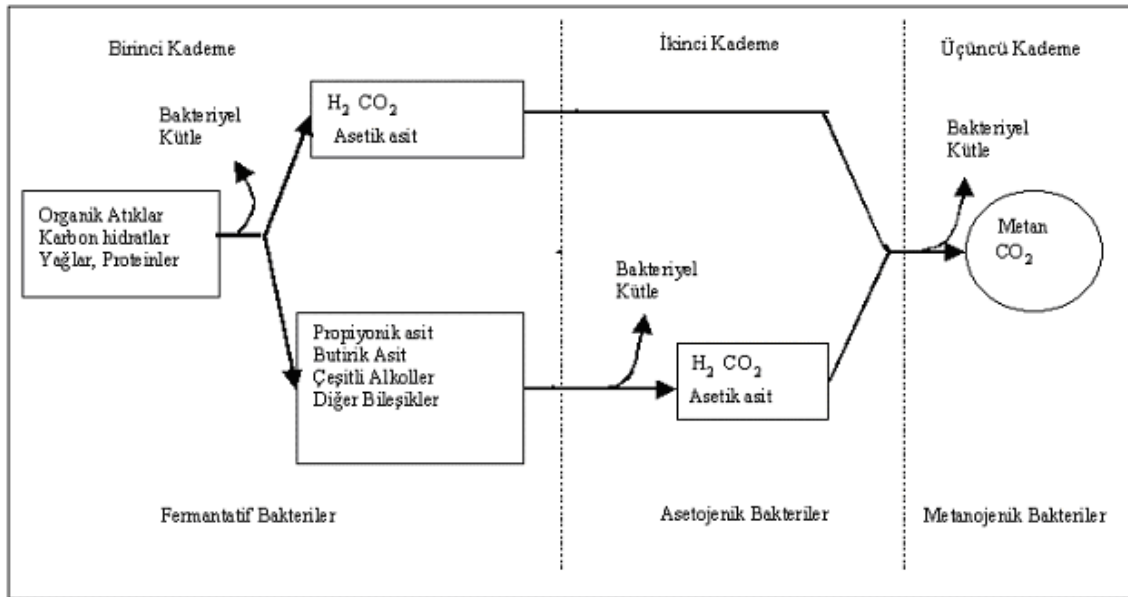
Çizelge 31 (devam)

Sıkıştırılmış Küspe	88	92	700	65
---------------------	----	----	-----	----

Kullanılmış Tahıl (kuru)	23	95	500	56
Kullanılmış Tahıl (yaş)	4	97	450	52
Kullanılmış Patates	14	90	410	51
Kesilmiş Şeker Pancarı	25	93	700	51
sugar beet tops	14	75	700	51
vegetable oil sludge	30	90	900	68
Bitkisel Atıklar	15	80	500	55
Kesilmiş Sütün Suyu	6	80	500	56

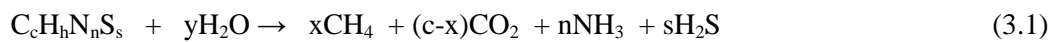
3.1 Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi

Havyan gübresi içindeki organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilerek metan üretimi 3 kademede gerçekleşmektedir (Şekil 3.1). birinci kademede fermantatif bakteriler, ikinci ve üçüncü kademelerde ise sırasıyla Asetojenik ve Metanojenik bakterilerin oluşumu gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1 Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi.

Organik maddeler anaerobik şartlarda çürüdüğü zaman reaksiyon teorik olarak aşağıdaki şekilde gerçekleşir.



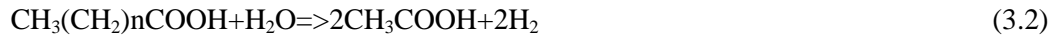
3.2 Fermantasyon ve Hidroliz

Bu aşamada fermantatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları

organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları ($C_6 H_{10} O_5$) n, proteinleri ($6C_2NH_3-3H_2O$) ve yağları ($C_5 OH_9 O_6$) parçalayarak CO_2 , asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu uçucu yağ asitlerinin [$CH_3(CH_2)_n COOH$] oluşum aşaması adı da verilir [37].

3.3 Asetik Asidin Oluşumu

Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetogenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir.



Diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır [37].



3.4 Metan Gazının Oluşumu

Anaerobik fermantasyonun bu son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO_2 ve H_2 'yi kullanarak metan (CH_4) ve suyu (H_2O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama

Sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar[37].



Çizelge 3.2 Organik Maddenin Üç Temel Ögesinden Elde Edilecek Biyogaz ve Metan Miktarlarıyla Hacimsel Ve Ağırlık Yüzdesi Olarak Gaz Bileşimleri [32].

Organik madde ögesi	Ağırlık olarak biyogaz karışımı		Birim organik kuru maddeden gaz üretimi(m ³ /kg km)		Hacimsel olarak metan
	% CO ₂	% CH ₄	Biyogaz	Metan	
KARBONHİDRAT	73	27	0,75	0,37	50
YAĞ	52	48	1,44	1,04	72
PROTEİN	73	27	0,98	0,49	50

Burada ağırlık ve hacimsel %lerde meydana gelen farklılık CO₂ ve CH₄ ün yoğunluklarının farklı olmasından İleri gelmektedir.CO₂=2 hava yoğunluğu,CH₄=1/2 hava yoğunluğu

Biyogaz üretimi bazı fiziksel ve kimyasal faktörlere bağlıdır. Fiziksel faktörler işletmeci tarafından kontrol edilebilir. Uygun şartlar sağlandığında biyogaz üretiminde artış beklenir [32].

3.5 Sıcaklık

Reaktör sıcaklığının biyogaz üretim sürecine etkisi çok büyüktür. Anaerobik fermantasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılırlar [32].

1-psychrophilic (sakrofilik) bakteriler ; faaliyet sıcaklık aralığı	0-25°C
2-mezophilic (mezofilik) bakteriler ; faaliyet sıcaklık aralığı	25-40°C
3-termophilic (termofilik) bakteriler ; faaliyet sıcaklık aralığı	40-80°C

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ve bataklıklar içinde, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıktaki volkanik ve jeotermal bataklıklarda yaşarlar. Sakrofilik ve termofilik bakteriler hayvan gübresinde bulunmazlar. Hayvan gübresinde mezofilik bakteriler yaşarlar ve 30°C ile 40°C aralığında fermantasyon yaparlar. Fermantasyon süresinin uzunluğu sıcaklığa bağlıdır. Yapılan araştırmalarda biyogaz üretim veriminin 55°C'den küçük sıcaklıklarda yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca mezofilik bakteriler ani sıcaklık değişimine aşırı tepki vermektedirler. Reaktörde sıcaklığın 30°C ile 40°C arasında sabit tutulması verimi yükseltecektir. Isıyı sabit tutmak için reaktöre yalıtım yapılmalıdır. Reaktörün bulunduğu yere göre rüzgardan yağmurdan korumak için muhafaza yapılabilir. İstenen ısı artışını sağlamak için ise reaktör güneşe dönük konumlandırılabilir veya üzerine sera tipi seyyar platform yapılabilir. İstenen sıcaklık sağlandığında veya yazın ortam sıcaklığının yüksek olduğu günlerde sökülebilir[37].

3.6 Ph Değişimi

Metan oluşturuucu bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemini anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH değeri, normal olarak 7-7.5 arasında değişir. Karbon dioksit-bikarbonat ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$) ve amonyak- amonyum ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) tamponlama etkisinden dolayı pH seviyesi nadiren değişir. Bio karbonatlar pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önler. Çünkü bi karbonatlar çürüme esnasında oluşan uçucu yağ asitlerinin serbest yağ asitleri halinde değil de bağlı halde tutulacağı için pH düşürme etkisini önler.

Eğer reaktörün pH değeri 6.7'nin altına düşerse, bu durum metan oluşturuucu bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Anaerobik arıtma için ideal pH aralığı 6.8-7.8 dir. pH 6.5 altına düştüğü zaman gaz üretimi tamamen düşer. pH değeri düştüğünde bu durumdan metan oluşturuucu bakteriler olumsuz etkilenir. Dolayısıyla ortamda asit oluşturuucu bakteri konsantrasyonunda artma olur. Reaktörde yağ asidi konsantrasyonu belli değerin üzerine çıktığında metan oluşumu tamamen durur. Bu durum özellikler aşırı organik yükleme ve sıcaklığın şok olarak düşmesinden dolayı meydana gelir.

Reaktörlerde pH değeri düştüğü zaman iki yaklaşım uygulanır. Birinci yaklaşımda organik madde beslemesi kesilmelidir. Böylece ortamda metanojenik mikroorganizmaların konsantrasyonu artırılarak yağ asidi konsantrasyonu azaltılabilir. pH değeri kabul edilebilir seviyeye yükseldikten sonra (pH=6.8 gibi) çamur beslenmesine tekrar devam edilir. İkinci yaklaşım pH'i yükseltmek ve tamponlama kapasitesini artırmak için ortama kimyasal maddeler ilave edilir. Kimyasal madde ilave etmenin en önemli avantajı pH değerini kararlı hale getirmesidir. Dengesiz popülasyonlar hızlı şekilde kendisini düzeltmeye çalışırlar. Kimyasal madde olarak sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ve soda (sodyum bi karbonat) çözeltileri ilave edilebilir. Her iki madde de Türkiye'de bol olarak bulunmaktadır. Sodyum bi karbonat biraz pahalıdır. Fakat kalsiyum karbonat gibi ilave bir katı madde oluşturmaz.

3.7 Partikül Boyutu

Etkili bir gaz üretimi için parçacık boyutu önemlidir. Pompa ve nakil borularının tıkanmaması içinde çözeltilerin akışkan ve partikül boyutunun minimumda olması gerekir. Diğer taraftan küçük boyut daha geniş yüzey alanı artan mikrobiyel hareketlilik ve sonuçta gaz üretim artışı demektir. Partikül boyutlarının 0.088 - 0.40 - 1.0 - 6.0 - 30.0 mm partikül olduğu durumlarda yapılan biyogaz üretimlerinde en iyi sonucu 0.088mm ve 0.40mm olan en küçük boyutlar vermiştir [33].

3.8 C/N (karbon/azot) Oranı

Tüm besin maddeleri, hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları v.b. belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Karbondan başka en önemli besi maddeleri azot ve fosfordur. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir.

Besin maddesinde azot bulunmasının iki faydası var. Birincisi, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar. İkincisi, amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önler. Böylece metan oluşturuvcu bakterilerin büyümesi için uygun pH şartlarının sağlanması oldukça önemlidir.

Besin maddesindeki bileşikler, reaktörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranı 23/1 den büyük olduğunda optimum çürüme için uygun değildir. Yine C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Çalışmalar göstermiştir ki hayvan gübresinde azot (N) kaynağı idrardır. Deneysel çalışmalardan görülmüştür ki hayvan atığı içinde 5000 mg/lt azotun bulunması bio kimyasal reaksiyon üzerine olumsuz etki yapmadığı gözlenmiştir. Organik madde içinde azot 8000 mg/lt ise azot amonyak azotuna dönüşür. Bu engelleyici etkide en önemli rolü amonyum iyonu yerine serbest amonyak azotu oynamaktadır. Serbest amonyak azotu özellikle hidrojen (H₂) ile karbon dioksit gazlarından metan üretimi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Asetattan metan oluşumu üzerine amonyak minimum etki yapmaktadır. Hidrojen (H₂) tüketiminin engellenmesi, propiyonik asitin parçalanmasını zorlaştırır. Buda metanojenik bakterilerin tükettiği asetatların engellenmesi gibi hareket eder.

Hayvan gübresinden biyogaz üreten atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. C/N oranı 15/1 ila 30/1' i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Organik Maddelerin C/N Oranı

	C %Kuru	N %Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
GÜBRE					
Sığır gübresi	30	1.66	18	80-85	1:1
Koyun gübresi	83.6	3.80	22	75-80	1:1
Kümes hayvan gübresi	87.5	6.55	14	70-80	1:3
Domuz gübresi	76	3.8	20	75-80	1:2
At gübresi	33.4	2.3	15	80-85	2:3
Kaz	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin gübresi	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	
Kesim hane atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik gübresi	42	3	14	75-80	
EVSEL VE TARIMSAL ATIKLAR					
İnsan dışkısı	48	6.0	8	50-70	3:7
İdrarlı insan 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	50-60	
Gazete	40	0.05	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	25-40	
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	

C/N hesaplamalarında devamlı kuru madde esas alınır. Enerji üretiminde gübre içindeki su katkısı sıfırdır. Bakteriler organik maddeleri besi maddesi olarak kullanırlar. Optimum C/N oranı farklı organik maddelerin karıştırılması ile elde edilebilir. Sabit karışım sürekli gaz üretimini garanti etmek için gereklidir [33].

3.9 Karıştırma

Çözeltinin yani su ile gübre karışımının homojenliğinin artması biyogaz üretimini arttırmaktadır. Ayrıca zamanla reaktörde çözeltinin üst kısımlarında kabuk bağlama meydana geldiğinden arada bir karıştırma işlemi uygulanmalıdır [33].

3.10 Organik Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı (OYH), birim hacim(m³) reaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı (KOI veya uçucu katı maddelerin (VS) olarak ifade edilir) olarak tarif edilir. Hayvan gübresi içindeki organik madde muhtevası,

$$\text{OrganikMaddeMuhtevası} = \left[\frac{\text{ToplamKatıMadde(g)} - \text{KülünAğırlığı(g)}}{\text{ToplamKatıMadde(g)}} \right] * 100 \quad (3.6)$$

şeklinde bulunur. Anaerobik arıtmada bakteriler organik yükleme hızına karşı oldukça hassastırlar. Anaerobik arıtma için organik arıtma hızı (kg/m³/gün),

$$\text{OYH} = \frac{\text{GünlükDebi} \times \text{UçucuMaddeKons.}}{\text{SıvıHacmi}} = \frac{\text{GübredekiUçucuMad.Kons.}}{\text{HBS}} = \left(\frac{1}{\text{HBS}} \right) \times C_1 \quad (3.7)$$

denklemlerle ifade edilir. Burada C₁: Uçucu Madde Konsantrasyonudur.

Mezofilik şartlarda çalışan reaktörlerde optimum OYH,	
Sığır Gübresi	2.5-3.5 kgUM/m ³ .gün
İlave Besin Maddeli Sığır Gübresi	5.0-7.0 kgUM/m ³ .gün
Domuz Gübresi	3.0-3.5 kgUM/m ³ .gün

alınır.

Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda bio reaktör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da gaz üretim hızını düşürür, hatta durdurur. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer.

Almanya'da yeni kurulan büyük biyo reaktörlerde OYH, 1 kgUM/m³.gün altındadır. HBS (Hidrolik Bekleme Süresi) ise yaklaşık olarak 50 günden büyüktür.

Danimarka'daki bioreaktörler için 12-35 günlük HBS için OYH'ı 1.7-8 kgUM/m³, tür[39].

3.11 Hidrolik Bekleme Süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir. Bunu bir denklemle ifade edecek olursak,

$$HBS = \frac{\text{ReaktörHacmi}}{\text{GünlükDebi}} = \frac{\text{m}^3}{(\text{m}^3 / \text{gün})} \quad (3.8)$$

şeklinde gösterilebilir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir. HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Hayvan gübresinde bulunan organik maddelerin çürümesi;

- Karbonhidratlar
- Yağlar
- Proteinler
- Hemi selüloz
- Selüloz

sırasıyla gerçekleşerek hızlanır. Karbon hidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Sonuç olarak domuz gübresi daha fazla yağ içerdiği için sığır gübresine göre daha kısa sürede çürür. Sığır gübresi daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Mesofilik şartlarda ortalama HBS;

Sıvı Sığır Gübresi	12 ile 30 gün
Saman Yataklı Sığır Gübresi	18 - 36 gün
Sıvı Domuz Gübresi	10 - 25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50 - 80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi	20 - 40 gün

Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Buda biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta biyo kimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir. Dolayısıyla hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir [37].

3.12 Katı Madde Konsantrasyonu

Yaş hayvan gübresini su ile seyrelterek katı madde konsantrasyonunu optimum oran olan %7-%9 seviyesine getirebiliriz. Katı madde konsantrasyonu %15den büyük olduğunda biyogaz üretim veriminde düşüş gözlemlenmiştir [37].

3.13 Hızlandırma

C/N oranını dengelemek ve bakteri faaliyetlerini hızlandırmak için biyogaz reaktörüne çok az miktarda C ve N kaynağı olan maddeler katılmalıdır. Karbon kaynağı olarak şeker pancarı küspesi, reaktör ünitesinin her metrekübüne 70 g/gün olarak ilave edilebilir. Azot kaynağı olarak da hayvan idrarı veya üre ilave edilebilir. Hayvan idrarı için her 3 m³ reaktör hacmine 2 lt, üre içinse her 3 m³ reaktör hacmine bir çay kaşığı kabul edilen ölçülerdir [38].

3.14 Ön Hazırlık

Gübre su karışımının, reaktöre girmeden önce hazırlanmasıdır. Gübrenin parçacık boyutları büyükse makinelerle ezilebilir veya parçalanabilir. Ayrıca homojen karışım elde etmek ve katı madde miktarını %8 dolaylarında sağlamak için gübre su ile belirli oranda karıştırılmalıdır. Örneğin katı madde miktarı % 24 olan bir hammaddenin katı madde miktarını % 8 oranına çekmek için 1kg hammaddeye 3 kg su ilavesi yapmak gerekmektedir. C/N oranını dengelemek için reaktör içerisindeki gübre-su karışımına idrar, mısır silajı ve pH değeri dengelesin diye sönmüş kireç katılıp karıştırma yapılabilir.

3.15 Toksikite

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikro organizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/lt amonyum bakterilerin büyümesini iletirirken 1500 mg/lt amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu

etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir. Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Çizelge 3.4’de verilmiştir. Engelleme seviyesi en yüksek mineral, 40000 mg/lit değeri ile sodyumklorür ve tuzlardır.

Çizelge 3.4 Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/lit)
Sülfat (SO_4^{-2})	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0.05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3.500-5.500
Potasyum (K^{+1})	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2.500-4.500
Magnezyum (Mg^{+2})	1.000-1.500
Mangan (Mn^{+2})	1.500 üzeri

Anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine amonyak konsantrasyonunun olumlu ve olumsuz etkisi Çizelge 3.5’de verilmiştir. Çizelge 3.5’de görüldüğü üzere amonyak konsantrasyonu 3000 mg NH_3 /lit değerinin üzerinde toksik etki oluşturmaktadır.

Çizelge 3.5 Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi.

Konsantrasyon (mg NH_3/lit)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

4. BİYOGAZ TESİSLERİNİN TASARLANMASI

Biyogaz tesislerinin tasarlanması sürecinde gübre miktarının belirlenmesi, belirlenen gübre miktarına ve bekletilme süresine göre reaktör ünitesinin boyutlandırılması yapılmalıdır.

4.1 Gübre Miktarının ve Reaktör Hacminin Belirlenmesi

Hayvan gübreleri içerdikleri zararlı bitki tohumlarının ve patojen mikroorganizmalarının yok edilmesi ve azot-karbon oranının yükseltilmesi amacıyla taze olarak toprağa verilemezler. Gübreliklerde belirli süre bekletilmeleri gerekir. Bu zorunlu bekletilme süresi içerisinde karbon, azot, potasyum ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin önemli bir kısmı kaybolur. Bu kaybın değeri yaklaşık % 30 - 33 kuru madde kaybına karşılık gelmektedir. Gübrenin bu zorunlu bekletilme süresini ortadan kaldırmak ve kayıp olan gübreyi biyogaz olarak geri kazanmak amacıyla hayvansal atıklar aneorobik fermantasyona tabi tutulabilirler. Fermantasyon sonucu elde edilecek olan organik gübrenin diğer bir üstünlüğü de aneorobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır.

Sığırların günlük gübre ve idrar miktarları aşağıdaki regresyon eşitlikleri ile verilmiştir. Eşitlikler 494-599 kg canlı ağırlıklar için geçerlidir.

$$y_1 = 0,028x - 4,70 \quad (r=0,642) \quad (4.1)$$

$$y_2 = 0,157x - 53,2 \quad (r=0,791) \quad (4.2)$$

Burada;

y_1 : Günlük idrar üretimi (kg/hayvan.gün),

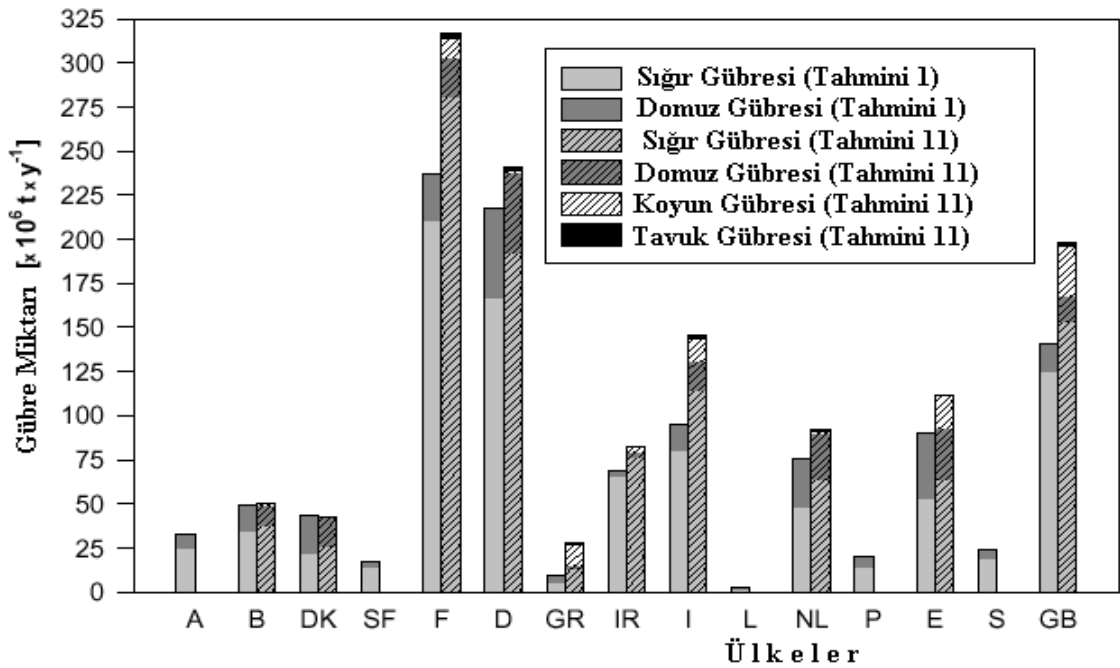
y_2 : Günlük gübre üretimi (kg/hayvan.gün),

x : Hayvan ağırlığı (kg)

Bu eşitliklerden yararlanarak 50 baş hayvandan elde edilebilecek günlük gübre ve idrar üretimi toplamı, hayvan ağırlığı 500 kg alındığında yaklaşık 1730 kg'dır. Gübrenin kuru madde oranı %18 kadardır. Bu gübrenin fermantöre yüklenmeden önce bakterilerin kuru maddeden yararlanabilmesi için kuru maddesinin %9'a indirilmesi gerekir. Bu nedenle taze gübre yarı yarıya sulandırılır.

Biyogaz tesisi dizaynını etkileyen en önemli faktörler, hayvan türü, büyüklüğü, sayısı ve seçilen işletme sıcaklığı (mezofilik veya termofilik sıcaklık şartları)'dır. Bu şartlara bağlı olarak hidrolik bekleme süresi seçilir. Hayvan gübresi miktarı reaktör boyutlandırılmasını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Hayvan türüne, büyüklüğüne bağlı olarak günlük

üretilen gübre miktarı, gübredeki su muhtevası, biyolojik işlem sonucu oluşan biyogaz miktarı ve reaktöre besleme yapılırken seyreltme oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir. 1000 kg ağırlığındaki hayvan veya hayvanlardan günde ıslak bazda 60-80 kg gübre oluşmaktadır. 630 kg ağırlığındaki bir sığırdan günde yaklaşık olarak 50 kg. gübre oluşur. 450 kg. ağırlığındaki bir inekten yaklaşık olarak 36 kg, 45 kg ağırlığındaki koyundan yaklaşık 1.8 kg, 90 kg ağırlığındaki domuzdan yaklaşık 4.5 kg ve 450 kg bir attan yaklaşık 20 kg ve 1.8 kg bir tavuktan yaklaşık 0.09 kg günlük gübre oluşmaktadır. Avrupa Topluluğu ülkelerinde yıllık olarak oluşan tahmini hayvan gübresi miktarı Şekil 4.1’de verilmiştir. Burada sığırların 35 kg, domuzların 5 kg, koyunların 3 kg ve tavukların 0.1 kg günde hayvan gübresi ürettiği kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Avrupa Topluluğu ülkelerinde hayvan gübresi miktarı.

Türkiye için yukarıdaki veriler ile Tablo 4.1’deki hayvan sayıları kullanılarak yıllık olarak oluşan hayvan gübresi miktarı 181.974,765 ton olarak hesaplanır. Bu miktarın içinde tavuk ve domuz gübresi miktarı yoktur. Çünkü bu hayvanlarla ilgili veriye ulaşamadık. Dolayısıyla Türkiye’nin hayvan gübresi miktarı çok daha fazladır. Bu verilere göre Türkiye’nin biyogaz potansiyeli yıllık olarak en az $7.689.528,000 \text{ m}^3$ ($1.79 \cdot 10^{11}$ MJ eşdeğer enerji) tür. Bunun doğal gazla eşdeğeri $1.05 \cdot 10^{11}$ MJ dolaylarındadır. Ülkedeki tavuk, at, keçi ve domuz sayısı hesaba katılırsa bu miktarı çok daha yüksek olduğu anlaşılır.

Çizelge 4.1 Birim gübre ağırlığı başına biogaz oluşumu ve seyreltme oranı.

Hayvan Türü	Nem Miktarı (% Islak bazda)	Fermantasyon sonu bio gaz üretimi (lt/kg)	Seyreltme Oranı (gübre/su)
Sığır	80-85	40	1/1
Domuz	75-80	70	½
Kümes Hav.	70-80	60	1/3
Keçi	75-80	60	2/3
At	80-85	40	2/3
Koyun (45 kg)	75-80	50	2/3
Yetişkin İnsan (çocuk)	75-80 (75-90)	70 (70)	3/7

Anaerobik çürütme reaktörü hacmi (V_d), organik maddelerin hidrolik bekleme süresi (HBS) ve günlük beslenen çamur miktarı (S_d) esas alınarak;

$$V_d(\text{reaktörhacmi}) = \dot{C}_m(\text{m}^3 / \text{gün}) \times \text{HBS}(\text{gün}) \quad (4.3)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada :

\dot{C}_m : Günlük olarak beslenen atık miktarı ($\text{m}^3/\text{gün}$)

HBS: Hidrolik Bekleme Süresi (gün)

Hidrolik bekleme süresi, seçilen çürütme sıcaklığı ile tespit edilir. Isıtmasız biyogaz tesislerinde reaktör içindeki sıcaklık toprak içindeki sıcaklığın 1-2 °C üzerinde alınır.

Psikofilik sıcaklık şartlarında hidrolik bekleme süresi (HBS) 100,

Mezofilik şartlar için (20-35 °C) HBS 20,

Termofilik şartlarda ise (50-60 °C) HBS 8 günün üzerinde alınır.

Mezofilik şartlarda çalışan basit biyo reaktörler için hidrolik bekleme süresi en az 20 gün olmalıdır. Pratik uygulamalar göstermiştir ki bu hidrolik bekleme süreleri 20-100 gün arasında değişmektedir. Reaktör sıcaklığı ile hidrolik bekleme süresine bağlı olarak gaz üretim hızı Şekil 4.2'de verilmiştir. Denklemde ki terimlerin verileri kullanılarak gaz üretim hızı;

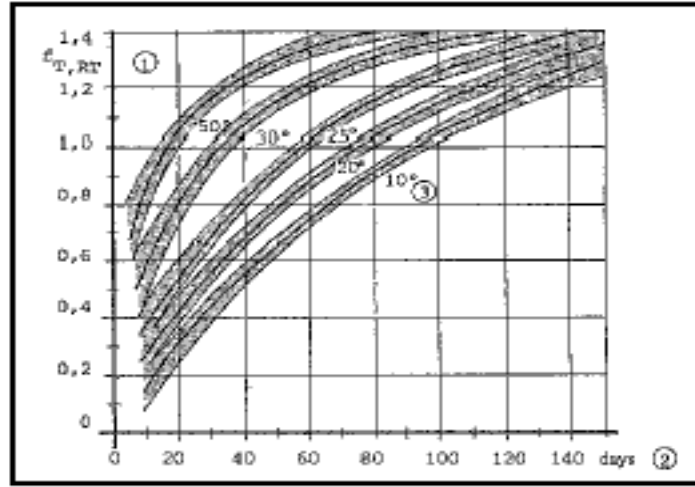
$$GY_{T,RT} = mGy \times f_{T,RT} \quad (4.4)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada;

$GY_{T,RT}$: Reaktör sıcaklığına ve bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi,

mGy : Ortalama spesifik gaz üretimi ,

$f_{T,RT}$: Reaktör sıcaklığına ve bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi için çarpan.



Şekil 4.2 Sıcaklığa ve hidrolik bekleme süresine bağlı olarak gaz üretimi.

(1. Nisbi Gaz Üretimi, 2. Hidrolik Bekleme Süresi, 3. Reaktör Sıcaklığı)

Gübre içerisine ne kadar su ilave edileceği oldukça önemlidir. Çamur içinde katı madde konsantrasyonunun %3-9 arasında olması istenir. Bu konsantrasyonun altında ve üstünde fermantasyon süresi uzar. Çoğu kırsal bölgelerde hayvan gübresi ile birlikte tuvalet atık suları ile karıştırılarak reaktöre verilerek çamur içindeki katı madde konsantrasyonu %3-9 arasında tutulur. Dolayısıyla;

Reaktöre ilave edilecek çamur miktarı = Biyokütle + Su şeklinde bulunur.

Biyokütle reaktöre verilmeden önce belli oranda idrar veya su ile seyreltilir. Bunlara göre çürümenin gerçekleştiği reaktör hacmi tespit edilir. Kurak havalarda hayvan gübresini seyreltmek için hayvan idrarı yeterli olmaz. Bu durumda hayvan gübresinin seyreltilmesi gereklidir. Hayvan gübresini seyreltmede idrar kullanımı tavsiye edilir. Eğer yeterli miktarda idrar yoksa seyreltme için su kullanılır. Hayvan gübresini su ile seyreltme yerine hayvanlara daha fazla su içirerek hayvan idrarının seyreltme amacı ile kullanılması tavsiye edilir. Hayvanın daha fazla idrar üretmesi hem sağlığı hem de daha fazla süt üretmesi açısından önemlidir.

Hayvan gübresi içinde saman ve diğer katı maddeler (kum, kil vb.) bulunabilir. Bu tür maddelerin hayvan gübresinden giderilmesi için reaktöre verilecek hayvan gübresi akışkan hale getirildikten ve katı maddelerin çökmesi sağlandıktan sonra reaktöre verilmesi tavsiye edilir. Reaktörün giriş ve çıkışı ünitesi günlük olarak temizlenmelidir. Tuvalet suları seyreltme amacı ile kullanılacaksa bu sulara çamaşır suyu gibi maddeler kesinlikle karıştırılmamalıdır. Çeşitli hayvan gübresi ve atıklar için reaktörde oluşan gaz miktarı da Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Çeşitli atık türleri için ortalama gaz ürünü.

Besi Maddesi	Gaz Üretim Aralığı (lt/kgUM)	Ortalama Gaz Üretim Değeri (lt/kgUM)
Domuz Gübresi	340 - 550	450
Sığır Gübresi	150 - 350	250
Kümes Hayvanları Gübresi	310 - 620	460
At Gübresi	200 - 350	250
Koyun Gübresi	100 - 310	200
Ahır Gübresi	175 - 320	225
Tahıl Atığı	180 - 320	250
Mısır Samanı	350 - 480	410
Pirinç Samanı	170 - 280	220
Çim	280 - 550	410
Fil Çimeni	330 - 560	445
Bitkisel Atıklar	300 - 400	350
Su Sümbülü	300 - 350	325
Alg	380 - 550	460
Kanalizasyon Çamuru	310 - 640	450

Gaz bölümü hacmi genel olarak V_d/V_g (reaktörde çürüme bölümü hacmi/gaz toplama bölümü hacmi), 3:1 ila 10:1 veya 5:1 ila 6:1 arasında değişir.

Kırsal bölgelerde az sayıda hayvanı olan yerler için bir konutta günlük olarak üretilen hayvan gübresi miktarı belirlenerek biogaz tesisi kapasitesi belirlenir. Günlük olarak oluşan hayvan gübresi miktarına göre gerekli bio reaktör hacmi Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Küçük boyutlu biogaz reaktörü boyutlandırılması

İyimser Senaryo		Gerçekçi Senaryo	
Günlük Gübre Miktarı (kg)	Biogaz Tesisi Kapasitesi (m ³)	Günlük Gübre Miktarı (kg)	Biogaz Tesisi Kapasitesi (m ³)
d<20	0	d<25	0
20≤d<37.5	1	25≤d<50	1
37.5≤d<62.5	2	50≤d<75	2
62.5≤d<87.5	3	75≤d<100	3

200 inek besleyen bir çiftlikte günde 200 sığır*62 lt/gün/inek = 12400 lt.gübre/gün oluşur. Gübreyi reaktöre vermeden akışkan hale getirmek için eğer hayvan idrarı gübreye karıştırılıyorsa hayvan başına 11.5 litre su ile karıştırmak yeterlidir. Buna göre günde gerekli su miktarı 200 inek*11.5 litre/gün/inek = 2300 litre/gündür.Reaktöre verilecek seyreltilmiş hayvan gübresi miktarı 12400 litre gübre/gün+2300 litre su/ gün = 14700 litre/gündür. Biyo reaktördeki hidrolik bekleme süresi 20 gün ise buna göre gerekli biyoreaktör hacmi;

14700 litre/gün*20 gün = 294000 litre olur.

Gaz toplama bölümü, V_d/V_g , 5:1 olarak alınırsa gerekli reaktör yüksekliği 460 cm, çapı 1000 cm alınarak reaktör hacmi 362 m^3 olarak bulunur.

4.2 Biyogaz Miktarının Hesaplanması

Anaerobik arıtmada biyogaz miktarının hesaplanması hayvan türüne, günlük olarak oluşan gübre miktarına ve gübre içindeki uçucu katı madde miktarına bağlı olarak değişir. Gübre içinde bulunan organik madde türü biyogaz oluşumunu etkiler. Organik maddenin yaklaşık olarak %50'sinin biyogaza dönüşeceği kabul edilir. Biyoreaktörün gaz toplama bölümünün hacmi en az bir günlük gazı depolayacak kapasitede olmalıdır. Birim hayvan ağırlığı başına anaerobik reaktörlerde üretilen biyogaz miktarı çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Hayvan başına üretilen biyogaz miktarı.

Hayvan Türü	Biyogaz Üretimi	
	$\text{m}^3/\text{gün}/1000 \text{ kg. hayvan ağırlığı}$	$\text{m}^3/\text{gün}/\text{m}^3 \text{ reaktör hacmi}$
İnek	3.28	1.1
Sığır	2.66	1.3
Domuz	2.62	1.1
Kümes Hayvanı	6.21	1.3

Az sayıda hayvanı olan bir yerleşimde günde 4 m^3 biyogaz üretmek için Çizelge 4.4'de verilen verilere göre yaklaşık olarak günlük 100 kg sığır gübresine ihtiyaç vardır. 610 kg ağırlığında bir sığır günde yaklaşık olarak 50 kg gübre üretir. Bu kadar biyogazı üretmek için 2 adet sığıra ihtiyaç vardır. Sığır gübresi biyoreaktöre konmadan önce 1/1 oranında su ile seyreltilir. Buna göre günde biyoreaktöre konması gerekli çamur miktarı 200 kg'dır. Çamurun biyoreaktörde hidrolik bekleme süresi 20 gün ise buna göre gerekli biyoreaktör hacmi $0.2*20 = 4 \text{ m}^3$ olur. Bu hacim, sadece gaz toplama bölümü hariç çamur kısmının hacmidir.

Anaerobik biyogaz reaktörlerinde gaz bölümü hacmi çürüme bölümü hacmine göre belirlenebilir. Yani V_d/V_g oranı 3:1 ila 10:1 arasında alınabilir. Fiili uygulamalarda bu oran 5:1 ila 6:1 arasında alınır. Daha pratik bir ifade ile günlük olarak oluşan gazın %40-60'nı depolama kapasitesine sahip olmalıdır. Bazı biyogaz tesislerinde reaktörün hacminin %10-20'sini gaz toplama hücresi oluşturmaktadır. Buna göre reaktör hacmi gaz toplama bölümü dahil 4.8 m^3 olmalıdır.

4.3 Biyogaz Reaktör Modelleri

Biyogaz reaktör modelleri iki grup altında toplanabilir.

1. Küçük Hacimli Reaktörler
2. Büyük Kapasiteli Reaktörler

Az sayıda hayvan besleyen yerleşimlerde, küçük kapasiteli ve basit biyoreaktörler kurulmaktadır. Bu tesisler daha az işletme maliyeti gerektirir. Çok sayıda hayvan yetiştiriciliği yapılan çiftliklerde ise daha büyük ve teknolojik bio reaktör tesisleri kurulmaktadır. Tüm reaktörler hava sızdırmaz olmalıdır. Reaktörde oluşan biogaz kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörler yalıtılarak ortam sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörlerde sıcaklık değişimleri önlenmelidir.

4.3.1 Küçük hacimli reaktörler

Dünyada yoğun olarak kullanılan dört tür reaktör vardır. Bunlar:

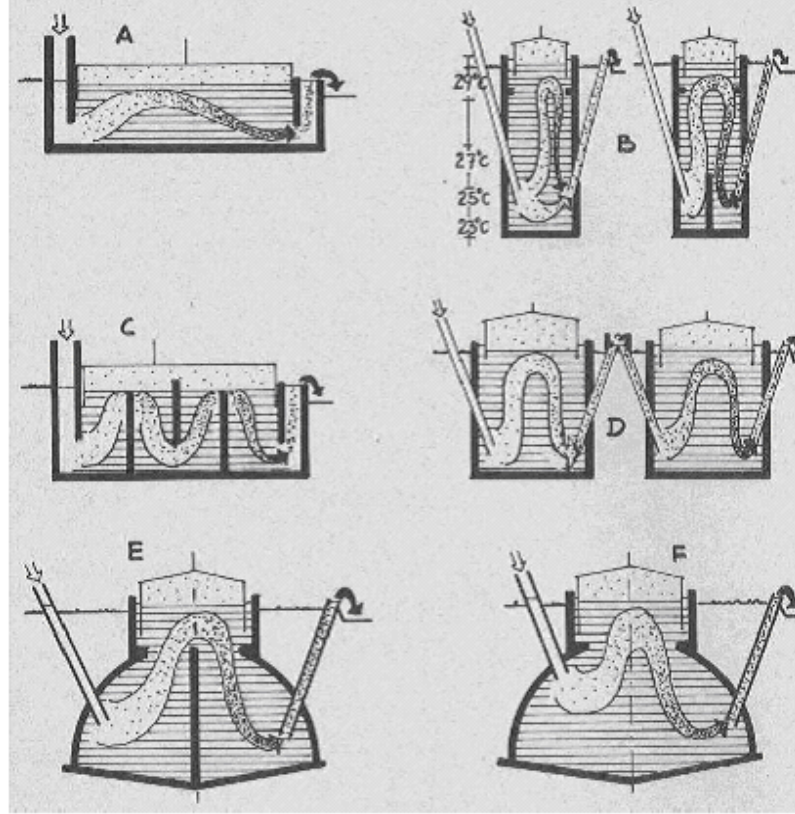
1. Yığın Tipi,
2. Sabit Çatı Çin Tipi,
3. Yüzer Kapalı Hindistan Tipi
4. Torbalı Tip

Çin ve Hindistan tipi modeller en yoğun kullanılan türlerdir. Son zamanlarda maliyetinin düşüklüğünden dolayı bazı ülkelerde Torba Tipi (Tayvan, Çin) reaktörlerin popülaritesi hızla artmaktadır.

Anaerobik reaktörlere hayvan gübresi verilmeden önce belirli oranlarda seyreltilmesi ve besi maddesi ile doldurulması gereklidir. Anaerobik reaksiyon sonucu gaz üremeye başladıktan sonra gaz odasında gazlar toplanır. Gazların toplandığı bölümde gaz basıncı yükselir. Su ile günlük olarak seyreltilen taze gübre günlük olarak reaktörde beslenir. Besleme borusunda bekleme süresi esnasında organik maddeler fermente olabilir. Fermente olmuş organik maddeler çıkış borusu arasından gaz basıncı ile çamur tankına itilir. Biyo reaktörlerde besi maddelerinin hareketi Şekil 4.3’de görüldüğü gibi olur.

Besin giriş ve çıkışını sağlayan giriş çıkış boruları, dik açıyla çürütücü içine doğru düz bir şekilde uzatılır. Sıvı besi maddesi için boru çapı 10-15 cm olmalıdır. Lifli substratlar için bu değer, 20-30 cm civarındadır. Giriş çıkış boruları çoğunlukla plastik veya beton malzemelerden yapılmaktadır. Pozisyonları serbest, erişilebilir konumda ve düzlükte olmalıdır. Borular, çürütücü duvarında en düşük çamur seviyesinin altında bir noktada olmalıdır. Gaz deposuna

doğru olmamasına dikkat edilmelidir. Bu bağlantı noktaları harç ile kuvvetlendirilmeli, çatlama ve delikler engellenmelidir. Giriş borusu, çıkış borusundan daha yüksek bir noktada tanka temas etmelidir. Burada amaç, substrat akımının daha uniform ilerlemesini sağlamaktır.



Şekil 4.3 Biyogaz reaktörlerinde besi maddesi hareketi.

Küçük çaplı biyogaz reaktörler;

- Hayvan gübresinin kolay taşınacağı,
- Seyreltme suyuna yakın,
- İçme suyu kaynağından 15-20 metre uzak,
- Bina temelinden en az 2-3 metre uzak,

yerlere kurulmalıdır. Sabit çatılı ve yüzeyli çatılı reaktörlerde çürümüş çamurun çıkış borusu tabandan itibaren 30-40 cm yukardan olmalıdır. Yüzeyli çatılı reaktörlerde çürümüş çamur çıkışı reaktör duvarından en az 8 cm aşağıda olmalıdır. Aksi durumda reaktör etrafından çamur sızıntısı olur. Küçük hacimli reaktörlerde besi maddesi içindeki kum, taş gibi maddelerin reaktöre girişini önlemek için besleme girişi, karıştırma bölümü tabanından 3-4 cm yukarıda olmalıdır. Silindirik besleme tankları hem ucuz hem de daha iyi karıştırma yapmak mümkündür.

Besleme tankı sabahleyin gübre ile doldurulur ve üzeri şeffaf plastik malzeme ile örtülerek güneş ışığı ile ısınması sağlanır ve akşamüzeri kapatılır, vana açılır ve besleme yapılır.

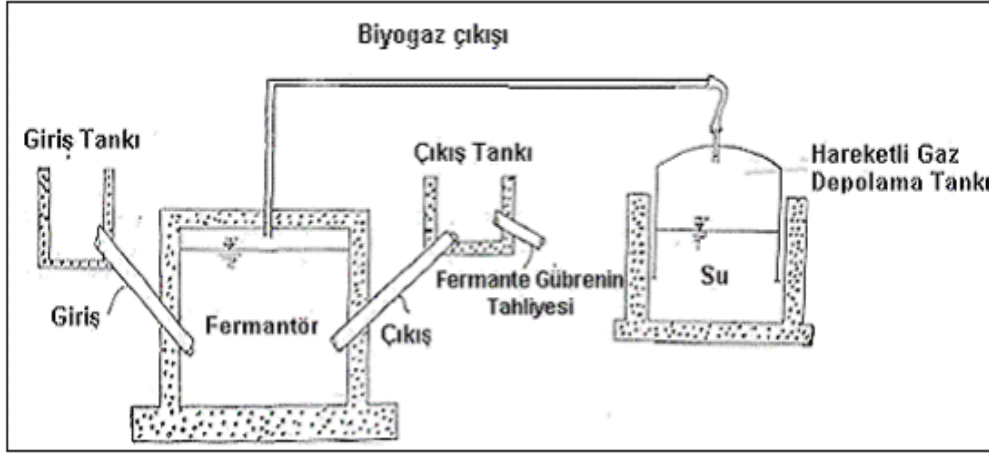
Besleme borusunun girişi, besi maddesinin reaktörün taban ortasına gelecek şekilde yapılması gereklidir. Su ceksiz yüzeyli çatılı reaktörlerin kenarları 2.5 mm ve tepesi 2 mm et kalınlığında çelik levhadan yapılabilir. Bu levhalar korozyona karşı korunmalıdır. Korozyona karşı çatı boyanmalıdır. Çatı 2.5 cm et kalınlığında demir destekli betondan da yapılmaktadır.

Çatı hafif eğimli olmalıdır. Çatı malzemesinin üst örtü malzemesi kesilirken 2 cm fazla olacak şekilde kesim yapılarak, üst örtü 2 cm dışarı sarkmalıdır. Böylece yağmur suyunun reaktöre girmesi önlenmiş olur. Yüzer çatı gaz tutucu, sabit kubbe gaz tutucu, plastik ve ayrı gaz tutucular olmak üzere dört tip gaz tutucu bölme mevcuttur.

Yüzer çatı gaz tutucular; pek çoğu 2-4 mm kalınlıkta çelik tabakadan yapılmaktadır. Önemli ölçüde korrozif etkilere karşı koymak için kenar kısımları, tepe bölgesinden daha kalın inşa edilmektedir. Yüzer çatı döndüğü zaman, yüzeyde oluşan köpüğü dağıtmaya yarayan L şeklinde çubuk desteği, aynı zamanda yapının stabilitesini de sağlamaktadır. Bir çatı kılavuzu ile gaz bölümü dengede tutulur ve bu kılavuz ile eğilmelere karşı da dirençli bir yapı sağlanmış olur. Sıkça kullanılan iki tip çatı kılavuzu vardır: Beton gömmeli bir çapraz direk ile sabitlenmiş boru kılavuzu ve giriş kolu ağaçtan yahut çelikten yapılmış üç adet bacakla desteklenmiş dış çatı kılavuzudur. Her iki tasarımda da çatının dönebilmesi için çok büyük kuvvet gerekmektedir. Özellikle yüzer köpükten oluşan ve ağır olan tabaka içine saplanma söz konusu olduğunda, hacmi 5 m³'ü geçen herhangi bir gaz tutucu, iç ve dış olmak üzere iki çatı kılavuzuyla desteklenmelidir. Tüm çelik yapılarda, içte ve dışta neme duyarlı bu nedenle de paslanmaya açık bir durum söz konusudur. Bu sebeple uzun ömürlü olması istenen yapılarda şu yüzey koruma özellikleri sağlanmalıdır:

- a) Tam olarak paslanmaz ve kirlenmez bir yapı
- b) En az iki tabaka astar giydirme
- c) Ziftli boya (bitumin) ya da plastikten 2-3 örtü tabaka

Örtü tabakalar her yıl uygulanabilir olmalıdır. Metalden yapılmış bir gaz tutucu bölme, nemli bölgelerde 3-5 yıl ve kuru iklimlerde ise 8-12 yıl süreyle kullanılabilirler. Herhangi bir gaz sızdırmaz malzeme seçiminde, standartlara uygun alternatif çelik, galvaniz, metal, plastik vs. yapılar dikkate alınmalıdır. Su ceketli (su üzerine dökülmüş yağ filmi kullanıldığında) gaz tutuculardan oluşan tesisler, uzun ömürlüdür.



Şekil 4.4 Hareketli gaz depolama tankı.

Sabit kubbeli gaz tutucular; Silindirik çürütücünün konik tepesi ya da yarımküre şeklindeki çürütücünün en üst kısmı, sabit kubbeli gaz bölmesinden oluşmaktadır. Çürümüş çamur hacmi ile gaz toplama bölümü hacmi, bekletme süresi içerisinde yer değiştirir. İşletme ve tasarım aşamasında aşağıdaki konular göz önüne alınmalıdır:

- Tesisin taşmasını engellemek için, içte ve dışta, dengeleme tankının taşma boruları olmalıdır.
- Gaz borusunun tıkanmaması için, gaz çıkışı, taşma seviyesinden yaklaşık 10 cm daha yüksekte olmalıdır.
- Yeterli ters basınç sağlamak için, tesis kafi derecede toprakla örtülmelidir.

Taş, beton yapılar harç katkısıyla ya da katkısız, gaz sıkıştırmaz değıllerdirler. Gaz sıkışmazlığı sadece iyi giydirme yapılarıyla ve dikkatli işçilikle sağlanabilir. Denenmiş bazı giydirme malzemeleri aşağıda verilmiştir:

- Çok katlı bitum (zift); soğuk uygulanır (sıcak uygulandığında yanma, zehirlenme, patlayıcı buhar oluşumu, çözücülerin zararı gibi tehlikelere sahiptir). İki ya da dört kat giydirme yapılabilir.
- Alüminyum folyolu zift; yapışkan haldeki zifte, ince tabaka halinde alüminyum folyo uygulanır bunu, ziftin ikinci giydirmesi takip eder.
- Plastikler; epoksi reçine ya da akri boyama bunlara örneklerdir. Çok iyi fakat pahalıdır.
- Parafin (gaz yağı), %2-5 kerosen ile seyreltilmiş 100 °C'ye ısıtılmış ön sıcaklıklı taşa uygulanır.

- e) Su geçirmez elementlerle desteklenmiş çok katlı sıvalı yapı tesis çalıştırılmadan önce, bir basınç testine tabi tutulur.

Plastik gaz tutucular; Plastik tabakadan yapılan gaz tutucular, diğer gaz tutucuların yaptığı işi yapmaktadır. Gaz bölümüne transfer olan elementler, balondan ya da torbadan yapılan gaz depolama bölümünde tutulurlar.

Ayrı gaz tutucular; Düşük basınçlı, ıslak-kuru gaz tutucular (10-50 mbar), pahalı ve uzun mesafelerde (en az 50-100 m) kullanılırlar. Plastik gaz tutucularla özdeşirler. Orta ve yüksek basınçlı gaz tutucular (8-10 bar/200 bar), küçük ölçekli tesislerde kullanılmaktadırlar. Yüksek basınçlı gaz deposu çelik silindirler içindedir (taşıtların yakıt depoları gibi).

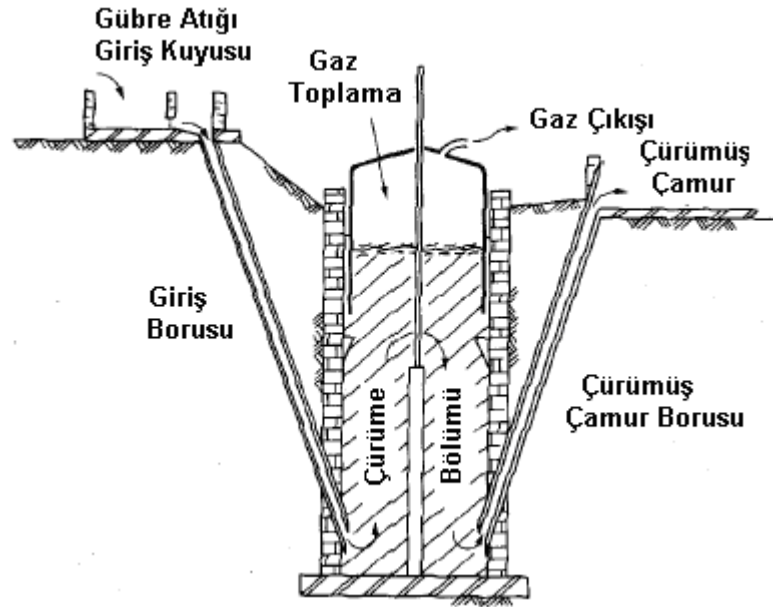
4.3.1.1 Yüzer çatılı Hindistan tipi biyogaz reaktörleri

Yüzer Çatılı Hindistan tipi reaktörler esas olarak çürüme ve gaz toplama bölümü olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Reaktör yer altına yerleştirilir. Böylece reaktördeki ısı değişiminin meteorolojik şartlardan minimum etkilenmesi sağlanır. Reaktörün tabanı ve duvarları briket veya betonarme malzemelerden yapılabilir. Besleme atığının yapısına bağlı olarak derinliği 3.5 metre ile 6 metre, çapı ise 1.3 m ile 6 m arasında değişir. Çoğu reaktörlerde gaz üretim kapasitesi 6 ila 8 m³/gün ve gaz üretim hızı ise 0.32-0.34 olarak değişir. Reaktöre gelen çamuru giden çamurdan ayıran merkezi bir duvar vardır. Besleme yarı sürekli olarak yapılmaktadır. Gelen kısmın hacmi çıkan kısmın hacmine eşittir.

Gaz toplama bölümünün malzemesi genelde yumuşak demirdir. Korozyon probleminden dolayı bu bölümde son zamanlarda polietilen ve fiber glastan malzemeler kullanılmaktadır. Gaz toplama bölümünün hacmi, reaktörde günlük olarak oluşacak gaz miktarının en az %50'sini depolayacak kapasitede olmalıdır. Reaktörde günlük olarak oluşan gaz, gaz toplama bölümünde toplanır. Gaz basıncı, çatı ağırlığı ile eşdeğer olmalıdır. Çatılar korozyona dayanıklı demir destekli fiberglas veya plastik destekli ham demirden yapılabilir. Genelde çatılar demir destekli fiber glass plastiklerden yapılmaktadır. Gaz toplayıcı ağırlığı toplama alanında 90 kg/m² basınç verecek şekilde dizayn edilmelidir. Bu basınç, gazın ev aletlerine girmesini sağlaması için yeterlidir. Ham demir inşaat maliyetinin %40-50'sini oluştururken demir destekli fiber glas plastikler %5-10'unu oluşturmaktadır.

Bu tür reaktörlerde hidrolik bekleme süresi bölgenin meteorolojik şartlarına ve reaktörün yalıtılmasına bağlı olarak 30- 50 gün arasında değişir. Sıcak iklim bölgelerinde bu süre kısalabilir.

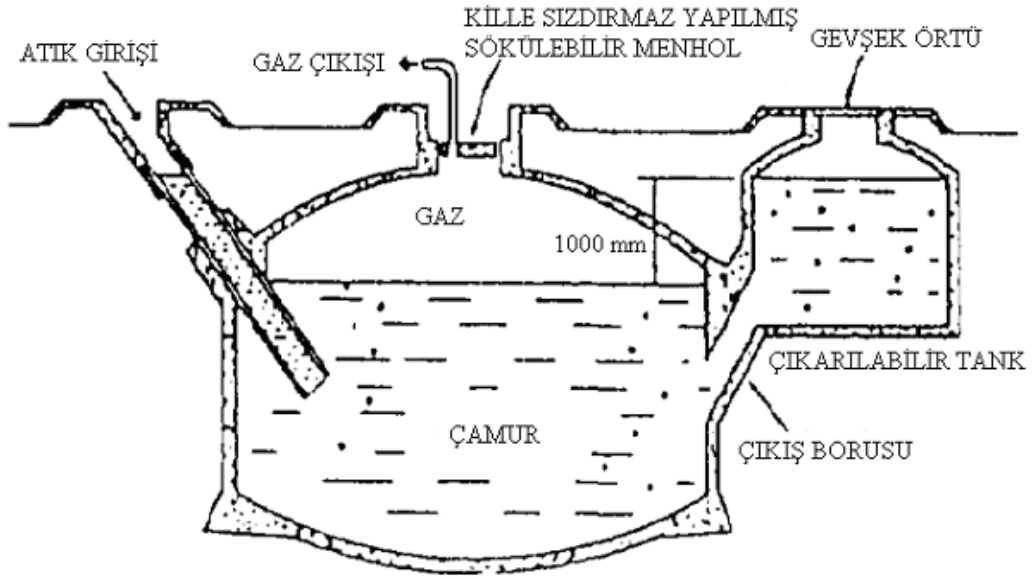
Genelde sığır gübresi besi maddesi olarak kullanılır. Su sümbülü gibi maddelerde gübre içine karıştırılarak kullanılabilir. Sulandırılmış gübrenin reaktöre giriş kısmı çıkıştan daha yüksek olmalıdır. Böylece çürütülmüş çamur üzerine hidrostatik basınç oluşumu sağlanmış olur. Reaktör iki bölüme ayrılarak taze gübre ile sindirilmiş gübrenin kısa devre yapması önlenir. Reaktör ortamında akışkanlık sağlanır. Çürümüş çamur yükselerek diğer bölüme geçer. Bu modelin benzeri Hindistan'da 80.000 adet kurulu durumdadır.



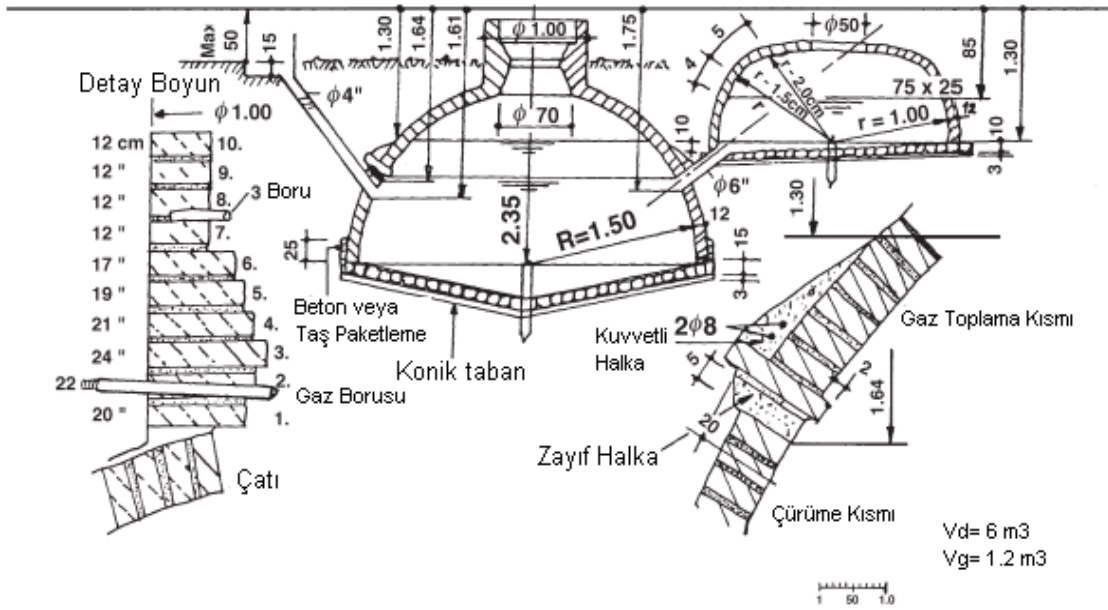
Şekil 4.5 Yüzer çatılı biyoreaktörler.

4.3.1.2 Sabit çatılı Çin tipi reaktörler

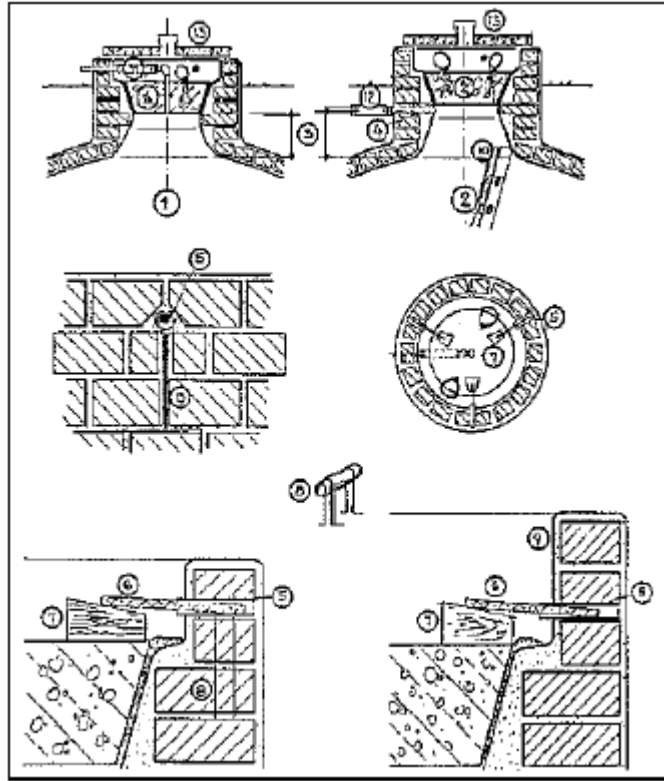
Sabit çatılı Çin modeli reaktör, Çin orijinelidir. Reaktör briket, taş veya betondan yapılmış gaz sızdırmaz odadan ibarettir. Reaktörler, dikdörtgen, silindirik, küresel ve elips şekilde inşa edilir. Reaktörlerin tepesi, kubbe şeklindedir. Çatı (kubbe) altında gazın birikmesi için yükselen basınçla gazın birikmesi sağlanacak şekilde düzenlenir. Çatı hava sızdırmaz olmalıdır. Bu işlemden gaz sızıntısı önemli bir problemdir. Şekil 4.6'da eğik tabanlı biyoreaktörler verilmiştir.



Şekil 4.6 Sabit çatılı çin tipi reaktörler.

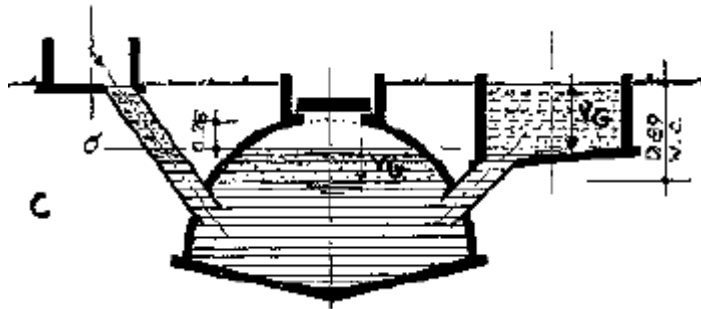


Şekil 4.7 7.2 m³ Reaktörün detay projesi.



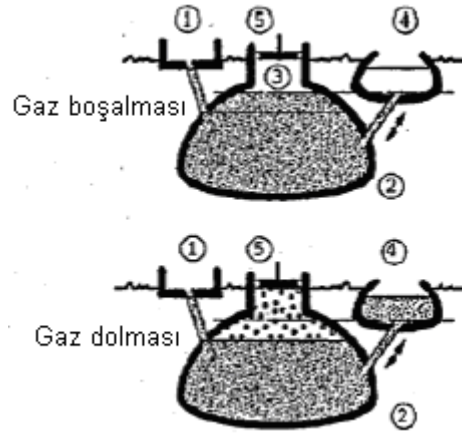
Şekil 4.8 Sabit çatili reaktörlerde çatı detayı.

Sıvı gübre giriş borusunun iç çapı 10 cm, çıkış borusunun iç çapı ise 15 cm olmalıdır. Çıkış borusu daima giriş borusundan daha geniş olmalıdır. Bu tür reaktörlere besi maddesi beslenmesi, domuz veya büyük baş hayvan gübresi, su sümbülü, insan dışkısı ve tarımsal atıklar verilebilir. Karışımda C/N oranı istenen limitleri sağlamalıdır. Sıkıştırma tankının taban seviyesi çürüme tankının dolu haldeki seviyesinde olmalıdır. Sıkıştırma tankı hacmi gaz depolama hacmine eşit olmalıdır. Çürüme tankının dolu olduğu seviye ile biogazın deşarj kısmı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 25 cm olmalıdır. Dolayısıyla sıkıştırma tankı yüksekliği doğru olarak seçilmelidir.



Şekil 4.9 Sıkıştırma tanki yüksekliğinin doğru seçilmesi.

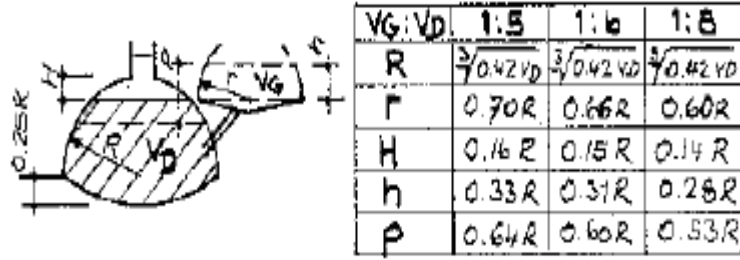
Gaz üretim hızı, 25 °C sıcaklıkta 60 gün hidrolik bekleme süresinde günde birim hacim reaktörden 0.1-0.2 hacim biogaz üretilir. Reaktörde gaz basıncı 120 cm.H₂O eşit veya altındadır. Burada anahtar nokta reaktör çapının silindirin yüksekliğine oranı 2:1 olmalıdır. Bu oldukça yüksek yapı malzemesi gerektirir. Reaktörün tabanının ve tepesinin yarı silindirik olması bu yüzdendir. Biogazın sabit hızda gelmesi isteniyorsa gaz basıncı regülatörü veya yüzebilir gaz haznesi kullanılmalıdır. Gaz depolama bölümü ve bağlantı elamanları gaz sızdırmaz olmalıdır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi oluşan biogaz reaktörün üst kısmında birikir. Gaz birikmeye başladıkça tanktaki çamurla yer değiştirir. Gaz basıncı iki çamur tankında seviyedeki artışla orantılı olarak biogaz miktarı artar.



Şekil 4.10 Sabit çatılı reaktörlerde gaz dolması ve boşalması.

(1. Karıştırma havuzu, 2. Reaktör, 3. Gaz toplama bölümü, 4. Yer değiştirme havuzu, 5. Gaz borusu)

Çinde 5 milyon adet 6, 8, 10 m³ lük bu model reaktör bulunmaktadır. En küçük boyutlu olan 5 m³ dür. 200 m³ kapasiteli tesisler yapılabilir. Bu tür reaktörler yarı sürekli olarak beslenir. Günde bir defa besleme yeterlidir. Sığır veya domuz gübreleri için hidrolik bekleme süresi 35-40 gündür. Toplam katı madde konsantrasyonu %5-8 veya %7 dir. Sabit çatılı reaktörlerin boyutlandırılması ile ilgili veriler Şekil 4.11'de verilmiştir.

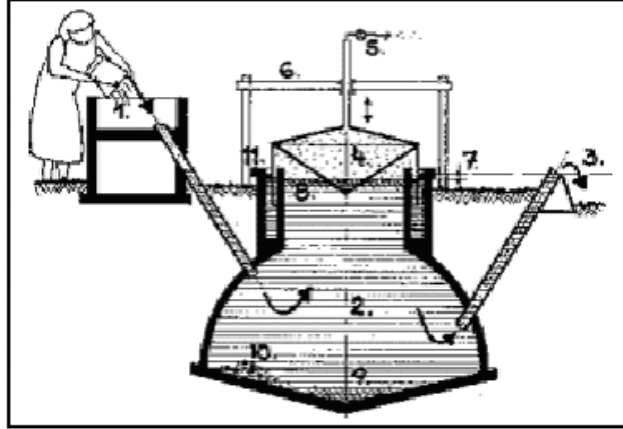


Şekil 4.11 Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması.

4.3.1.3 Yüzer çatı tipi reaktörler

Yüzer çatı tipi reaktörler çürüme bölümü ile gaz depolama bölümünden oluşmaktadır. Gaz toplama bölümü su içinde hareket halindedir. Gaz oluştuğunda gaz toplama bölümü yukarı doğru hareket eder. Gaz tüketildikçe bölüm aşağı doğru iner (Şekil 4.12).

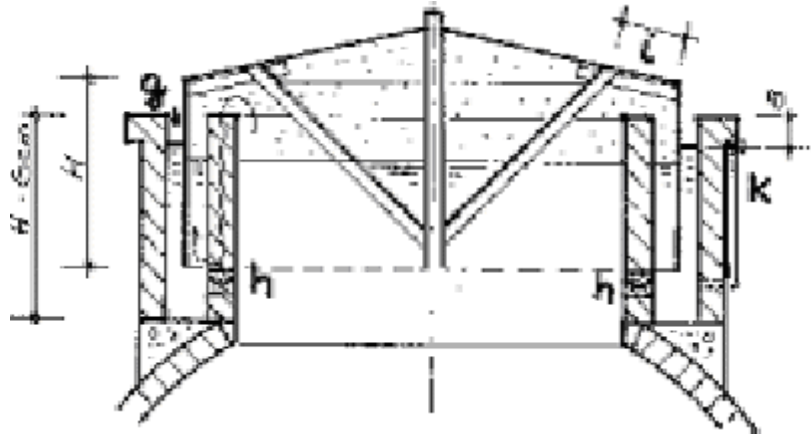
Gaz toplama bölümü normal olarak metaldir. Çatı malzemesi genellikle 2-2.5 mm et kalınlığında çelik olabilir. Çatı malzemesi olarak son zamanlarda cam elyafı fiberle güçlendirilmiş plastik veya yüksek yoğunluklu polietilen de kullanılmaktadır. Maliyeti çeliğe göre biraz pahalıdır. Gaz toplama bölümünü PVC'den yapmak sağlıklı değildir. Çünkü PVC zamanla bozunmaktadır. Gaz toplama bölümü balon tipinde de yapılabilir. Böylece inşaat maliyeti düşürülebilir. Reaktör briket, taş veya betondan yapılmış gaz sızdırmaz odadan ibarettir. Reaktörler, silindirik, küresel ve elips şekilde inşa edilmektedir. Bu tür reaktörler kolayca inşa edilebilmektedir. Bu tür reaktörlerin boyutları küçük kapasiteliler için 5-15 m³ arasında değişir. Sanayi tipi tesislerde ise 20-100 m³ arasında değişmektedir. Bu tür reaktörlerde ana besin maddesi sığır gübresidir. Sığır gübresi ile birlikte su sümbülü de besi maddesi olarak kullanılabilir. Yüzer çatı tipi reaktörleri kurmak kolaydır. Biyogazı sabit basınçta depolamak mümkündür. Gaz sızdırmazlık problemi yoktur. Gaz toplama bölümü kolayca boyanabilir. Gaz toplama bölümü mavi veya beyaz yerine siyah veya kırmızıya boyanırsa gaz üretimi daha fazla olabilir. Çünkü güneş ışığının absorblanması ile gaz üretimi artar.



Şekil 4.12 Hareketli kubbe tipi reaktör.

(1. Çamur karıştırma ve çamur girişi, 2.Reaktör, 3. Çürümüş çamur çıkışı, 4. Gaz depolama bölümü, 5. Vanalı gaz çıkış borusu, 6. Gaz hücresi destek yapısı, 7. Gaz basıncındaki fark, 8. Yüzebilir atıklar, 9. Çamur birikintisi, 10. Taş, kum birikintisi, 11. Yağ filmlı su ceketı)

Yüzebilir çatı su ceketı içinde kolayca yukarı aşağı hareket edebilmelidir. Su ceketı yüzeye kadar su ile doldurulmalıdır. Dış kısma suyun buharlaşmasını önlemek için kullanılmış yağ konmalıdır. Ceket içi sürekli kontrol edilerek su ile dolu tutulmalıdır. Aksi durumda gaz toplama yüzeyi azalır. Su ceketinin içinin kolayca temizlenebilmesi için yeterli ölçüde geniş olmalıdır. Yağmur suyunun uzaklaştırılmasına yardım etmelidir.

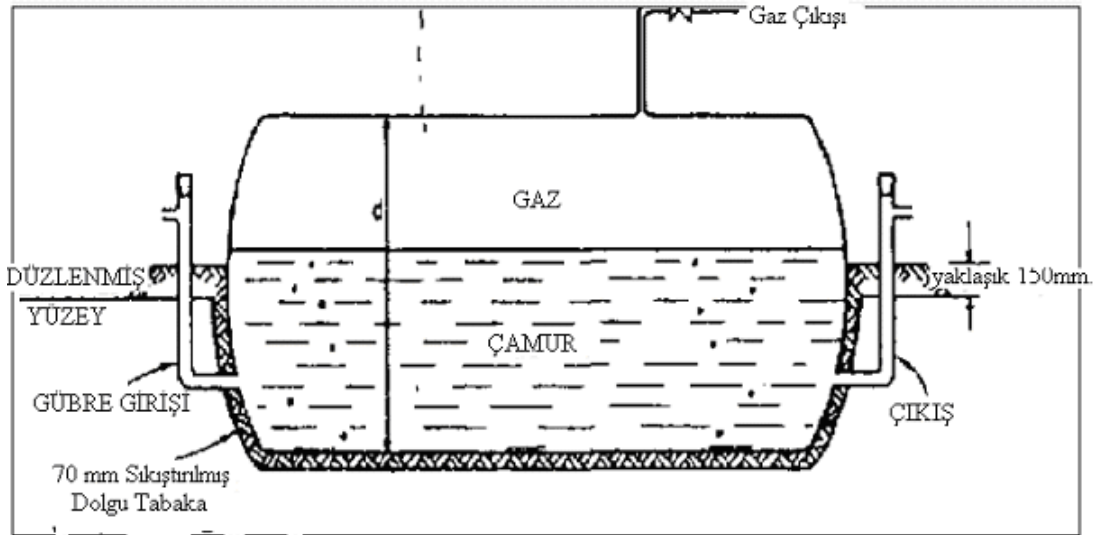


Şekil 4.13 Yüzer çatının detayı.

Gaz toplama boruları çelik, bakır, lastik veya set PVC olabilir. Lastik ve PVC'ler güneş ışığından etkilenerek çabuk bozunabilirler.

4.3.1.4 Torba tipi (Tayvan- Çin) reaktörler

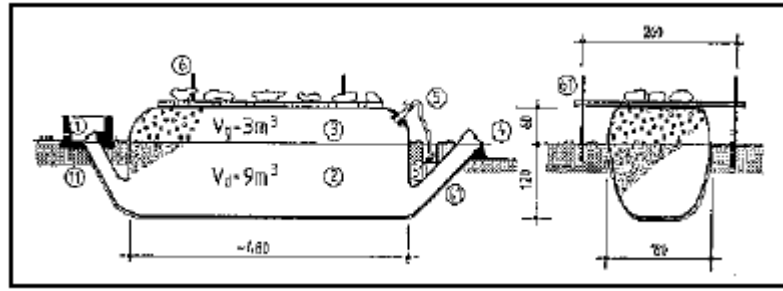
Bu tür reaktörler PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı=3/14) olan silindirlerdir. Bu tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır. Hayvan ahırına yakın yere kolayca inşa edilebilir ve yere belli derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Besleme girişi, reaktörde yaklaşık 40 cm- H₂O basıncını muhafaza edecek şekilde düzenlenir. Bu tür reaktörler, biyogazın ayrı olarak depolandığı, piston akımlı bir reaktör (karıştırmasız) gibi hareket eder. Kolay inşa edildiğinden dolayı Çin'de torba tipi reaktörlerin birim m³ bedeli 25 ila 30 USA dolarıdır. Dolayısıyla torba tipi reaktörler çok rekabet edebilir durumdadır. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin'de bu reaktörler hızlı şekilde gelişmeye başlamıştır. Kore, Tayvan ve Fiji'de yaygın kullanılan reaktörlerden biridir. Domuz atıkları için bu tür reaktörlerde bekleme süresi sıcak iklim bölgeleri için 20 gün (30 ila 35 °C). Soğuk iklim bölgelerinde (15-20 °C) 60 gündür. Reaktör duvarı ince olduğundan havaya doğru olan açık kısmı, güneş ışığı ile kolayca ısınabilir. Böylece bekleme süresi kısaltılabilir. Dolayısıyla gaz üretimi %50-300 artırılabilir (0.24-0.6 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün). Yazın Kore'de gaz üretim hızı, 0.7 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün iken, kışın bu değer 0.14 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün'e düşmektedir.



Şekil 4.14 Torba tipi (Tayvan-Çin) reaktörler.

4.3.1.5 Balon tipi reaktörler

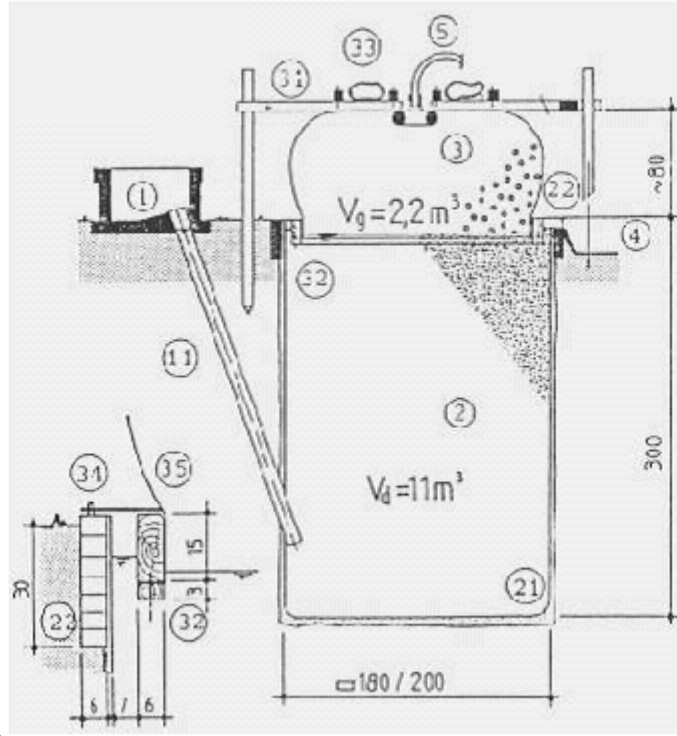
Balon tipi reaktörler plastik veya lastik karışımı malzemelerden yapılmaktadır. Gaz reaktörün üst kısmında depolanır. Giriş ve çıkış balonunun yüzeyine direk bağlıdır. Gaz balon yüzeyinde biriktiği zaman yerleşmeye başlar ve gaz basıncı artar. Reaktörde gaz dolduğu zaman tesis sabit çatılı reaktör gibi çalışır. Balon şişirilmemelidir. Çok elastik değildir. Gaz depolama bölümünde yeterli basınç ağırlık esasına göre sağlanır. Reaktörde aşırı basınç oluşumu önlenmelidir. Aksi durumda bu olay reaktör malzemesine zarar verebilir. Bunun için emniyet vanası kullanılmalıdır. Fermantasyon çamuru balon yüzeyinin hareketi ile hafifçe sallanabilir. Bu işlem çürüme için çok uygundur. Balon malzemesi güneş ışığına karşı dayanıklı olmalıdır. Faydalı kullanım ömrü 2-5 yıldır. Plastik balonların ömrü, mekanik araçlardan hasar görebileceği için, nispeten daha kısadır. Maliyeti oldukça düşüktür.



Şekil 4.15 Yatay balon tipi reactor.

(1. Karıştırma haznesi, 11. Doldurma Borusu, 2.Reaktör, 3. Gaz Depolayıcı, 4. Çamur Depolama, 41. Çıkış Borusu, 5.Gaz Borusu, 51. Su Tutucu, 6. Ağır Yük, 61. Destek Çerçeve)

Duvar tipi reaktörler, stabil topraklarda (kırmızı kil) gerekli değildir (Şekil 4.16). Sıvama işleminden kaçınmak için ince çimento tabakası ile çukur astarlamak yeterlidir. Çukurun uçlarını beton halkaları ile güçlendirmek gerekir. Böylece halkalar gaz toplayıcı için kızak gibi hizmet verir. Gaz toplama bölümü demir veya plastik levhalardan olabilir. Eğer plastik levha kullanılacaksa plastik levha çamur içinde aşağı doğru uzanan ve sınırları belirlenmiş dairesel tahta çerçeveye bağlanır. Gaz toplama bölümünde yeterli gaz basıncı sağlanabilmelidir. Yeterli gaz basıncı gaz haznesi üzerine yeterli ağırlık konarak başarılabilir. Dairesel duvardaki oluklar çürümüş çamur çıkışı olarak kullanılabilir. Tesisi su tabakası üzerindeki geçirimsiz tabaka üzerinde inşa edilmesi tavsiye edilir. Yüzer çatılı reaktörlere göre inşaat maliyeti 1/5 oranında daha düşüktür. Faydalı kullanım ömrü kısadır.



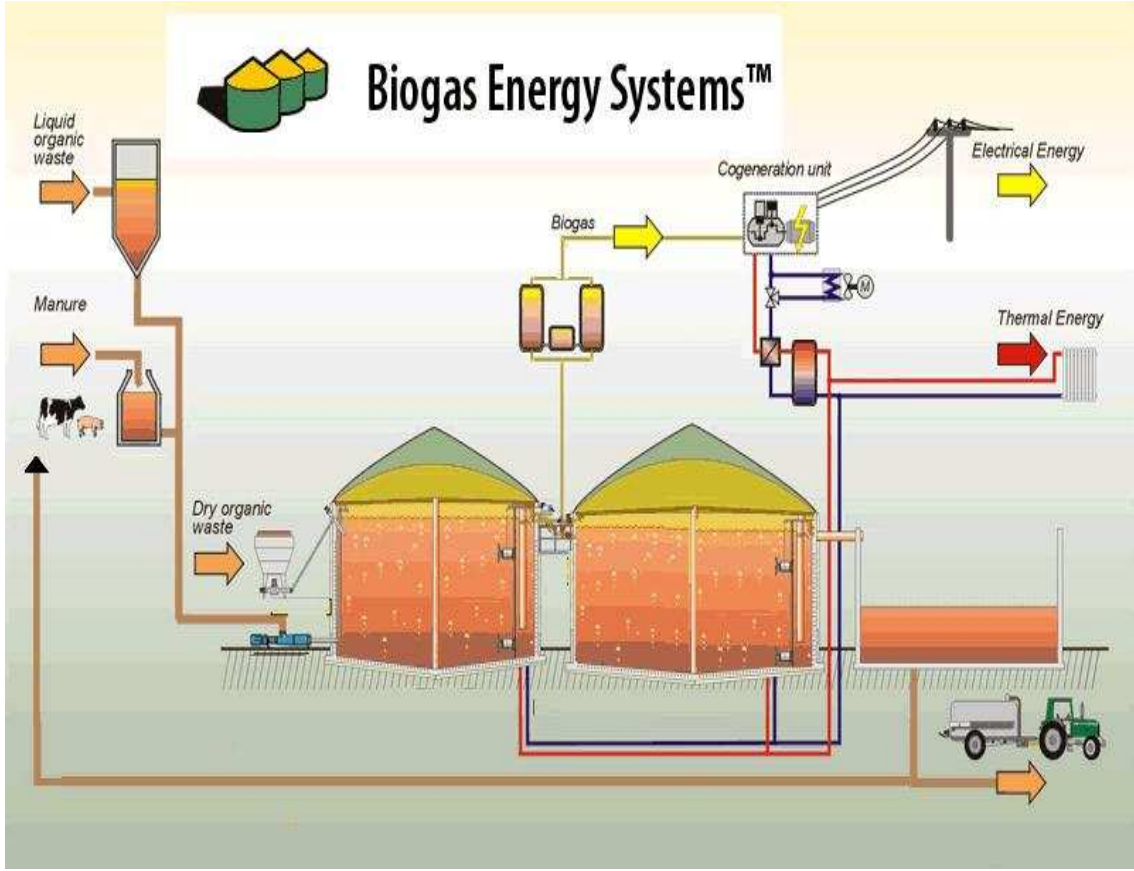
Şekil 4.16 Balon tipi bioreactor.

(1.Karıştırma haznesi, 11. Doldurma borusu, 2.Reaktör, 21. Rendering, 22. Çevresel duvar, 3. Plastik levha gaz toplayıcı, 31.Cuide çerçeve, 32. Tahta çerçeve, 33. Ağırlık, 34. Çerçeve sabitleme yeri, 35. Plastik levhalama, 4. Çamur depolama, 41. Aşırı debi, 5. Gaz borusu)

4.3.2 Büyük kapasiteli reaktörler

Hayvan gübrelерinin oluştuğu tesisler günlük olarak yıkanmalıdır. Yıkama sonucu oluşan sular bir tankta toplanmalı ve daha sonra bir pompa ile reaktöre verilmelidir.

Büyük kapasiteli hayvan gübresinin arıtılmasında genel olarak üç tür reaktör kullanılmaktadır. Bunlar Tam karışımli reaktörler, piston akımlı reaktörler ve lagun tipi reaktörlerdir. Büyük kapasiteli reaktör sistemi ve bileşenleri Şekil 4.17’de verilmiştir.

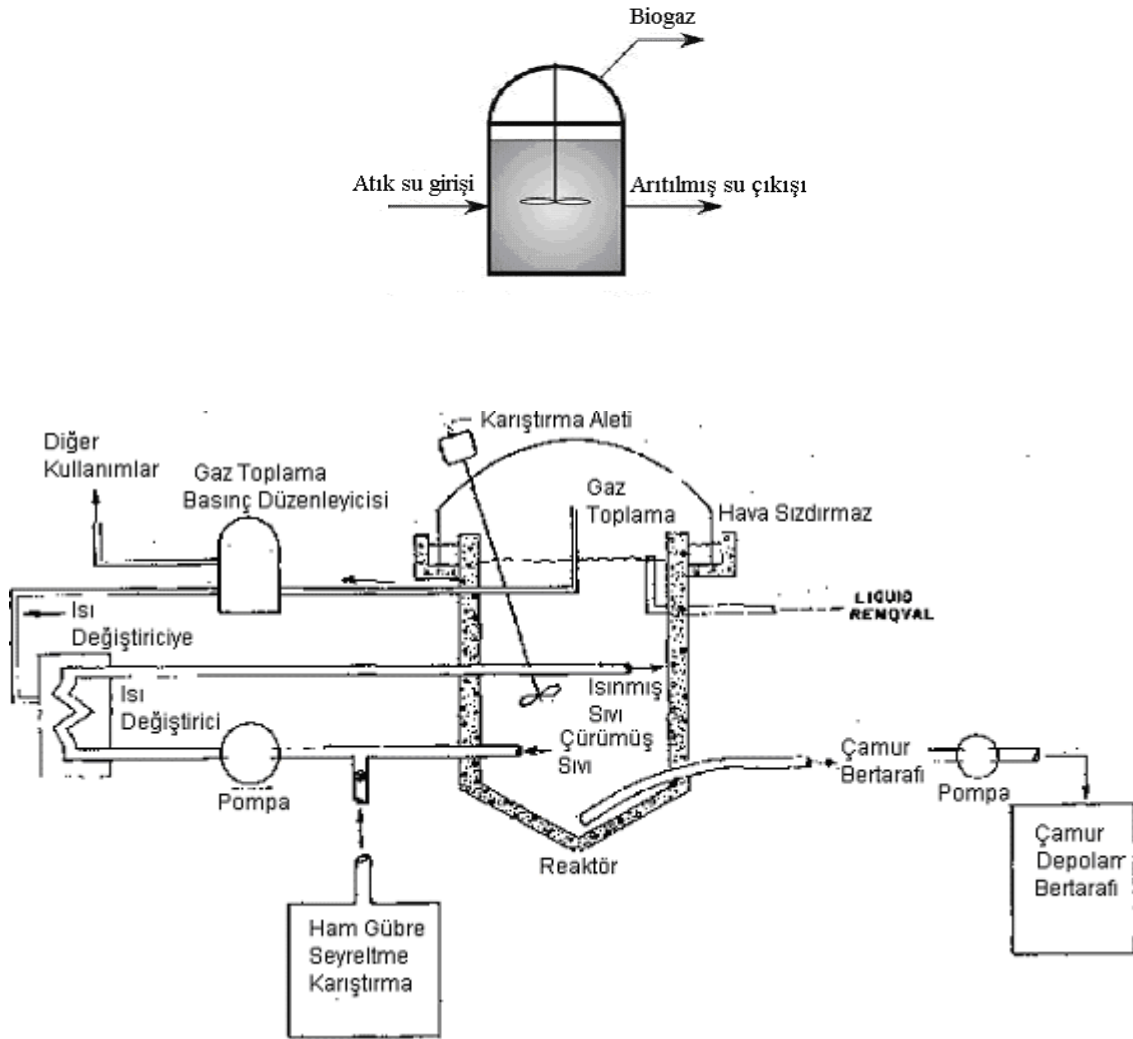


Şekil 4.17 Büyük kapasiteli biyogaz reaktör sistemi.

4.3.2.1 Tam karışımli reaktörler

Tam karışımli reaktörlerde çamur ısıtılarak reaktöre verilmektedir. Bu tür reaktörlerde yeterli uçucu organik katı madde konsantrasyonu %3-10 arasında değişen atıklar kullanılır. Reaktörler geniş, dikey ve sadece betonarme veya çelik silindirlere yapılmış konteynerlerdir. Reaktör tavanı düz veya konik olabilir. Reaktöre bir karıştırıcı konarak bakterilerin besi maddeleri ile homojen teması sağlanır. Çamur, karıştırma havuzunda toplanır. Burada gerekirse seyretme yapılır. Çamur reaktöre verilmeden önce gübre içindeki yabancı ve istenmeyen maddelerin çökmesi sağlanır ve ısıtılır. Çamur reaktöre ya bir pompa veya cazibe ile akacak şekilde verilir. Reaktöre verilen çamur reaktörde karıştırılır. Karıştırma ile homojen bir ortam oluşturulur ve katı maddelerin askıda kalmaları sağlanır. Karıştırma ve ısıtma verimliliği artırır. Tam karışımli reaktörler ya mesofilik veya termofilik şartlarda çalıştırılır. Tesisten elde edilen biogazın bir kısmı reaktörü ısıtmak için kullanılır. Hidrolik bekleme süresi 10 ile 20 gün arasında değişir.

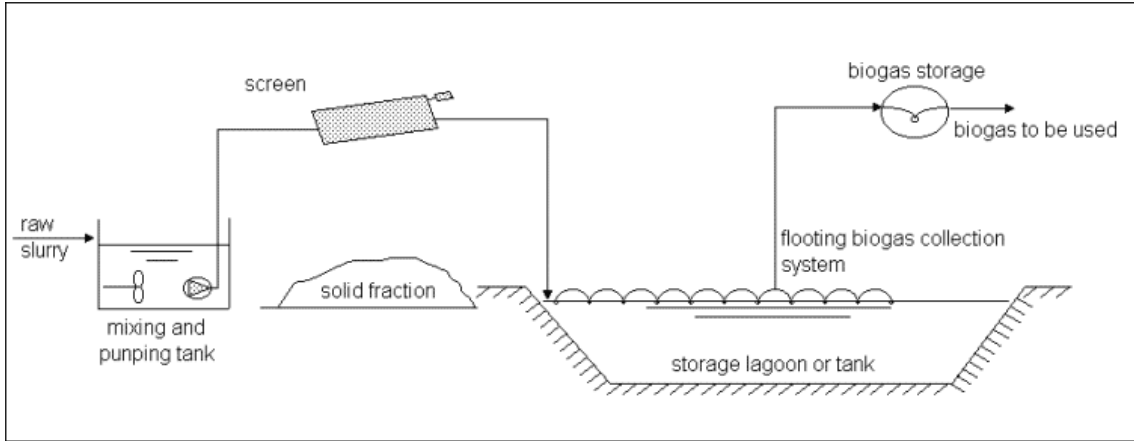
Şekil 4.18’de görüldüğü üzere tam karışimli reaktörlerde anaerobik şartları muhafaza etmek için reaktörün üzeri sabit olarak kapatılır. Biogaz reaktörden alınır. Arıtılır ve kullanıma sevk edilir. Çoğu tam karışimli reaktörlerden elde edilen biogazdan elektrik enerjisi üretilmektedir. Hem reaktör hemde karıştırma ünitesi motor soğutma sisteminden alınan atık ısı ile ısıtılmaktadır. Tam karışimli reaktörlerin hacmi 100- 2000 m³ arasında değişmektedir. Daha büyük hacimli çamurlar için birden fazla reaktör kullanılabilir.



Şekil 4.18 Tam karışimli reaktörler.

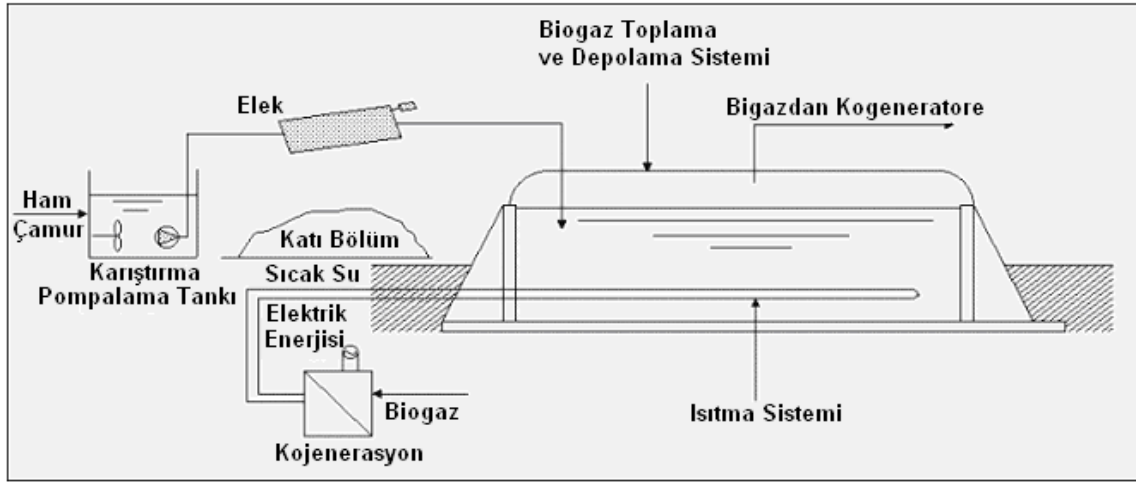
4.3.2.2 Lagun tipi reaktörler

Anaerobik lagunlar, üstü örtülü havuzlardır. Gübre bir uçtan girer ve çürüme işleminden sonra diğer uçtan çıkar. Lagunlar genellikle psikofilik veya toprak sıcaklığına yakın sıcaklık şartlarında çalıştırılır. Dolayısıyla reaksiyon hızı, mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilenir. Yazın kış aylarına göre %35 daha fazla biogaz elde edilmektedir. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %2' dir. Lagun tipi reaktörlerde katı madde konsantrasyonu düşük atık sularla çalışıldığı için domuz gübresi ile mandıra atıksularının bu tür sistemlerle arıtılması daha olumlu sonuçlar vermektedir. Hayvan gübresi bu tür tesislerde arıtılacaksa katı maddeler önceden arıtılmalıdır. Bu durum enerji potansiyelini önemli ölçüde azaltır. Isıtmasız lagun tipi reaktörlerde HBS 60 günü aşmaktadır. Reaktör sıcaklığı düşük olduğu zaman organik maddelerin biogaza dönüşümü de düşük olmaktadır. Çamur içindeki kum ve kil gibi çökebilir katı maddeler reaktöre verilmeden önce karıştırma ünitesinde bertaraf edilmelidir. Ayrıca büyük baş hayvan atıklarında bol miktarda bulunan lignin ve selüloz gibi malzemelerin anaerobik şartlarda bozunması zor olduğu için önceden giderilmesinde fayda vardır. Böylece lagun içinde katı madde birikmesi daha az olur. Lagunlar, dairesel, kare, dikdörtgen ve başka şekillerde olabilirler. Dikdörtgen lagunlarda atıkların düzgün şekilde dağılması için uzunluk /genişlik oranı 4:1'i aşmamalıdır. Lagunlarda anaerobik şartların sağlanması için reaktör derinliği en az 2 metre olmalıdır. Maksimum derinlik ise toprak özelliğine ve yer altı su seviyesine bağlı olarak 6 metre olabilir. Böylece daha az yüzey alanı gerekir. Bazı ülkelerde lagun duvarları kısmen poliüretan köpük (5 cm et kalınlığında) ve kısmen toprak seti ile yalıtılmaktadır. Lagunların üzerinde kullanılan yüzer çatı örtüsü malzemeler geçirimsiz plastik membranlardır. Yüzer çatı örtü altında oluşan gaz toplanır. Yüzer çatı örtüsü olarak kullanılan membran malzemesi genellikle HDPE veya poli propilendir. Yüzer çatı örtüsü altında toplanan biyogaz belli basınca ulaştığında gaz pompası ile kullanıma gönderilir. Anaerobik lagunların en büyük avantajı düşük maliyetli olmasıdır. Düşük maliyet düşük enerji üretimi ve daha az verimle arıtılmış su kalitesi ile dengelenir. Lagunlar sık aralıklarla temizlenmez. Temizleme esnasında koku şikayeti olur.



Şekil 4.19 Üstü örtülü lagundan görüntü.

Bazı lagun tipi reaktör ünitesi ısıtılmalıdır. Buna örnek bir lagun tipi reaktör sistemi Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 Isıtılmalı ve çatısı örtülü lagundan görüntü.

4.3.2.3 Piston akımlı reaktörler

Piston akımlı reaktörler, anaerobik çürümenin en basit şekli ve en ucuz olanıdır. Piston akımlı reaktörler, yatay veya dikey şekilde olabilir. Çoğunlukla yatay, dikdörtgen modeller kullanılmaktadır. Gübre, ahırdan sıyırma sistemi ile toplanır. Atık su, reaktörün bir tarafından girer ve çürüme işleminden sonra diğer taraftan çıkar. Girişler korozyona, tıkanmaya, donma hasarına ve gaz kaybına dayanıklı olarak dizayn edilmelidir. Reaktör girişi, reaktördeki hakim su seviyesinin altında olmalıdır. Organik maddelerin bir kısmı bakteriyel kütleyle dönüşür. Bu

tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %11-14 arasında değişmektedir. Yüksek konsantrasyonda katı madde ile çalışılabileceği için geniş getiren hayvan gübresi fermente edilebilir. Domuz ve mandıra atıklarını arıtmak için uygun değildir (Şekil 4.21).

Dikdörtgen tipi olan reaktörlerde uzunluk, genişlik ve derinlikten daha büyük olmalıdır. Reaktör uzunluğunun genişliğe oranı 3.5:1 ila 5:1 arasında değişir. Derinlik ise en az 2.5 m olmalıdır. Genişliğin derinliğe oranı ise 2.5:1'den küçük olmalıdır. Taban ve duvarlar beton veya geçirimsiz membran olabilir. Özellikle zemin düz olmalıdır. Reaktör yüzeyi, duvarları ve tabanı ısı kaybını minimize etmek için yalıtılmalıdır.

Piston akımlı reaktörler genellikle mesofilik şartlarda çalıştırılır. Hidrolik bekleme süreleri genelde 20 gündür. Katı madde bekleme süresi ise 25-30 gündür.

Piston akımlı reaktörlerde kum ve kil gibi maddeler reaktör tabanına çökebileceğinden önceden giderilmelidir. Fiberler ise reaktör yüzeyinde yüzebilir. Piston akımlı reaktörlerde yüzer çatı örtüsü malzemesi olarak esnek HDPE ve poli propilen kullanılır. Sabit çatı malzemesi olarak ise beton veya galvaniz saç kullanılmaktadır. Reaktörde oluşan katı maddeler zaman zaman alınmalıdır. Temizleme işlemi kolay bir işlem değildir. Bu tür reaktörler, reaktör içinden geçen sıcak su boruları siyah demir, çelik, bakır veya alüminyumdan yapılmış ısı değiştiricilerle ısıtılır. Isı değiştirici olarak galvaniz boru kullanılmamalıdır. Böylece yıl boyunca sabit sıcaklık elde edilebilir. Temizleme işlemi esnasında ısıtıcılarında temizlenmesi ve tamir edilmesi gereklidir.

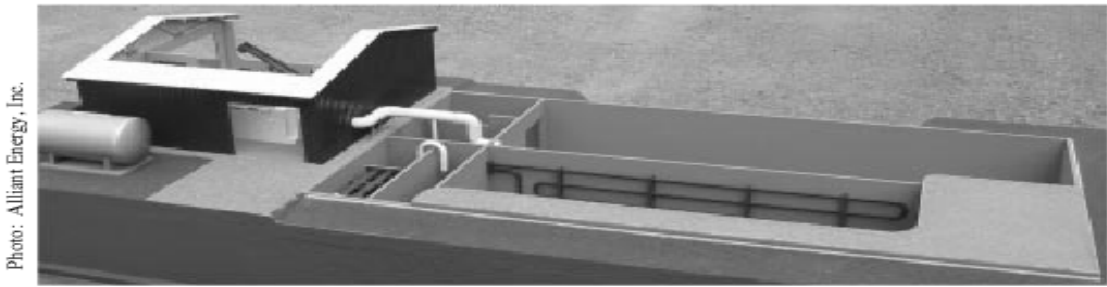


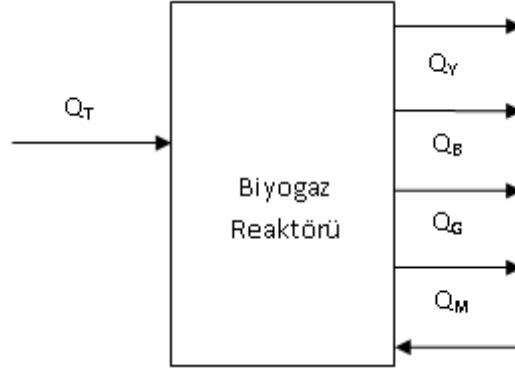
Photo: Alliant Energy, Inc.

Şekil 4.21 Piston akımlı reaktörler.

5. BİYOGAZ REAKTÖRÜNDE SICAKLIK KOŞULLARININ SAĞLANMASI

5.1 Reaktör Isı Kaybının Hesaplanması

Biyogaz reaktörüne ait giren ve çıkan ısı enerjileri Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Biyogaz reaktörü ısı denge şeması.

Q_T = Biyogaz reaktörünü istenilen sıcaklıkta tutabilmek için gerekli toplam enerji miktarı

Q_Y = Biyogaz reaktörünün yüzeylelerinden oluşan ısı kaybı

Q_B = Buharlaştırma yoluyla ısı kaybı

Q_G = Reaktörü terk eden biyogazla oluşan ısı kaybı

Q_M = Besleme hammaddesinin reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gerekli ısı

Q_R = Reaksiyon sırasında açığa çıkan ısı kazancı

Reaktörün ısı ihtiyacı eşitlik 5.1’den hesaplanabilir.

$$Q_T = Q_Y + Q_B + Q_G + Q_M - Q_R \quad (5.1)$$

Hesaplamalarda,

$$Q_B + Q_G - Q_R \cong 0 \quad (5.2)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda toplam ısı ihtiyacı,

$$Q_T = Q_Y + Q_M \quad (5.3)$$

olur. Biyogaz reaktörü yüzeylelerinden oluşan ısı kaybı ise eşitlik 5.4 ile ifade edilir.

$$Q_Y = A \cdot K_T \cdot \Delta T \quad (5.4)$$

Bu formülde toplam reaktör yüzey alanı A , toplam ısı geçiş katsayısı K_T , reaktör çalışma sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark ΔT olarak verilmiştir. ΔT hesaplanırken bölgesel iklim verileri dikkate alınır. Emniyet bakımından binaların ısı kaybı hesabında yararlanılan minimum dış sıcaklık verileri hesaba dahil edilmelidir.

Besleme hammaddesinin reaksiyon sıcaklığına getirilmesi için gerekli ısı miktarı ise eşitlik 5.5'den hesaplanır:

$$Q_M = M \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5.5)$$

Burada M besleme hammaddesinin kütlesi, C_p özgül ısı, ΔT reaksiyon sıcaklığı ile besleme hammaddesinin sıcaklığı arasındaki farktır.

Hesaplamalar sonucunda biyogaz reaktörünün günlük ısı enerjisi ihtiyacı belirlenir. Genellikle bu değer mezofilik bölgede çalışan reaktörlerde, iklim koşullarına ve reaktör malzemesine bağlı olarak günlük elde edilen biyogazın %15-30 arasında bir miktarının harcanmasına neden olmaktadır.

5.2 Reaktör Isıtma Yöntemleri

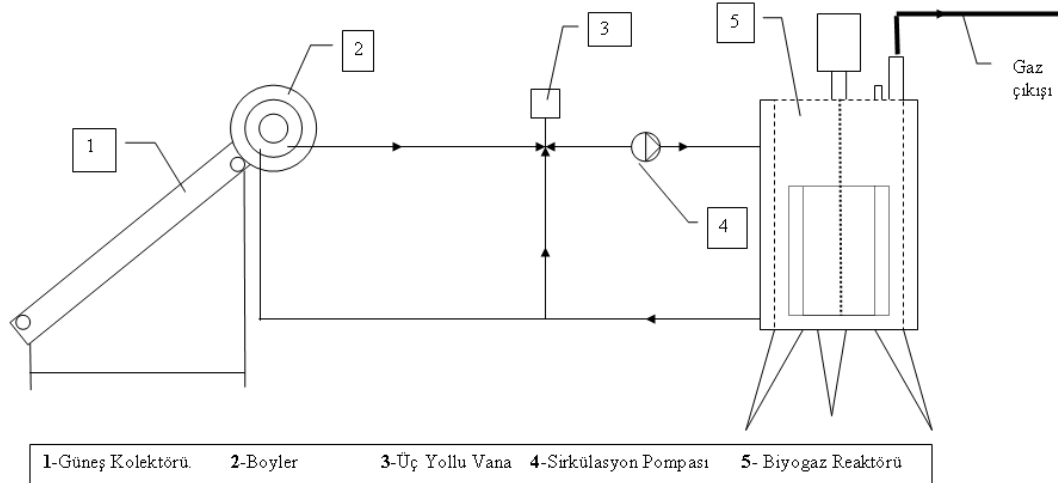
Reaktörlerin ısıtılmasında sıcak sulu sistemler, ısı pompalı sistemler genel olarak kullanılabilir. Bu yöntemler belirlenirken reaktör sıcaklıkları dikkate alınır. Bu durumda reaktörler genel olarak sıcak sulu sistemlerle ısıtıldığı gibi ısı pompası çevrimine göre çalışan yoğuşturucu vasıtasıyla doğrudan ısıtılabilir. Bu ısıtma yöntemlerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanımı biyogaz sistemini daha verimli bir hale getirecektir. Reaktör ısıtma sistemlerinde elektrikli, petrol türevli yakıtlar ve biyogaz kullanılabilir. Bu bölümde güneş enerjisi destekli, ısı pompası destekli ve jeotermal enerji destekli biyogaz reaktörleri üzerinde durulacaktır.

5.2.1 Güneş enerjisi destekli biyogaz reaktörleri

Hesaplanan ısı enerjisi ihtiyacına göre, bölgesel güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi, kullanılacak güneş kolektörlerinin çalışma değerleri göz önüne alınarak gerekli kolektör yüzey alanı belirlenir. Burada önemli olan güneş ışınımının olmadığı ve dış hava sıcaklığının en düşük düzeye indiği gece koşulları için enerjinin depolanmasıdır. Bu hesaplamada günlük ortalama ışınım şiddeti, kolektör ve ısı değiştiricisi verimi kullanılır. Isı depolama genellikle sıcak su akümülayon tankı veya boyler ile gerçekleştirilir. Yapılacak ısı kaybı hesabına boyler yada akümülayon tankından oluşacak kayıpların da eklenmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi güneş ışınımı gün boyunca sürekli değildir. Geceleri hiç ışınım olmamasının yanında

gündüzleride ışınım şiddeti saatlere göre değişiklik göstermektedir. Bulutluluk oranına göre de yararlanılabilen güneş ışınımında büyük dalgalanmalarla karşılaşmaktadır. Oysa reaktör için gerekli ısı ihtiyacı sürekli dir. Bu durumda güneş enerjisinin depolanması zorunlu hale gelmektedir. Güneş enerjisinin depolanmasında genel olarak suyla ısı enerji depolama yöntemi kullanılır . Bunun için sisteme optimum büyüklükte sıcak su akümü lasyon tankı veya boyler ilave edilir. Ayrıca oluşabilecek pik yük karşılama yetersizliğine karşı yardımcı ısıtıcıların sistem tasarımında göz önüne alınması gerekmektedir. Genellikle bu sorunun giderilmesinde otomatik kontrol elemanlarıyla birlikte elektrikli rezistans veya ortamda bulunan bir ısı üretim ünitesi kullanılmaktadır.

Sisteme Şekil 5.2’de görüldüğü gibi güneş enerjili biyogaz sisteminde oransal servo motorlu üç yollu vana ilave edilerek ani sıcaklık değişimleri önlenebilir. Sıcaklık sensörü tarafından okunan değer kontrol paneli tarafından değerlendirilerek akümü lator den gelen su, reaktörün ısı ceketinden gelen su ile belli oranda karıştırılarak reaktöre tekrar verilir. Bu sistem en sağlıklı ve en verimli çözümdür. Fakat bu sistem de yatırım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır [39].

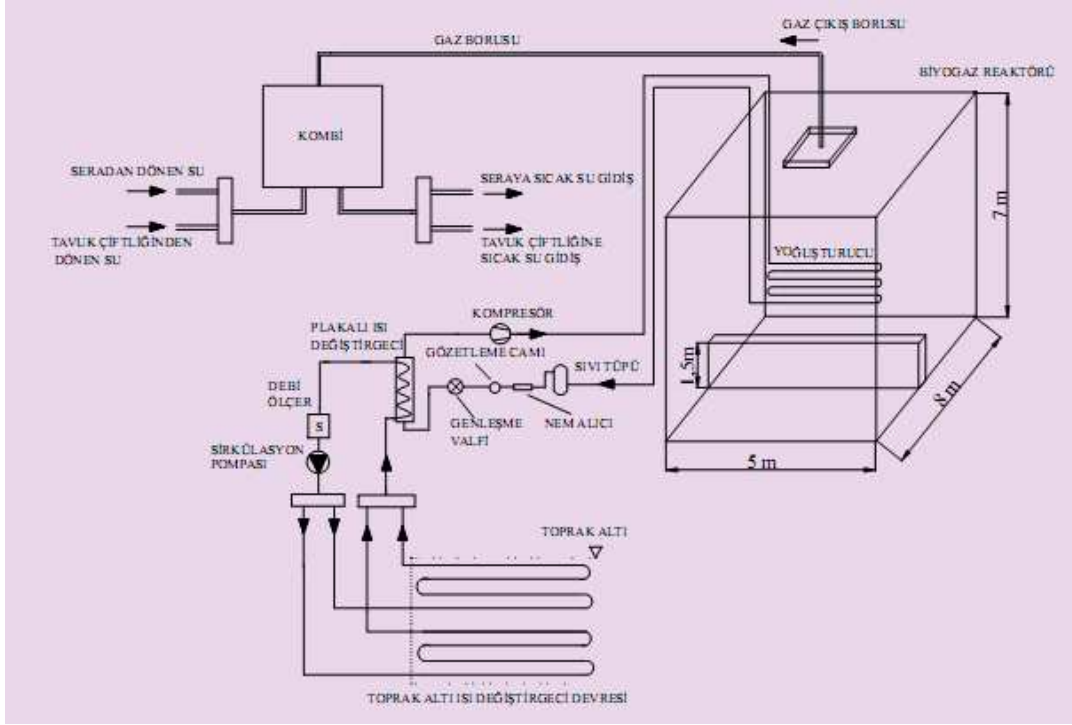


Şekil 5.2 Güneş enerjili ve otomatik kontrollü biyogaz sistemi.

5.2.2 Biyogaz reaktörlerinin toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması

Biyogaz reaktörüne uygulanan toprak kaynaklı ısı pompasında, yeraltına bulunan belli bir derinlikteki toprağın ısısının alınması prensibine dayanmaktadır. Bunun için toprak altına döşenen borular içersinden, pompa vasıtası ile su dolaştırılmaktadır. Aracı akışkan olan su, topraktan aldığı ısyı plakalı ısı değıştirici vasıtasıyla buharlaştırıcıya vermektedir. Bu sayede

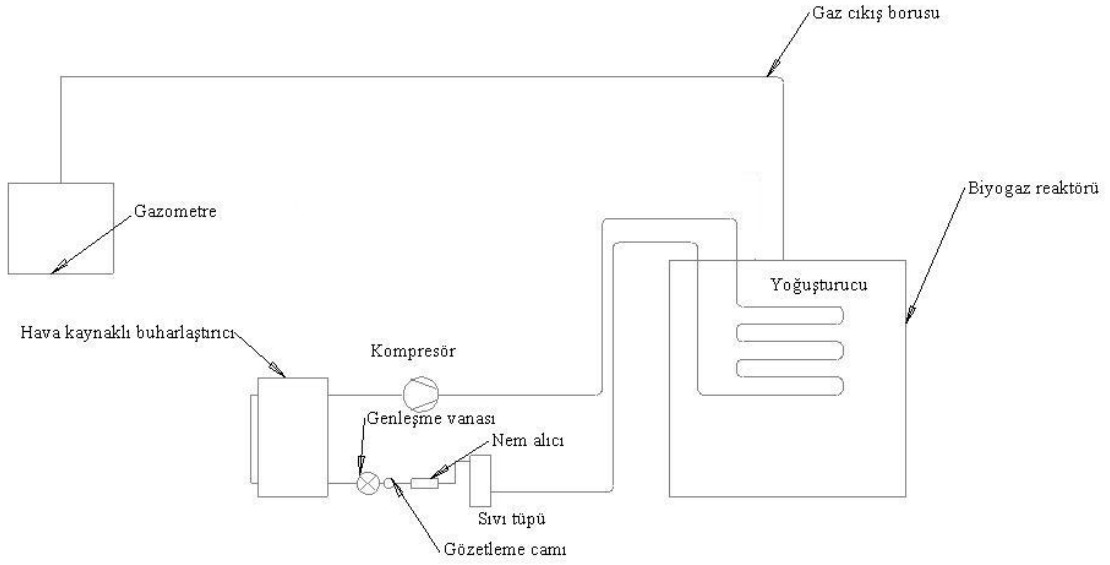
kış aylarında buharlaştırıcıdan kaynaklanan verim azalmasının önüne geçilebilmektedir. Yoğuşturucu boru malzemesi olarak bakır borular kullanılabilir. Reaktör dizaynına göre yoğuşturucu boruları, reaktör çevresine sarım şeklinde veya reaktör tabanına monte edilir [40].



Şekil 5.3 Isı pompası sisteminin biyogaz reaktörüne uygulanışı.

5.2.3 Biyogaz reaktörlerinin hava kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması

Hava kaynaklı ısı pompası sisteminde, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden farklı olarak, buharlaştırıcı ünitesi dış ortamda bulunmaktadır. Buharlaştırıcı için gerekli olan ısı bir fan vasıtasıyla veya doğal olarak dış ortamdan sağlanmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompasının şeması aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.4 Biyogaz reaktörüne hava kaynaklı isi pompası sisteminin uygulaması.

5.2.4 Jeotermal enerji ile biyogaz reaktörünün ısıtılması

Jeotermal enerji; konvansiyonel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, sadece ucuz enerji temini açısından değil, çevrecilik yönünden de rakipsizdir. Türkiye; jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada yedinci, jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamalarında ise beşinci sırada yer almaktadır. Genellikle konutların ve seraların ısıtılmasında, elektrik üretiminde, basit kaplıca uygulamalarında kullanılmaktadır.

Jeotermal kaynağın sıcaklığına ve debisine bağlı olarak, ısıtıcı borularla biyogaz reaktörü doğrudan ısıtılabilir. Eğer jeotermal kaynağın debisi ve sıcaklığı yüksek ise bir ısı değiştiricisi kullanılarak, aracı bir akışkan ısıtılıp reaktör içerside dolaştırılabilir. Bunun yanı sıra jeotermal akışkanın paslanmaya, çürümeye kabuklaşmaya neden olması, yüzey sularını kirletmesi bünyesinde H_2S ve bor gibi madenler bulunması, uygulamada bazı teknolojik önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

6. TÜRKİYENİN BİYOGAZ POTANSİYELİ

Biyogaz her türlü organik maddeden elde edilebileceği halde ülkemizde biyogaz potansiyeli hesabında yalnız hayvan gübreleri esas alınmıştır. Türkiye de bulunan hayvan sayıları Çizelge 6.1' de Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) verileri ile gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Türkiye’de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı

CİNSİ	ADET	KAYNAK
SİĞİR-MANDA	11.000.000	2008-TUİK
KOYUN-KEÇİ	30.000.000	2008-TUİK
TAVUK-HİNDİ	250.000.000	2008-TUİK
TOPLAM	291.000.000	2008-TUİK

Değişik biyogaz kaynaklarının verimleri ve metan oranları Çizelge 6.2’ de verilmiştir. Kanatlı gübresi 310-620 lt/kg biyogaz verimi ve %60 metan oranı ile oldukça iyi bir biyogaz kaynağıdır. Ancak kurumuş kanatlı hayvan gübresini suyla karıştırmak oldukça zordur. Karıştırmadan önce makine ile parçalanması gerekmektedir. Sığır gübresi (90-310) lt/kg biyogaz verimi %65 metan oranına sahiptir. Yaş sığır gübresini su ile karıştırmak suretiyle homojen karışım elde etmek oldukça kolaydır. Homojen karışımlardan daha çok biyogaz elde edilir. Büyükbaş hayvan gübresi ve bu gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı ile ilgili kabuller (ortalama) ;

- 1 büyükbaş hayvandan 3.6 ton/yıl gübre
- 1 küçükbaş hayvandan 0.7 ton/yıl gübre
- 1 kümes hayvanından 0.022 ton/yıl gübre

Biyogazla ilgili bulgular;

- 1 ton büyükbaş gübresinden 33 m³ biyogaz
- 1 ton küçükbaş gübresinden 58 m³ biyogaz
- 1 ton kümes hayvanı gübresinden 78 m³ biyogaz

olarak belirlenmiştir

Çizelge 6.2 Biyogaz kaynaklarının verimleri ve metan oranları.

Kaynaklar	Biyogaz Verimi (lt/kg)	Metan Oranı (%)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır Samanı ve Atıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı Kabuğu	365	---
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58
Alg	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80

Yapılan hesaplamalarla Türkiye nin yaklaşık olarak yılda 2.953.800.000 m³ biyogaz üretme potansiyeli vardır. Bu miktarın kömür eşdeğeri 3.278.718 ton dur. Parasal değeri ise Mart 2010 fiyatları ile 1 ton Soma 10 - 18 kömür 320 TL olarak hesaplandığında yaklaşık yılda 1 milyar TL'dir. Ülkemiz maalesef bu kapasitenin yüzde 1'ini bile kullanamamaktadır. Detaylı veriler Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve kömür eşdeğeri.

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Miktarı (m3/yıl)	Taşkömürü Eşdeğeri (ton/yıl)
Sığır	11.054.000	39.794.400	1.313.215.200	1.181.894
Koyun-Keçi	38.030.000	26.621.000	1.544.018.000	1.389.616
Tavuk-Hindî	243.510.453	5.357.230	417.863.937	376.078
Toplam	292.594.453	71.772.630	3.275.097.137	2.947.587

Ayrıca gübreden biyogaz elde ettikten sonra atık madde olarak organik gübre elde edilmektedir. Tarım Bakanlığının biyogaz laboratuvarında yaptığı analizler sonucu 1 ton çiftlik gübresinden ortalama 4 kg N (azot), 2,9 kg P₂O₅ (fosforpentaoksit) ve 4 kg K₂O (potasyum) olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan biyogaz tesisinden çıkan fermante olmuş gübrenin 1

tonundan 5,06kg N(azot), 3,7kg P₂O₅(fosforpentaoksit) ve 5,6 kg K₂O (potasyum) olduğu görülmüştür. 40 milyon ton büyükbaş hayvan gübresinden elde edilen gübre çizelge 6.4'de verilmiştir.

Azot, fosfor ve potasyumun bitkilere sağladığı yararlar aşağıdaki gibidir;

- N(azot), bitkilerde hızlı büyüme, yaprak, çiçek, meyve ve tohum büyümesini sağlar.
- P(fosfor), bitkinin ilk büyümesini, çiçeklenmesini, dayanıklılığını ve kök gelişimini artırır.
- K(potasyum), bitkinin hastalıklara dayanımını artırır, meyve kalitesini artırır.

Çizelge 6.4 Hayvan gübrelerinin kimyasal gübre karşılıkları.

Gübre Cinsi	Fermente Olmamış (ton)	Fermente Olmuş(ton)
Azotlu (%21)	762.000	963.000
Fosforlu (%18)	644.000	822.000
Potashlı (%50)	320.000	448.000
TOPLAM	1.726.000	2.233.000

Türkiye'de özellikle kırsal bölgelerde yemek pişirme ve ısınma amacı ile odun, tezek, LPG ve kömür yakıt olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda Türkiye'deki yakıt fiyatlarındaki artışlar, gelir düzeyi düşük kırsal bölgelerdeki halkı ekonomik olarak ciddi şekilde mağdur etmektedir. Kırsal bölgelerde ısınma amacı ile yeterli yakıtın olmaması zaten kısıtlı olan orman alanlarının tahribatına neden olmaktadır.

7. BİYOGAZIN SAFLAŞTIRILMASI

Biyogazın metan oranının artırılması, içerisindeki CO₂ nin ve H₂S nin ayrıştırılmasıyla mümkün olmaktadır. Biyogaz içeriğindeki metan oranının artmasıyla gazın ısıl değeri artmakta ve daha düşük kapasiteli tanklara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde biyogaz içerisinde mevcut bulunan CO₂ ve H₂S ayrıştırma yöntemlerinden bahsedilmiştir.

7.1 CO₂ Ayrıştırma Yöntemleri

CO₂ ayrıştırma yöntemlerinden bazıları şunlardır [34]:

- Suda çözme
- Polietilen glikol ile ayrıştırma
- Membran ile ayrıştırma

Suda çözme

İçerisinde su bulunan tankın alt kısmından basınçla gönderilen biyogaz sudan geçerken içeriğindeki (CO₂) ve (H₂S) çözünerek su ile birlikte tanktan alınır. Metan ise suda çözünmediğinden tankın üst kısmında toplanmaktadır.

Polietilen glikol ile ayrıştırma

Bu yöntemde suyla ayrıştırma gibi fiziksel bir yöntemdir. Farklı olarak su yerine selesol kullanılır. CO₂ ve H₂S selesolda, sudan çözüldüğünden daha iyi çözünür. İlk yatırım maliyeti yüksektir.

Membran ile ayrıştırma

Bu yöntemde membranın bir tarafına basınçla gönderilen biyogaz içerisindeki moleküllerin farklı boyutlarda olmasından yararlanarak ayrıştırılır. (CO₂) ve (H₂S)'nin boyutları metana göre daha küçük olduğundan membrandan rahatlıkla geçebilmekte metan ise geçememektedir.

Çizelge 7.1 Biyogaz CO₂ ayrıştırma metodları avantaj-dezavantaj durumları

Ayrıştırma Yöntemi	Prosesin Çalışma Prensibi	Avantaj	Dezavantaj
Suda çözme ve Polietilen glikol	CO ₂ ve H ₂ S , su veya polietilen glikol Tarafından tutulmaktadır	<ul style="list-style-type: none"> • yüksek gaz kalitesi • ön işlem gerektirmez • bilinen teknoloji • CO₂ yi tekrar kullanmak mümkün 	<ul style="list-style-type: none"> • ağırlık • kirli suyun değiştirilmesi • sıvı ihtiyacı
Membran ile ayrıştırma	Farklı molekül büyüklüklerinden yararlanarak CO ₂ ,H ₂ S ve CH ₄ ün Ayrıştırılması	<ul style="list-style-type: none"> • sıvı ve kimyasala ihtiyaç duymaz • düşük mekanik aşınma • hafiflik 	<ul style="list-style-type: none"> • ön işleme gerek duyar • yüksek maliyet • yaygın olmayan teknoloji

Biyogaz içinde bulunan H₂S, gübre içinde bulunan kükürt içeren proteinlerin ve inorganik sülfatın anaerobik şartlarda dönüşümü sonucu oluşur. Hidrojen sülfür çok zehirli, korozif ve renksiz bir gazdır. H₂S havadan daha ağır olduğundan dolayı düşük seviyelerde dahi fazladan tehlikeye neden olur. 0.05 ila 500 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda bu gaz çürük yumurta kokusuna sahiptir. Yüksek konsantrasyonlarda böyle bir koku söz konusu değildir. Uda çözünerek zayıf asit formuna dönüşebilir. Havadaki konsantrasyonu 1.2-2.8 mg H₂S/lt (%0.117)'e ulaştığında ani ölümlere neden olur. Bu değer 0.6 mg H₂S/lt (%0.05) olduğunda 30-60 dakika içinde ölüm olur. Hidrojen sülfürle kirlenmiş hava bulunduğu zaman hidrojen sülfür kırmızı kan pigmentini değiştirir. Kanı kahverenginden zeytin rengine dönüştürür. Oksijenin taşınmasını engeller. Kişi derhal boğulur. Hollanda'da biyogaz içindeki hidrojen sülfür konsantrasyonu 50 ppm'den yüksek olduğu zaman hidrojen sülfürün artırılması gerekmektedir.

H₂S'in toksik etkisine ilaveten yanma sonucu SO₂ gibi korrozif gaz oluşur. Bu gaz ayrıca asit yağmuruna neden olur. Biyogaz güç ekipmanların işletilmesi esnasında yoğunlaşmayı ve sülfürik asit oluşumunu önlemek için sürekli yüksek sıcaklıkta çalışma yapmak gerekir. Sülfürik asit çok korozif bir maddedir. Motorlara ve buhar kazanlarına ciddi zararlar verebilir. Sobalarda ve buhar kazanlarında direk yakıldığında bacalara zarar verebilir.

Hollanda'da biyogaz yakma tesislerinde hidrojen sülfür konsantrasyonu 50 ppm değerini geçemez. Biyogaz en az 900 °C sıcaklıkta yakılır. Baca gazı yanma odasında 900 °C sıcaklıkta en az 0.3 saniye kalmak zorundadır [34].

H₂S'li biyogaz yakma sistemlerinde yağ değişiminin daha sık aralıklarla yapılması gereklidir. Çünkü yanma sonucu oluşan SO₂, yağı zamanla asitik yapar. Yağın özelliğini bozar. Kayganlık özelliğini kaybettirir. Yağ değişim süresi fiili çalışmada 200-300 saate düşer. Hidrojen sülfür çok zararlı ve korozif bir madde olduğundan demir ve galvaniz sacıla reaksiyona girerek aşınmasına neden olur. Dolayısıyla basınç regülatörleri, gaz metreler, vanalar ve diğer parçalar H₂S'e dayanıklı malzemelerden olmalıdır [35]. Biyogaz içindeki H₂S miktarı %0.5 ve üzerinde ise H₂S'in arıtılması gereklidir. Biyogaz içindeki H₂S miktarı %0.1'in altında ise arıtma yapmaya gerek yoktur. Küçük ve orta büyüklükteki tesisler için %5-10 oranında Fe(OH)₃ içeren bir absorban içinden gazı geçirmek yeterlidir. Böylece bir kg çözelti ile 15 g kükürtü absorbe etmek mümkündür. Hidrojen sülfür, reaktöre (FeCl₃) ilave ederek (FeS) halinde veya biyogaz (Fe₂O₃) taneleri arasından geçirilerek (Fe₂S₃) halinde, kostik veya demir bileşiği çözeltisi içinden geçirilerek absorbe edilir. Küçük kapasiteli tesislerde kuru işlemler uygundur. Küçük kapasiteli tesislerde H₂S, kuru kireç, ıslak kireç arasından geçirilerek bertaraf edilir. Büyük kapasiteli tesislerde bu mümkün değildir. Çünkü CO₂ bu maddelerle reaksiyona girerek fazla madde tüketimine neden olur. Ancak kireci ucuz olan ülkelerde bu metot kullanılabilir [34].

7.2 H₂S Ayrıştırma Yöntemleri

H₂S'i ayrıştırma yöntemlerinden bazıları şunlardır;

- Hava-Oksijen ilavesi
- Demir klorür ilavesi
- Aktif karbon kullanımı

Hava oksijen ilavesi

Bu teknikte özel mikro organizmalar yardımıyla aerobik şartlarda hidrojen sülfürün elementer kükürde indirgenme esasına dayanır. Biyogaz sisteminin gelişmiş bakteriye sahip olması için sıvı-gübre-ıslak yüzey gerekir. Bu sistemde yaklaşık olarak biyogaz üretiminin %2-5 oranında hava biyogaz depolama bölümüne hava pompasıyla pompalanarak gerçekleştirilir. Tam oksidasyon için gerekli hava deneme yolu ile tespit edilir. Sonuç olarak biyogaz içindeki sülfür reaktör yüzeyinde kükürte okside olur ve gaz içerisindeki hidrojen sülfür konsantrasyonu düşer. Hava içindeki oksijen katalizör etkisi yapar. Bu metotla elde edilen sonuç oldukça iyidir. Bu metot basit ve az işçilik isteyen bir metottur. Çürümenin gerçekleştiği reaktörün hemen yüzeyinde uygulanabilir. Bu reaksiyonu gerçekleştiren bakteriler için yeterli nem, besi maddesi ve sıcaklık (optimum 37 °C) gereklidir. Bu metotla hidrojen sülfür miktarı

20-200 ppm'e (30-150 mg H₂S/l) düşer. Hidrojensülfürü giderme verimliği %80-99'dur. Bu metotla elde edilen gaz direk gaz yakma motorlarında kullanılabilir.

Demir klorür ilavesi

Biyogaz reaktörüne demir klorür eklenerek, demir klorürün H₂S ile reaksiyona girmesi sağlanır, reaksiyon sonucu demir sülfat oluşur. Bu yöntem yüksek konsantrasyondaki H₂S'in (1000-4000 ppm) ayrıştırılması için etkili bir yöntem olmasına rağmen düşük konsantrasyondaki (<1000 ppm) H₂S'in ayrıştırılmasında aynı etkinliğe sahip değildir.

Aktif karbon kullanımı

Biyolojik filtrelemede olduğu gibi biyogaz içerisine gönderilen havanın hidrojen sülfür ile katalitik reaksiyonu sonucu kükürt ve su oluşmaktadır. Açığa çıkan kükürt ise aktif karbon tarafından absorbe edilerek biyogazdan ayrıştırılmaktadır. Sistem 7-8 bar basınç ve 50-70°C derece sıcaklıkta en iyi sonucu vermektedir. Aktif karbonun 4000-8000 saat çalışma ömrü vardır.

8. BİYOGAZ SİSTEMİ KAPASİTE BELİRLEME VE ELEKTRİK-ISI ÜRETİMİNİN İRDELENMESİNE AİT ÖRNEK HESAPLAMALAR

Biyogaz sistemlerinin kapasitelendirilmesi, elektrik-ısı enerjisi üretiminin nasıl belirlendiği ve sistemin geri dönüş süresinin ne kadar olduğunun hesaplanabilmesi için 2 farklı yöntemle göre hesaplamalar yapılarak bu bölümde örneklendirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan 1. Yöntemde kullanılan değerler biraz daha tahmini değerlerdir. Ancak 2. Yöntemde kullanılan değerler konu ile ilgili örnek uygulama çalışmaları ve mikrobiyolojik çalışmalarda bulunan birkaç firmanın hazırladığı ve daha uygulamaya dönük değerlerdir. 100 Ton / Gün atık elde edilen bir çiftlikte , Günlük 100 ton tavuk, 100 ton inek gübresi ile günlük 100 ton mısır silajı için;

- Reaktör (hacim) kapasite hesabını,
- Saatlik elektrik, ısı enerjisi üretimini
- Enerji üretimi için kurulacak tesisin maliyetini,
- Elektriğin birim fiyatını 14€/cent olarak kabul edilip tesisin geri ödeme süresini,
- Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz eşdeğer enerji miktarı hesaplanarak gerekli irdellemeler yapılmıştır.

8.1 100 ton/gün İnek Gübresi Elde Edilmesi Durumu

8.1.1 Analiz değerleri ve kabullerin I. yöntemle göre yapılması durumunda

Türkiye şartlarında 1 büyükbaş hayvan günde ortalama 30 kg dışkı üretmektedir. Aynı şekilde 1 kg gübre için katı madde miktarı %15 'tir. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzemeyi ve artı %20 hata payıyla birlikte barındırabilecek hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kWh satış miktarı 14€/cent'tir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL - 40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir, buna göre;

Reaktör kapasitesi

$100000/30=3334$ Büyükbaş Hayvan bulunmaktadır. Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, buna göre reaktör kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %15 olan katı madde miktarının %10'a seyreltilmesi gerekmektedir;

$$100 \text{ ton/gün} \times 0.15 = 15 \text{ ton / gün KM (Katı Madde)}$$

15 ton/gün x 100 / 10 = 150 ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 hata payıyla birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır.

150 x 20 = 3000 ton malzeme için,

3000 + 3000 x 0.2 = **3600 m³** hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100\text{ton/gün} \times 365\text{gün/yıl} \times 70\text{m}^3/\text{ton Biyogaz} \times 5,2 \text{ kw/m}^3}{8000 \text{ saat/yıl}} = 1660,75 \text{ kWh enerji}$$

kapasitesi

Ko-jenaratör (Isı+Elektrik üretimi) %40 verimle çalışmaktadır, buna göre;

$$1660,75 \times 0.4 = \mathbf{664,3 \text{ kWh Elektrik enerjisi}}$$

$$1660,75 \times 0.6 = \mathbf{996,45 \text{ kWh Isı enerjisi}} \text{ üretilmektedir.}$$

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kWh'lik elektrik enerjisi için ortalama 3000€ 'luk bir maliyete katlanması gerekmektedir. Buna göre;

$$664,3 \text{ kWh} \times 3000 \text{ €} = \mathbf{1.992.900 \text{ €}}$$
 luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin kWh başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$$664,3 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0.14 \text{ €} = 744.016 \text{ €}$$

$$15 \text{ ton KM (organik gübre çıkış)} \times 40 = 600 \text{ € / gün}$$

$$600\text{€/gün} \times 365 = 219.000 \text{ €}$$

$$744.016\text{€} + 219.000\text{€} = 963.016 \text{ €} \text{ Senelik gelir beklenmektedir.}$$

$$1.992.900 \text{ €'luk toplam maliyet düşünüldüğünde geri ödeme süresi;}$$

$$1.992.900 / 963.016 = \mathbf{2.06 \text{ yıl}} \text{ olacaktır.}$$

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

TEP (Ton Eşdeğer Petrol) değerine göre;

$$1\text{m}^3 \text{ Doğalgaz} = 0.000825 \text{ TEP}$$

1kWh Elektrik = 0.000086 TEP yaklaşık olarak değerine karşılık gelmektedir.

Buradan ;

$$1 \text{ TEP} = 11627,90 \text{ KWh Elektriğe ve}$$

$$1 \text{ TEP} = 1212,12 \text{ m}^3 \text{ Doğalgaza eşit olmaktadır.}$$

1 kWh elektrik üretebilmek için 0.104 m^3 doğalgaza ihtiyaç vardır.

13.12.2010 tarihinde igdaştan alınan verilere göre;

Yıllık 800.000 m^3 'ten az ve çok doğalgaz alan sanayi kuruluşları için;

$$1\text{m}^3 \text{ Doğalgaz } 0.624982 \text{ TL ve } 0.517128 \text{ TL}$$

$$1\text{kWh Doğalgaz } 0.058739 \text{ TL ve } 0.048602 \text{ TL 'dir.}$$

Doğalgaz santrali için ;

$$- \text{kWh başına kurulum maliyeti } 700\text{€}$$

$$- \text{kWh başına yakıt maliyeti } 0.25\text{€} \times 0.104 = 0.026\text{€}$$

$$- \text{kWh başına işletme maliyeti } 0.095\text{€}$$

(- kWh başına sera etkisi cezası 0.04€ 'dur.)

664,3 kWh için;

$$- 664,3 \times 700 = \mathbf{465.010\text{€}}$$

$$- 664,3 \times 8000 \times 0,026 = \mathbf{142.872\text{€}}$$

$$- 664,3 \times 0.095 \times 8000 = \mathbf{504.868\text{€}}$$

Yıllık toplam maliyet : $465.010 + 142.872 + 504.868 = \mathbf{1.112.750\text{€}}$ bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise $142.872 + 504.868 = \mathbf{647.740\text{€}}$ olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

$$664,3 \times 8000 \times 0.14 = \mathbf{744.016\text{€}}$$
 yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.06 yıl** bulunur.

8.1.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. yönteme göre yapılması durumunda

Türkiye şartlarında 1 büyükbaş hayvan günde ortalama 30 kg dışkı üretmektedir. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzemeyi ve artı %20 hata payıyla birlikte barındırabilecek hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kwh satış miktarı 14€ / cent'tir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL - 40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir, buna göre ;

$$\text{Katı madde miktarı; } 0.23 \times 0.80 = 0.184 > \%18.4 \text{ 'tür}$$

Reaktör kapasitesi

$$100000 / 30 = 3334 \text{ Büyükbaş Hayvan bulunmaktadır.}$$

Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, Reaktör Kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %18.4 olan katı madde miktarının %10'a seyreltilmesi gerekmektedir;

$$100 \text{ ton/gün} \times 0.184 = 18.4 \text{ ton / gün KM (Organik Katı Madde)}$$

$$18.4 \text{ ton/gün} \times 100 / 10 = 184 \text{ ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)}$$

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 hata payıyla birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır.

$$184 \times 20 = 3680 \text{ ton malzeme için,}$$

$$3680 + 3680 \times 0.2 = \mathbf{4416 \text{ m}^3} \text{ hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.}$$

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times 0,23 \times 0,8 \times 330 \times 365 \text{ gün / yıl} \times 5,2 \text{ kw / m}^3}{8000 \text{ saat / yıl}} = 1440,58 \text{ kWh Enerji kapasite}$$

Ko-jenaratör %40 verimle çalışmaktadır, buna göre;

$$1440,58 \times 0.4 = \mathbf{576,23 \text{ kWh Elektrik enerjisi}}$$

$$1440,58 \times 0.6 = \mathbf{864,34 \text{ kWh Isı enerjisi}} \quad \text{üretilmektedir.}$$

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kwh'lik elektrik enerjisi için ortalama 3000€ 'luk bir maliyete katlanması gerekmektedir. Buna göre;

$$576,23 \text{ kWh} \times 3000 \text{ €} = \mathbf{1.728.690 \text{ €}} \text{ 'luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.}$$

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin kWh saat başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$$576,23 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0.14 \text{ €} = 645.377 \text{ €}$$

$$18,4 \text{ ton KM} \times 40 = 736 \text{ €} / \text{gün}$$

$$736 \text{ €/gün} \times 365 = 268.640 \text{ €}$$

$$645.377 \text{ €} + 268.640 \text{ €} = 914.017 \text{ €} \quad \text{Senelik gelibe beklenmektedir.}$$

1.728.690 €'luk toplam maliyet düşünülünce geri ödeme süresi;

$$1.728.690 / 914.017 = \mathbf{1.89 \text{ yıl}} \quad \text{olacaktır.}$$

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

Doğalgaz santrali için ;

- kWh başına kurulum maliyeti 700€

- kWh başına yakıt maliyeti $0.25 \text{ €} \times 0.104 = 0.026 \text{ €}$

- kWh başına işletme maliyeti 0.095€

(- kWh başına sera etkisi cezası 0.04€ 'dur.)

664,3 kWh için;

$$- 576,23 \times 700 = \mathbf{403.361 \text{ €}}$$

$$- 576,23 \times 8000 \times 0.026 = \mathbf{119.855 \text{ €}}$$

$$- 576,23 \times 0.095 \times 8000 = \mathbf{437.934 \text{ €}}$$

Yıllık toplam maliyet : $403.361 + 119.855 + 437.934 = \mathbf{961.150 \text{ €}}$ bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise $119.855 + 437.934 = \mathbf{557.789 \text{ €}}$ olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

$$576,23 \times 8000 \times 0.14 = \mathbf{645.377 \text{ €}}$$
 yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.6 yıl** bulunur.

8.2 100 ton / gün Tavuk Gübresi Elde Edilmesi Durumu

8.2.1 Analiz değerleri ve kabullerin I. yöntemle göre yapılması durumunda

Türkiye şartlarında 1 kanatlı hayvan günde ortalama 200 g dışkı üretmektedir. Tavuk gübresi organik katı madde oranı ise %25'tir. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken, reaktörün 20 günlük malzemeyi ve %20

ön gaz depolama hacmi birlikte toplam hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kWh satış miktarı 14 € centtir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL - 40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir, buna göre;

Reaktör kapasitesi

$100000 / 0.2 = 500.000$ Kanatlı Hayvan bulunmaktadır.

Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, Reaktör Kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %25 olan organik katı madde miktarının %10 a seyreltilmesi gerekmektedir;

$100 \text{ ton/gün} \times 0.25 = 25 \text{ ton / gün OKM (Organik Katı Madde)}$

$25 \text{ ton/gün} \times 100 / 10 = 250 \text{ ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)}$

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 hata payıyla birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır.

$250 \times 20 = 5000$ ton malzeme için,

$5000 + 5000 \times 0,2 = 6000 \text{ m}^3$ hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times 365 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \times 140 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 5,2 \text{ kw} / \text{m}^3}{8000 \text{ saat} / \text{yıl}} = 321,5 \text{ kWh Enerji kapasitesi}$$

Ko-jenaratör %40 verimle çalışmaktadır, buna göre ;

$321,5 \times 0,4 = 1328,6 \text{ kWh}$ **Elektrik enerjisi**

$321,5 \times 0,6 = 1992,9 \text{ kWh}$ **Isı enerjisi** üretilmektedir.

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kWh elektrik enerjisi için ortalama 3000 € 'luk bir maliyete katlanması gerekmektedir. Buna göre;

$1328,6 \text{ kWh} \times 3000 \text{ €} = 3.985.800 \text{ €}$ 'luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin kWh saat başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$1328,6 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0,14 \text{ €} = 1.488.032 \text{ €}$

25 ton KM (organik gübre çıkış) x 40 = 1000 € / gün
 1000€/gün x 365 = 365.000 €
 1.488.032€ + 365.000€ = 1.853.032 € Senelik ~~g~~ beklenmektedir.
 3.985.800 €'luk toplam maliyet düşünülüğünde geri ödeme süresi;
 3.985.800 / 1.853.032 = **2,15 yıl** olacaktır.

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

Doğalgaz santrali için;

- kWh başına kurulum maliyeti 700€
- kWh başına yakıt maliyeti 0,25€ x 0,104 = 0,026€
- kWh başına işletme maliyeti 0,095€
- (- kWh başına sera etkisi cezası 0,04€ 'dur.)

1328,6 kWh için;

- 1328,6 x 700 = **930.020€**
- 1328,6 x 8000 x 0,026 = **276.348€**
- 1328,6 x 0,095 x 8000 = **1.009.736€**

Yıllık toplam maliyet : 930.020 + 276.348 + 1.009.736 = **2.216.104€** bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise 276.348 + 1.009.736 = **1.286.084€** olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

576,23 x 8000 x 0,14 = **1.488.032€** yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.6 yıl** bulunur.

8.2.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. yöntemle göre yapılması durumunda

Türkiye şartlarında 1 kanatlı hayvan günde ortalama 200g dışkı üretmektedir. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzemeyi ve %20 ön gaz depolama hacmi ile birlikte gerekli toplam hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kwh satış miktarı 14€ / cent'tir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL - 40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir,

Organik Katı Madde miktarı; 0,55 x 0,75 = 0,41 => %41

Reaktör Kapasitesi

100000 / 0,2 = 500.000 Kanatlı Hayvan bulunmaktadır.

Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, Reaktör Kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %41 olan organik katı madde miktarının %10 a seyreltilmesi gerekmektedir;

$$100 \text{ ton/gün} \times 0.41 = 41 \text{ ton / gün OKM (Organik Katı Madde)}$$

$$41 \text{ ton/gün} \times 100 / 10 = 410 \text{ ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)}$$

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 ön gaz depolama hacmi ile birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır.

$$410 \times 20 = 8200 \text{ ton malzeme için,}$$

$$8200 + 8200 \times 0.2 = \mathbf{9840 \text{ m}^3}$$
 hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times 0,55 \times 0,75 \times 400 \times 365 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \times 5,2 \text{ kw} / \text{m}^3}{8000 \text{ saat / yıl}} = 3914,6 \text{ kWh Enerji kapasitesi}$$

Ko-jenaratör %40 verimle çalışmaktadır, buna göre ;

$$3914,6 \times 0,4 = \mathbf{1565,8 \text{ kWh Elektrik enerjisi}}$$

$$3914,6 \times 0,6 = \mathbf{2348,7 \text{ kWh Isı enerjisi}}$$
 üretilmektedir.

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kwh'lik elektrik enerjisi için ortalama 3000€ 'luk bir maliyete katlanılması gerekmektedir. Buna göre;

$$1565,8 \text{ KWh} \times 3000 \text{ €} = \mathbf{4.697.400 \text{ €}}$$
 'luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin kWh saat başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$$1565,8 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0,14 \text{ €} = 1.753.696 \text{ €}$$

$$41 \text{ ton KM (organik gübre çıkışı)} \times 40 = 1640 \text{ € / gün}$$

$$1640 \text{ €/gün} \times 365 = 598.600 \text{ €}$$

$$1.753.696 \text{ €} + 598.600 \text{ €} = 2.352.296 \text{ €}$$
 Senelik gelir beklenmektedir.

4.697.400 €'luk toplam maliyet düşünüldüğünde geri ödeme süresi;

$$4.697.400 / 2.352.296 = \mathbf{1,99 \text{ yıl}}$$
 olacaktır.

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

Doğalgaz santrali için;

- kWh başına kurulum maliyeti 700€
- kWh başına yakıt maliyeti $0,25€ \times 0,104 = 0,026€$
- kWh başına işletme maliyeti 0,095€
- (- kWh başına sera etkisi cezası 0,04€ 'dur.)

1565,8 kWh için;

- $1565,8 \times 700 = 1.096.060€$
- $1565,8 \times 8000 \times 0,026 = 325.686€$
- $1565,8 \times 0,095 \times 8000 = 1.190.008€$

Yıllık toplam maliyet : $1.096.060 + 325.686 + 1.190.008 = 2.611.754€$ bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise $276.348 + 1.009.736 = 1.515.694€$ olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

$1565,8 \times 8000 \times 0,14 = 1.753.696€$ yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.6 yıl** bulunur.

8.3 100 ton / gün Mısır Silajı Elde Edilmesi Durumu

8.3.1 Analiz değerleri ve kabullerin 1. Yönteme göre yapılması durumunda

Mısır silajı organik katı madde oranı ise %28'tir. Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzeme ve %20 ön gaz depolama için gerekli toplam hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kWh satış miktarı 14€ / cent'tir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL - 40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir, buna göre ;

Reaktör kapasitesi

Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, Reaktör kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %28 olan organik katı madde miktarının %10 a seyreltilmesi gerekmektedir;

$100 \text{ ton/gün} \times 0,28 = 28 \text{ ton / gün OKM (Organik Katı Madde)}$

$28 \text{ ton/gün} \times 100 / 10 = 280 \text{ ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)}$

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 hata payıyla birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır. $280 \times 20 = 5600 \text{ ton malzeme için,}$

$5600 + 5600 \times 0,2 = 6720 \text{ m}^3$ hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times 365 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \times 250 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 5,2 \text{ kw} / \text{m}^3}{8000 \text{ saat} / \text{yıl}} = 5931,25 \text{ kWh Enerji kapasitesi}$$

Ko-jenaratör %40 verimle çalışmaktadır, buna göre ;

$$5931,25 \times 0.4 = \mathbf{2372,2 \text{ kWh Elektrik enerjisi}}$$

$$5931,25 \times 0.6 = \mathbf{3558,7 \text{ kWh Isı enerjisi}} \quad \text{üretilmektedir.}$$

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kWh elektrik enerjisi için ortalama 3000€ 'luk bir maliyet katlanması gerekmektedir. Buna göre;

$$2732,2 \text{ kWh} \times 3000 \text{ €} = \mathbf{8.196.600 \text{ €}}$$
 'luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin kWh saat başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$$2732,2 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0,14 \text{ €} = 3.060.064 \text{ €}$$

$$28 \text{ ton KM (organik gübre çıkış)} \times 40 = 1120 \text{ €} / \text{gün}$$

$$1120 \text{ €/gün} \times 365 = 408.800 \text{ €}$$

$$3.060.064 \text{ €} + 408.800 \text{ €} = 3.468.864 \text{ €} \quad \text{Senelik gider beklenmektedir.}$$

$$8.196.600 \text{ €'luk toplam maliyet düşünüldüğünde geri ödeme süresi;}$$

$$8.196.600 / 3.468.864 = \mathbf{2,36 \text{ yıl}} \quad \text{olacaktır.}$$

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

Doğalgaz santrali için ;

$$\text{- kWh başına kurulum maliyeti } 700 \text{ €}$$

$$\text{- kWh başına yakıt maliyeti } 0.25 \text{ €} \times 0.104 = 0,026 \text{ €}$$

$$\text{- kWh başına işletme maliyeti } 0,095 \text{ €}$$

$$\text{(- kWh başına sera etkisi cezası } 0.04 \text{ € 'dur.)}$$

2732,2 kWh için;

$$\text{- } 2732,2 \times 700 = \mathbf{1.912.540.020 \text{ €}}$$

$$\text{- } 2732,2 \times 8000 \times 0.026 = \mathbf{568.297 \text{ €}}$$

$$- 2732,2 \times 0.095 \times 8000 = \mathbf{2.076.472\text{€}}$$

Yıllık toplam maliyet : $1.912.540 + 568.279 + 2.076.472 = \mathbf{4.557.291\text{€}}$ bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise $568.279 + 2.076.472 = \mathbf{2.644.751\text{€}}$ olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

$$2732,2 \times 8000 \times 0.14 = \mathbf{3.060.064\text{€}}$$
 yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.6 yıl** bulunur.

8.3.2 Analiz değerleri ve kabullerin II. Yönteme göre yapılması durumunda

Reaktöre gübrenin %10 katı madde oranıyla gönderilmesi gerekmektedir. Reaktör hesabı yapılırken reaktörün 20 günlük malzemeyi ve artı %20 hata payıyla birlikte barındırabilecek hacme sahip olmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin kwh satış miktarı 14€ / cent'tir. Organik gübrenin 1 tonu ise 60 TL -40 € dur. Reaktör ise yılda 8000 saat çalışma kapasitesine sahiptir,

$$\text{Organik Katı Madde miktarı; } 0.33 \times 0.95 = 0.31 \Rightarrow \%31$$

Reaktör kapasitesi

Yapılan hesaplar yıllık bazda yapılmalıdır, Reaktör Kapasitesi;

Yapılan gübre analizleri sonucunda %31 olan organik katı madde miktarının %10 a seyreltilmesi gerekmektedir;

$$100 \text{ ton/gün} \times 0.31 = 31 \text{ ton / gün OKM (Organik Katı Madde)}$$

$$31 \text{ ton/gün} \times 100 / 10 = 310 \text{ ton/gün malzeme (sulandırılmış gübre)}$$

Buradan yola çıkılarak reaktör %20 hata payıyla birlikte 20 günlük malzemeyi depo edebilecek boyutta olmalıdır.

$$310 \times 20 = 6200 \text{ ton malzeme için,}$$

$$6200 + 6200 \times 0.2 = \mathbf{7440 \text{ m}^3}$$
 hacme sahip bir reaktör gerekmektedir.

Santralin elektrik-ısı enerjisi üretimi

$$\frac{100 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times 0,33 \times 0,95 \times 650 \times 365 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \times 5,2 \text{ kw / m}^3}{8000 \text{ saat / yıl}} = 4834,5 \text{ kWh Enerji kapasitesi}$$

Ko-jenaratör %40 verimle çalışmaktadır, buna göre ;

$$4834,5 \times 0.4 = \mathbf{1933,7 \text{ kWh Elektrik enerjisi}}$$

$$4834,5 \times 0.6 = \mathbf{2900,7 \text{ kWh Isı enerjisi}} \quad \text{üretilmektedir.}$$

Enerji üretimi için kurulacak tesis maliyeti

Biyogaz üretim tesisi yani biyogaz elektrik santrali için her kwh'lik elektrik enerjisi için ortalama 3000€'luk bir maliyete katlanması gerekmektedir. Buna göre;

$$1933,7 \text{ KWh} \times 3000 \text{ €} = \mathbf{5.801.288 \text{ €}}$$
 'luk bir tesis maliyetine katlanılmalıdır.

Kurulacak olan tesisin geri ödeme süresi

Üretilen elektrik enerjisinin KWh saat başına 14 €/cent değerinde satılması planmakta, ve işlem sonucunda oluşacak gübrenin satış fiyatı ise 40 € kabul edilmektedir. Reaktör ise senede 8000 saat çalışacak kapasiteye sahiptir. Buna göre;

$$1933,7 \text{ kWh} \times 8000 \text{ saat} \times 0,14 \text{ €} = 2.165.744 \text{ €}$$

$$31 \text{ ton KM (organik gübre çıkış)} \times 40 = 1240 \text{ € / gün}$$

$$1240 \text{ €/gün} \times 365 = 425.600 \text{ €}$$

$$2.165.744 \text{ €} + 425.600 \text{ €} = 2.591.344 \text{ €}$$
 Senelik ~~gür~~ beklenmektedir.

5.801.288 €'luk toplam maliyet düşünüldüğünde geri ödeme süresi;

$$5.801.288 / 2.569.344 = \mathbf{2,23 \text{ yıl}}$$
 olacaktır.

Üretilen elektrik enerjisinin doğalgaz enerji eşdeğer miktarı

Doğalgaz santrali için;

- kWh başına kurulum maliyeti 700€

- kWh başına yakıt maliyeti $0.25 \text{ €} \times 0.104 = 0.026 \text{ €}$

- kWh başına işletme maliyeti 0.095€

(- kWh başına sera etkisi cezası 0.04€ 'dur.)

1933.7 kWh için;

$$- 1933.7 \times 700 = \mathbf{1.353.590 \text{ €}}$$

$$- 1933.7 \times 8000 \times 0.026 = \mathbf{402.209 \text{ €}}$$

$$- 1933.7 \times 0.095 \times 8000 = \mathbf{1.469.612 \text{ €}}$$

Yıllık toplam maliyet : $1.353.590 + 402.209 + 1.469.612 = \mathbf{3.225.411 \text{ €}}$ bulunur.

Her yıl katlanılacak maliyet ise $402.209 + 1.469.612 = \mathbf{1.871.821 \text{ €}}$ olarak bulunur.

Geri ödeme süresi ;

$$1933,7 \times 8000 \times 0.14 = \mathbf{2.165.744 \text{ €}}$$
 yıllık gelir elde edilmektedir.

Buradan geri ödeme süresi ise **4.6 yıl** bulunur.

9. DENEYSEL ÇALIŞMA

9.1 Deney Düzenine Tanıtılması

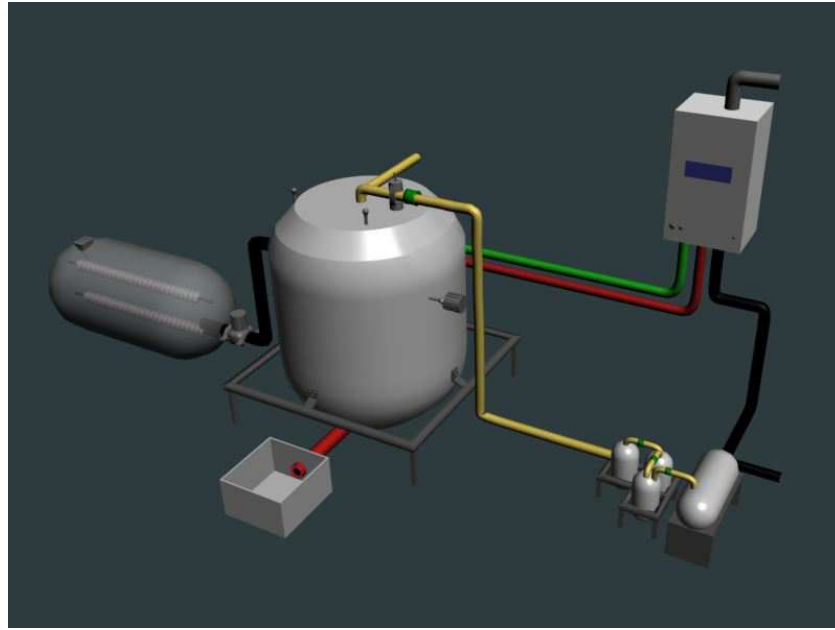
Afyon ili Döğer kasabasında bir köy evinde kurulan biyogaz sistemi Şekil 9.1'de görüldüğü üzere; gübre ön hazırlama ünitesi, biyogaz reaktörü, gaz iyileştirme üniteleri ve üretilen gazın kullanıldığı üniteler olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Biyogaz sistemlerinde öncelikli olarak kullanılacak olan hammaddenin katı madde miktarı, katı madde içerisinde ki organik katı madde miktarı, mevcut minerallerin değerlerinin uygun oranlarda olması iyi bir fermentasyon için gerekmektedir. Kullanılacak olan hammaddenin hazırlanmasının ardından diğer önemli unsur hammaddenin fermentasyon için bekletileceği ortam olan biyogaz reaktör ünitesinin gerekli şartları sağlayacak şekilde imal edilmesidir. Sızdırmazlık, oksijensiz ortam, kabuklaşmayı önleyecek ve homojenliği sağlayacak karıştırıcı dizaynı ve iç ortam sıcaklığı gibi şartların reaktör ünitesinde sağlanması gerekmektedir. Tüm bu şartlar sağlandıktan sonra üretilen biyogazın iyileştirilmesi için gerekli ünitelerin kurulması önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, ilk olarak hayvanların bulunduğu barınakta hayvanların altından sıyrılarak toplanan taze büyükbaş hayvan dışkısı, gübre ön hazırlama ünitesinde ideal sayılabilecek katı madde oranına getirilerek eğimli bir boru vasıtasıyla biyogaz reaktörüne aktarılmıştır. Gübre ön hazırlama ünitesinde yeterli miktarda sulandırılan yani % 8-10 katı madde oranına getirilen büyükbaş hayvan dışkısı, biyogaz reaktörüne pompa yardımıyla gönderilmiştir. Afyon ili Döğer kasabasında bulunan bir ahırdan elde edilen taze hayvan dışkısından yapılan bu çalışmada gübre numunelerinin analizleri yapılmış ve katı madde miktarının analiz raporunda % 10 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle taze hayvan dışkısı gübre ön hazırlama ünitesinde sulandırılmadan sadece düşük devirlerde karıştırılarak biyogaz reaktörüne eğimli borular vasıtasıyla aktarılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi reaktörde 20 gün bekletilerek, fermentasyona uğratılmıştır. Fermentasyon sonucu açığa çıkan gaz iyileştirme ünitelerine, bileşiminde bulunan nem, H₂S ve CO₂'den arındırılmak için gönderilmiştir. H₂S ve CO₂'nin ayrıştırılma sebepleri ise sırasıyla korozyon ve sera gazı etkisine neden olmasıdır. Sistem içerisinde H₂S bulunduğu zaman; motorlar, pompalar, borular, vanalar vs. zarar görebilir. Ayrıca H₂S oranı %0,02 dolaylarında olduğunda gaz sıcaklığı 20°C'yi geçmez. Eğer %2'den fazla bir oranda bulunursa, sıcaklık 40°C'nin üzerinde olur. Sıcaklığın 40°C'nin üzerinde olması istenmeyen bir durumdur.

Nem, H₂S ve CO₂'nin sistemden bertarafı için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir;

1. Biyogaz, KOH çözeltilisinin bulunduğu üniteden geçirilir. (H₂S için)
2. Biyogaz, sönmüş kireç ünitesinden geçirilir. (CO₂ için)

3. Yanma kalitesini yükseltmek için gazın ihtiva ettiği nemin alınması gerekir. Bu nedenle üretime biyogaz silika jel ve soğutma tankından geçirilir.

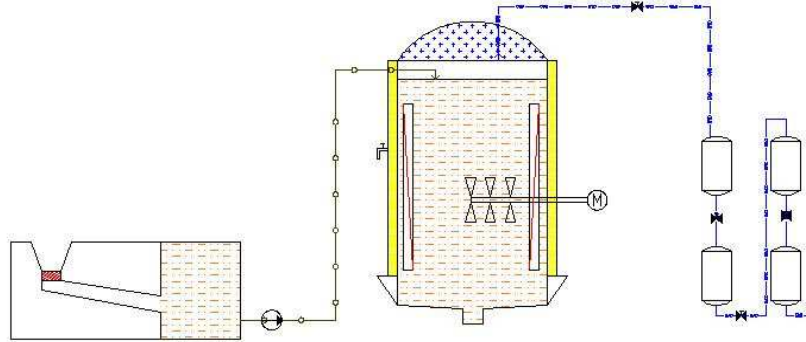
Şartları iyileştirilen gazın bir kısmı reaktör ısıtmasında kullanılmak üzere modifiye edilen şofbene ve geri kalan kısmı ise Döğer kasabasında biyogaz sisteminin kurulduğu evin ısıtılmasında ve mutfak ihtiyacının karşılanmasında kullanılmak üzere biyogaz sobasına ve ocağa gönderilmektedir.



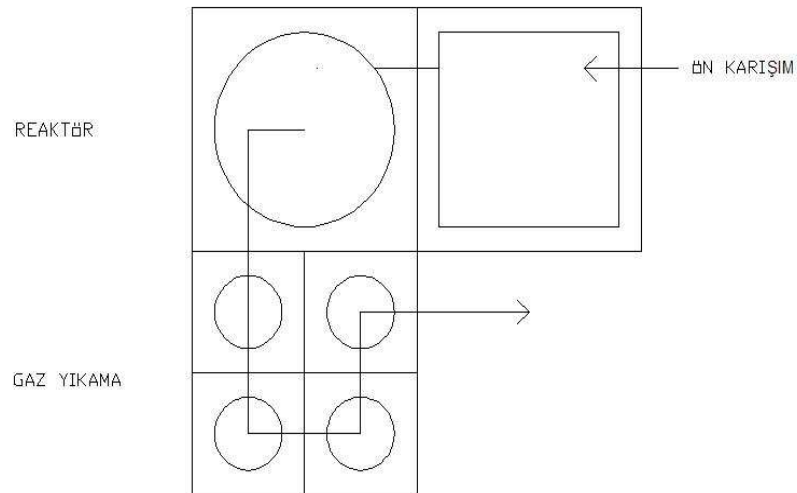
Şekil 9.1 Köy tipi biyogaz sistemi.

Şekil 9.2’de deney düzeneğinin bir başka çizimi görülmektedir. Şekil 9.2’den de görüldüğü üzere sistem gübre ön hazırlama ünitesi, biyogaz reaktörü ve gaz iyileştirme ünitesi olmak üzere en genel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır. Şekil 9.3’de sistemin yerleşke şekli görülmektedir. Biyogaz sistemi ve sistemi oluşturan bileşenler birbirleriyle kopuk olmamalıdır. Sistemin her bir bileşeni diğeriyle bağlantılı olmalı ve bu bağlantı optimum şartlarda gerçekleştirilmelidir. Gübre ön hazırlama ünitesi hayvanların bulunduğu barınaklara yakın olmalı ve elde edilen taze hayvan dışkısını ideal şartlarda hazırlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Büyük çiftliklerde hayvan dışkısı barınaklarda mevcut bulunan sıyırıcılar vasıtasıyla sürekli olarak toplanmakta ve barınakların ön tarafında mevcut bulunan gübre toplama kanallarına yönlendirilmektedir. Bu kanallarda gübre karıştırılmakta ve ardından gübre ön hazırlama ünitesine gönderilmektedir. Büyük ya da küçük ölçekli tesisler olsun yapılması gereken öncelikli konu, taze dışkıyı en ekonomik şekilde kontrol altına alabilmek ve en az süre dış

ortamda bekletmek olmalıdır. Biyogaz reaktörü gübre ön hazırlama ünitesine yakın olmalıdır. Gübre ön hazırlama ünitesi ile biyogaz reaktörü arasındaki bağlantı yapılırken mesafe ve sızdırmazlık göz önünde bulundurulmalıdır. Büyük tesisler kurulurken belirlenen arazinin eni ve boyu belirli aralıklara bölünmekte, kot ölçüleri alınmakta ve amaçlanan düzlük ayarlanmaktadır. Arazinin her noktası aynı seviyede olmalıdır. Dolayısıyla reaktörün kurulacağı zeminin düz olması önemlidir. Biyogaz reaktöründen elde edilen gaz, sızdırmazlığı sağlanmış borular vasıtasıyla belirli bir eğim değerinde ve özellikle yer altından geçirilerek gaz iyileştirme ünitelerine ve ardından enerji üretim sistemlerine yönlendirilmektedir.



Şekil 9.2 Köy tipi biyogaz sistemi deney düzeneği.



Şekil 9.3 Sistemin genel yerleşkesi.

9.2 Gübre Ön Hazırlama Ünitesi

Tez kapsamında yapılan bu deneysel çalışmada biyogaz üretimi için temel hammadde büyükbaş hayvan gübresidir. Bilindiği üzere taze dışkının katı madde oranları değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla taze dışkıdan numune alınarak gerekli analizlerin yapılması ve katı madde miktarının bu analiz sonucunda belirlenmesi gerekmektedir. Taze büyükbaş hayvan gübresinin analiz sonuçları Çizelge 9.1’ de verilmiştir. Biyogaz tesislerinde kabul edilen katı madde oranı % 8-10 dolaylarındadır. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada taze hayvan dışkısının analiz sonuçlarına göre katı madde oranı %10 dolaylarındadır. Dolayısıyla gübre ön hazırlama ünitesinde taze hayvan dışkısının sulandırılmasına gerek olmadığı belirlenmiştir. Ancak ön hazırlama ünitesinde taze hayvan dışkısının homojenliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda numune 4 kW gücünde redüktörlü motor ile 6 dev/dak hız ile dönen karıştırıcı vasıtasıyla ön hazırlıktan geçirilmiştir. Şekil 9.4’ de görüldüğü üzere gübre ön hazırlama ünitesi olarak 300 litrelik bir tank gübre yükleme ünitesi, karıştırıcı düzeneği, redüktör ve motor üniteleri ile sistem olarak imal edilmiş ve deneylerde kullanılmıştır.

Çizelge 9.1 Büyükbaş hayvan gübresi analiz değerleri.

Büyükbaş hayvan gübresi içerisindeki organik mineraller	Değerler (%)
Katı madde miktarı	10
Organik katı madde miktarı	8,3
Mineral maddeler	1,7
N	0,35
NH ₄ -N	0,13
P ₂ O ₅ (Fosfor)	0,21
K ₂ O	0,29
MgO (Magnezyum)	0,17
CaO (Kalsiyum)	0,28
S	0,04
Cu	18,1 mg/kg



Şekil 9.4 Gübre ön hazırlama ünitesi.

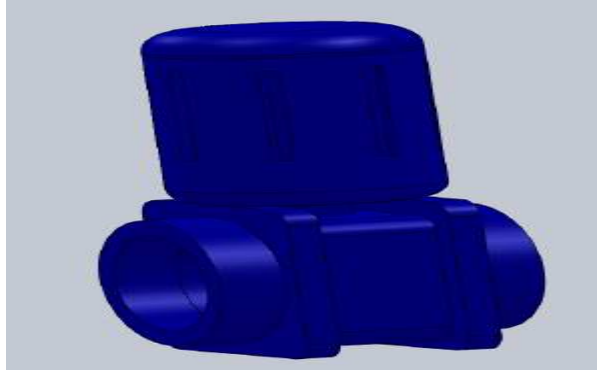


Şekil 9.5 Gübre ön hazırlama ünitesi karıştırıcı sistemi.

Şekil 9.5’de gübre ön hazırlama ünitesinin içinde bulunan karıştırıcı bıçakları görülmektedir. Karıştırıcı sisteminde iki adet mil ve millerin her birinin etrafında 8’er adet parçalayıcı bıçaklar kullanılmıştır.

Gübre ön hazırlama ünitesinde homojen hale getirilen gübre 150 mm çapında % 10 eğimli PVC boru vasıtasıyla kendi cazibesıyla biyogaz reaktörüne yönlendirilmektedir. Biyogaz

reaktörü içerisindeki gübrenin fermantasyonu tamamlandıktan sonra dışarı alınması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda dakikada 2500 litre emme basma kapasitesine sahip 3000 dev/dakika, 3 kW gücünde salyangoz santrüfuj pompa kullanılmıştır.



Şekil 9.6 Pompa ünitesi.

9.3 Biyogaz Reaktörü

Biyogaz reaktörü 4mm paslanmaz çelik sactan 2.5 m düz ve 0.5 m konik kısım olmak üzere toplamda 3 m yüksekliğinde ve 2,5 m çapında imal edilmiş olup toplam hacmi yaklaşık 15 m³'tür. Biyogaz reaktör ünitesinin iç kısmı 6 mm kalınlığında fiber malzemenin imal edilmiştir. Fiber malzeme ile biyogaz reaktör imalatı yapılmadan önce paslanmaz çelik sac malzemenin ana kalıbın imalatı yapılmıştır. 6 mm kalınlığında imal edilen kalıp tank içerisinde fiber malzeme yapıştırıcı vasıtasıyla yapıştırılarak imal edilmiştir. Şekil 9.7'de biyogaz reaktörü imalatında kullanılan fiber malzeme ana kalıbı görülmektedir.



Şekil 9.7 Biyogaz reaktörü fiber malzeme ana kalıbı.

Şekil 9.8’de kalıp içerisinde imal edilen ve ardından kalıbı çözülerek içerisinde kalıbın şeklini almış olan fiber malzemedan imal edilmiş olan 15 m³ hacmindeki biyogaz reaktör ünitesi görülmektedir



Şekil 9.8 Fiber malzemedan yapılmış biyogaz reaktörü.

Reaktör ünitesinin iç kısmında fiber malzeme kullanılmasının nedeni fiber malzemenin hem iyi bir sızdırmazlık sağlayarak uzun yıllar kullanılabilmesi hem de korozyona karşı dayanıklı olmasıdır. Bilindiği üzere reaktör içerisinde fermantasyon sürecinde bakterilerin uygun fermantasyon şartlarını olumsuz yönde etkileyecek her türlü değişiklik istenmeyen bir durumdur. Bakteriler antibiyotik, paslanma, iç ortama hava ve su girişleri, ani sıcaklık değişimleri ve yüksek devirlerdeki karışma hızları gibi faktörlerden etkilenmektedir. Fiber malzeme bu olumsuz şartlar içerisinde paslanma ve sızdırmazlık problemlerini en uygun şartlarda çözmektedir. Biyogaz reaktörünün üst kısmına paslanmaz çelik sactan yapılmış bir kapak yerleştirilmiştir. Kapak ile biyogaz reaktörünün üst kısmı arasında sızdırmazlığın sağlanması için keçe, plastik conta, silikon kullanılmış ve kapak ile reaktör arasında ki bağlantı 40 adet civata kullanılarak sağlanmıştır. Kapak kısmına 3 bar emniyet ventili ve 1 bar yağlı manometre yerleştirilmiştir. Biyogaz reaktörü içerisindeki gübre-su karışımının fermantasyonu için gerekli olan 38 °C sabit iç ortam sıcaklığının sağlanması için reaktör ünitesinin yan yüzeylere 20*2 mm serpantin şeklinde 30 m ısıtma borusu ve taban alanına 40*50 cm ölçülerinde ve 0.75 mm kalınlığında krom malzemedan imal edilmiş tank yerleştirilmiştir.

Kangal şeklinde yan yüzeylere döşenen ve sabitlenen boru boyu, tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan bir hesaplama programı ile belirlenmiştir. Çizelge 9.3'de biyogaz reaktörünün ısı kaybı hesabı yapılmış ve hem bu ısı kaybını karşılayacak hem de uygun fermantasyon şartlarını sağlayacak ısıtma boru boyu verilmiştir. Elde edilen biyogazın bir kısmı piyasadan temin edilen ve bazı değişiklikler yapılarak biyogaza uyumlu hale getirilmiş olan şofben de yakılarak ısı elde edilmekte ve elde edilen bu ısı biyogaz reaktörünün ihtiyaç duyduğu sabit iç ortam sıcaklık değerini karşılamada kullanılmak üzere serpantin şeklindeki borulara pompalanmaktadır. Reaktörün en üst kısmında gübre giriş borusu ve valfi, en alt kısmında ise gübre çıkış borusu ve valfi vardır. Gübre çıkış borusu reaktör tabanından 20 cm yukarıda kurtağzı şeklinde yapılmıştır. Çıkış borusu 150 mm çapında PVC borudan olup reaktör içerisinde düz bir şekilde yukarı doğru çıkmakta ve çıkış ağzı üst kısımda yer almaktadır. Giriş ve çıkış arasında ki bu yükseklik farkının yapılmasının nedeni denge basıncı oluşuncaya kadar bir basınç ortamının oluşmasını sağlamak ve bu basınç sayesinde gübrenin kendi kendine atık gübre ünitesine hareketini gerçekleştirmektir. Ayrıca yüzeyde kabuk oluşumunu engellemek için biyogaz reaktörünün üst kapak kısmının reaktör ünitesinin iç kısmına bakan tarafına belirli yerlerinden delikler açılmış boru kaynak edilmiştir. Bu şekilde gübre çıkış borusuna belirli zaman aralıklarında bağlantısı yapılan püskürtme borusu sayesinde hem fermente olmuş gübre ilave edilmekte hem de en üst kısımda ki gübrede oluşabilecek kabuklanmanın engellenmesi amaçlanmıştır. Reaktör hacminin %75'i dolunca tüm vanalar hava girmesini engellenmek için kapatılmıştır. Sızdırmazlıkta iyi bir çözüm olan küresel vanalar kullanılmıştır.

Biyogaz reaktörüne yaklaşık 10 ton gübre konulmuş ve reaktör ünitesinin iç ortam sıcaklığı mümkün olduğunca 38 °C değerinde sabit tutulmaya çalışılmıştır. İlk zamanlar üretilen biyogaz olmadığı için gerekli ısı enerjisi elektrikli sıcak sulu bir şofben ve güneş enerjisiyle karşılanmaya çalışılmıştır. Deneye başladıktan yaklaşık 4 gün sonra biyogaz reaktörü içerisindeki gübrede kabarcıklar oluşmaya başlamış ve gaz üretiminin başladığı gözlemlenmiştir. Her geçen gün gübrede ki fermantasyon ilerlemeye başlamış ve metan oluşum evresi daha da belirginleşmiştir. Deneyin 18. gününde elde edilen biyogaz iyileştirme ünitelerinden geçirildikten sonra yanmaya başlamıştır. Reaktör ünitesi içerisinde ki basınç ilk 18 gün içerisinde her geçen gün artmıştır. Bunun nedeni oluşan gazın 18. güne kadar tam olarak yanmaya hazır hale gelmemesi ve dolayısıyla kullanılmamasıdır. Gaz yanmaya başladığında gerekli ortamlarda kullanıldığı için basınç değeri uygun aralıkta kalmaktadır.



Şekil 9.9 Biyogaz reaktörünün üstten görünüşü.



Şekil 9.10 Biyogaz reaktörü koruyucu kafes sistemi ve bağlantılar.

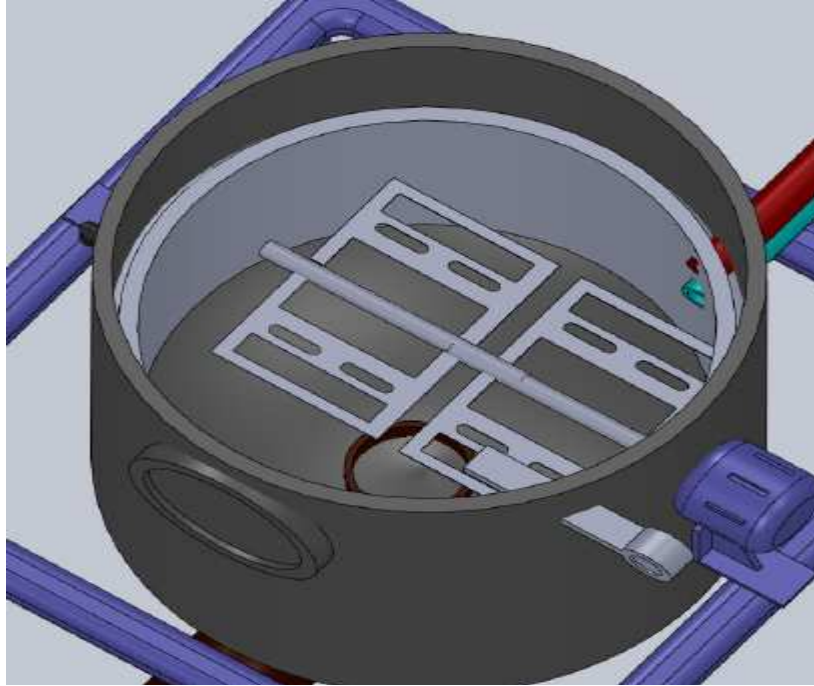
Isı kayıplarını engellemek ya da en aza indirmek için Reaktör ünitesinin dış kısmı cam yünü ile yalıtılmış ve cam yününün üzeri ayrıca ziftli kağıtla sarılmıştır. Ayrıca biyogaz reaktörüne cam yünü ile izole edilirken dış kısmı profil sac parçaları ile kafes şeklinde desteklenmiştir. Bu şekilde izolasyonun reaktör ünitesi etrafında düzenli bir şekilde kalması sağlanmıştır. Şekil 9.11 ve şekil 9.12’de biyogaz reaktörüne uygulanan izolasyon çalışması görülmektedir.



Şekil 9.11 Biyogaz reaktörü izolasyon çalışması.



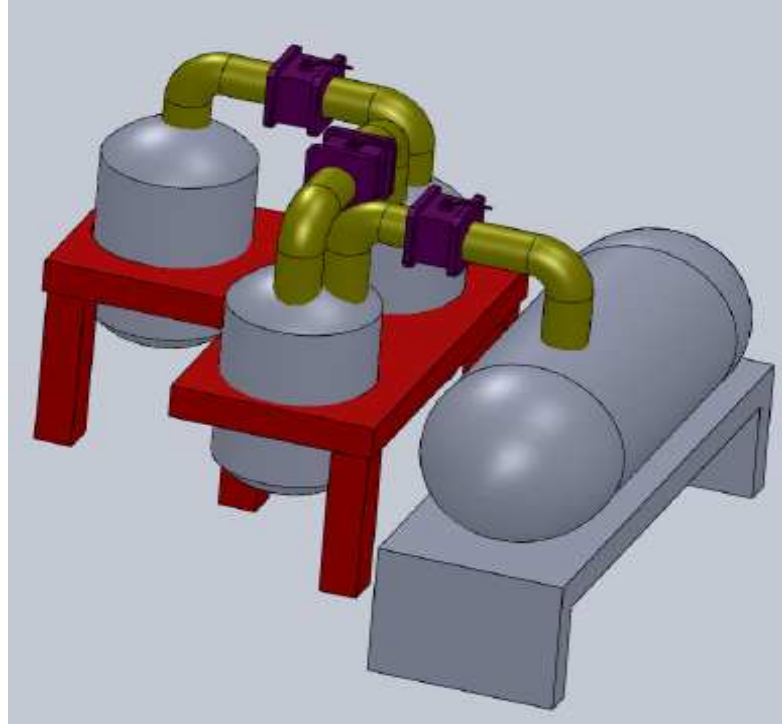
Şekil 9.12 Biyogaz reaktörü izolasyon çalışması ve kafes sistemi.



Şekil 9.13 Biyogaz reaktörünün üstten görünüşü.

Şekil 9.13’de reaktörün üstten görünüşü görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, reaktörün içinde karıştırıcı, ısıtma sistemi ve ölçü aletleri bulunmaktadır. Isıtma sistemi fermantasyonun gerçekleşmesi için gerekli olan 36-38 °C sıcaklığını sağlamak için tasarlanmıştır. Deneysel çalışmada ölçü aletleri olarak termometre ve pH metre kullanılmıştır. Termometre, reaktör iç ortam sıcaklığını 36-38 °C’ da tutabilmek için, pH metre ise fermantasyonun gerçekleşeceği pH değerini 7 seviyesinde tutabilmek için gereklidir. Karıştırıcı ise ön hazırlık ünitesinden gelen karışımı 6 d/dk hız ile karıştırarak hızlı bir şekilde fermantasyon işleminin gerçekleşmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Reaktörün alt kısmında, gazı alınan karışımın organik gübre olarak kullanılması için vana kontrollü boru mevcuttur.

9.4 Gaz İyileştirme Ünitesi



Şekil 9.14 Gaz iyileştirme üniteleri.

Şekil 9.14’de görüldüğü gibi sehpa üzerine dizilmiş 4 adet tüp gaz iyileştirme ünitelerini oluşturmaktadır. Tüpler içerisinde KOH çözeltisi, sönmüş kireç, su, talaş ve slikaajel bulunmaktadır. 60 litre hacminde ki tüp içerisinde su ile karıştırılarak hazırlanan KOH çözeltisi, reaktörde üretilen biyogaz içerisinde bulunan H_2S ’ in tutulması için kullanılmaktadır. 30 litre hacme sahip tank içerisinde bulunan $10*10*30$ cm ölçülerinde dikdörtgenler prizması şeklindeki kabın içerisinde bulunan sönmüş kireç ve talaş CO_2 ’in gazdan uzaklaştırılması için ve slikaajel ise gazdaki nemin alınması içindir. En son kısım olan 60 litrelik su tankı ise gazın neminin alınarak yanma veriminin yüksek olması için tasarlanmıştır. Su tankından çıkan gazın bir kısmı reaktörü ısıtacak olan şöbenede, bir kısmı ise ısıtma amacı için şebekeye verilecektir.

Reaktörün üst kısmında oluşan biyogaz henüz yanmaya hazır değildir. İçeriğindeki CO_2 ve H_2S ’in ayrıştırılıp metan oranının artması sağlanmalıdır. Reaktörün üst kısmındaki mini küresel vana açılır ve biyogaz kendi basıncı ile su yıkama ünitesine gelir. Gaz kendi basıncı ile suyun ağırlığını yenerek ve suyla temas ederek içeriğindeki CO_2 i suya bırakıp ünitenin üst kısmında toplanır. Yıkama ünitesinden CO_2 ’yi bırakıp gelen biyogaz, içinde kireç ve talaş parçacıkları bulunan ikinci CO_2 tutma ünitesinden geçirilir. Biyogazın içeriğindeki H_2S ’in ayrıştırılması için hazırlanmış olan KOH-su çözeltisi tankı içerisinden geçirilir. Biyogazın

yanmaya hazır hale gelmesi için içerisinde ki nemin alınması gerekmektedir. Gazın neminin alınması için uygulanan bazı yöntemler vardır. Gazın ya soğutulması ya da bazı kimyasal malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada gazın neminin alınması için silika jel kullanılmıştır.

Yanma için sadece basınç ayarlaması yeterlidir. Elde edilen biyogazı doğalgazlı kombide kullanabilmek için basıncın 21 mbar olması gerekir. Düzenliğimizde 30 mbar basınç regülatörü kullanıp elde edilen biyogaz iyileştirildikten sonra ihtiyaç duyulan yerlerde yakılmıştır.



Şekil 9.15 Deney düzeneğinde kullanılan gaz iyileştirme üniteleri.

Şekil 9.15’de Afyon ili Döğür kasabasında kurulan biyogaz sistemi bileşenlerinden olan gaz iyileştirme ünitelerinin resmi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere gaz iyileştirme üniteleri olarak LPG tankları kullanılmıştır. Tanklar, gaz iyileştirme ünitesi olarak kullanılmadan önce temizlik işlemine tabi tutulmuşlardır.

Çizelge 9.2 Biyogaz sisteminde kullanılan malzemeler ve fiyatlandırma.

MALZEMENİN ADI	AÇIKLAMA	MİKTAR	BİRİM FİYATI (TL)	TOPLAM (TL)
BİYOĞAZ REAKTÖRÜ	15 m ³ 'lük reaktör için polyester	18 kg*40 adet	80	3200,00
KAFES TELİ	15 M ³ 'lük reaktör için elyaf	100 m ² *2	700	1400
ZİFTLİ KAĞIT	Reaktör yalıtım malzemesi	90 m	1.25	112,500
CAM YÜNÜ (10 CM'LİK)	Reaktör yalıtım malzemesi	90 m	3.00	270,00
KUM	Reaktörün yerleştirileceği zemin için	20 m ³	12,00	240,00
PASLANMAZ ÇELİK SAC	Reaktör ünitesinin dış kısmı	300 kg	6	1800,00
EMNİYET	Biyogaz reaktörü emniyet tertibatı	2	300,00	600,00
KAPAK VE MANUEL KARIŞTIRICI	Kapakla entegre edilmiş manuel karıştırıcı ile gübrenin homojenliğini sağlamak	2	500,00	1000,00
ÇELİK DÜBEL		2	50,00	100,00
CİVATA SOMUN		2	60,00	120,00
GAZ BORUSU		2	100,00	200,00
KARIŞTIRMA DÜZENEĞİ	Gübre ön hazırlama tankı ve mikseri (3 BG gücünde redüktörlü motor ve 2 m ³ hacminde ön hazırlama tankı)	1	1.000,00	1.000,00
KEPÇE MAKİNA	Çukur açılması	2 Adet (6 saat çalışma süresi)	300,00	600,00
GÜBRE POMPASI		1	600,00	600,00
ISITMA SİSTEMİ VE TESİSATI	Biyogaz reaktörünün ihtiyaç duyduğu sabit iç ortam sıcaklığının sağlanması	0.3 m ³ 'lük Krom-Nikel tank*2	300,00	600,00
ISITICI ŞOFBEN	Otomatik ısı ayarlayıcılı	1	500,00	500,00
GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ	Güneş ışınımının yeterli olduğu zaman dilimlerinde reaktörün ısı ihtiyacını karşılamak için vakumlu güneş kolektörü ve depose	1	1300,00	1300,00
BİYOĞAZ REAKTÖRÜ İŞÇİLİK	Elyaf ve polyester malzemeden imal edilen reaktörün imalat işçiliği	2	1500,00	3000,00
USTA YÖVMİYE		3	500	1500,00
		TOPLAM	16.642,500	

Çizelge 9.2'de Afyon ili Döğre kasabasında yapılan 15 m³ hacme sahip biyogaz sisteminin kurulması için gerekli olan malzemeler ve fiyatlandırmalar belirtilmiştir. Çizelge 9.2'de; biyogaz reaktörünün yapımında kullanılan fiber malzemenin miktarı ve tutarı, reaktör ünitesinin dış kısmını oluşturan paslanmaz çelik sac miktarı ve tutarı, gübre ön hazırlama ünitesi, gaz iyileştirme üniteleri, izolasyon malzemeleri, gübre ve gaz taşıma boruları, pompa ve diğer parçalar ile biyogaz reaktörünün ihtiyaç duyduğu sabit iç ortam sıcaklığını sağlamak için

gerekli olan ısıtma sistemleri tutar ve miktarları ile birlikte belirtilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi tüm sistemin toplam maliyeti yaklaşık 16.642 TL olarak hesaplanmıştır.

Biyogaz reaktörü içerisindeki gübre-su karışımının fermantasyonu için gerekli olan 38 °C sabit iç ortam sıcaklığının sağlanması için reaktör ünitesinin ısıtılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda reaktör ünitesinin ısı kaybı hesabının yapılması gerekmektedir. Çizelge 9.3'de biyogaz reaktörünün ısı kaybı hesabı için hazırlanmış olan tablo görülmektedir. Çizelge 9.3'de reaktörün; çap, yükseklik, yalıtım malzemesi ve kalınlığı gibi değerler ve iklim verileri girildiğinde sonuçta ısıtma için gerekli boru boyu uzunluğu ve ısı ihtiyacı miktarı bulunmaktadır.

Çizelge 9.3 Biyogaz reaktörü ısı kaybı hesap tablosu.

BİYOĞAZ REAKTÖRÜ ISI KAYBI HESABI		
REAKTÖR ÇAPINI GİRİNİZ (mm)	2700	mm
REAKTÖR YÜKSEKLİĞİNİ GİRİNİZ (metre)	1,5	M
ALT BOMBENİN YÜKSEKLİĞİNİ GİRİNİZ (mm)	60	mm
ÜST BOMBENİN YÜKSEKLİĞİNİ GİRİNİZ (mm)	1500	mm
REAKTÖRÜN ÇALIŞMA SICAKLIĞINI GİRİNİZ (°C)	35	°C
REAKTÖRÜN KURULDUĞU YERİN EN DÜŞÜK SICAKLIĞINI GİRİNİZ (°C)	-12	°C
REAKTÖR MALZEMESİNİN KALINLIĞINI GİRİNİZ (mm)	1,5	mm
REAKTÖR MALZEMESİNİN ISI İLETİM KATSAYISINI GİRİNİZ (W/mK)	14,9	W/mK
KULLANILAN YALITIMIN KALINLIĞINI GİRİNİZ (mm)	80	mm
YALITIMIN ISI İLETİM KATSAYISINI GİRİNİZ (W/mK)	0,034	W/mK
REAKTÖRE YAPILACAK GÜNLÜK BESLEME MİKTARI (kg)	1000	Kg
VERİLEN ALT BOMBE YÜKSEKLİĞİ İÇİN ALT KÜRENİN YARIÇAPI (m)	15,218	M
ALT BOMBENİN YÜZEY ALANI (m ²)	5,734	m ²
ALT BOMBENİN HACMİ (m ³)	0,17179	m ³
VERİLEN ÜST BOMBE YÜKSEKLİĞİ İÇİN ÜST KÜRENİN YARIÇAPI (m)	1,358	M
ÜST BOMBENİN YÜZEY ALANI (m ²)	12,788	m ²
ÜST BOMBENİN HACMİ (m ³)	6,05824	m ³
REAKTÖRÜN ÇEVRESİ (m)	8,478	M
REAKTÖRÜN YANAL ALANI (m ²)	12,717	m ²
304 PASLANMAZ ÇELİK SAC İLE REAKTÖRÜN YAN YÜZEYİNİN AĞIRLIĞI (kg)	150,696	Kg
REAKTÖRÜN TOPLAM HACMİ (m³)	14,814	m³
REAKTÖRÜN TOPLAM YÜZEY ALANI (m²)	31,239	m²
REAKTÖRÜN ISI KAYBI (W)	631,728	Watt
REAKTÖRE GÜNLÜK BESLENECEK GÜBRE İÇİN GEREKEN ISI MİKTARI (W)	1354,630	Watt
REAKTÖRÜN GÜNLÜK ISI İHTİYACI (W)	1986,357	Watt
REAKTÖRDEKİ ISI KAYBINI KARŞILAMAK İÇİN GEREKLİ BORU BOYU (m)		
KULLANILACAK PVC BORU DIŞ ÇAPINI GİRİNİZ 16-18-20-25-32 (mm)	20	mm
ISITMA BORULARI İÇİNDEKİ SUYUN AKIŞ HIZINI GİRİNİZ (m/s)	1	m/s
PVC BORUNUN ISI İLETİM KATSAYISINI GİRİNİZ (W/mK)	0,4	W/mK
REAKTÖR ISITMA SUYUNUN GİRİŞ SICAKLIĞINI GİRİNİZ (°C)	55	°C
REAKTÖR ISITMA SUYUNUN ÇIKIŞ SICAKLIĞINI GİRİNİZ (°C)	37	°C
REAKTÖR SIVISININ ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK).....k	0,634	W/mK
REAKTÖR SIVISININ KİNEMATİK VİSKOZİTESİ (m ² /s)v=μ/ρ	6,36731E-07	m ² /s
REAKTÖR SIVISININ ISIL YAYILMA KATSAYISI (m ² /s)α=k/(ρ*Cp)	1,53089E-07	m ² /s
REAKTÖR SIVISININ HACİMSSEL ISIL GENLEŞME KATSAYISI (1/K)β=1/T	0,0004004	1/K
PRANDTL SAYISI	4,16	
RAYLEIGH SAYISI = [g*β*(T _o -T _∞)*D ³]/[v*α]	3542451,228	
Nu _{dis} =(0,6+[0,387Ra ^(1/6)]/[1+(0,559/Pr) ^(9/16)] ^(8/27)) ²	24,975	

Çizelge 9.3 (devam)

$h_{dış}=Nu*k/D$(W/m ² K)	791,719	W/m ² K			
REYNOLDS SAYISI $=u*d/v$	27424,610				
$Nu_{ic}=0,023*Re^{0,8}*Pr^{0,3}$	121,659				
$h_{ic}=Nu*k/d$	4866,342	W/m ² K			
REAKTÖR ISITMA SUYUNUN ORTALAMA SICAKLIĞI (°C)T _o	46	°C			
REAKTÖR ÇALIŞMA SICAKLIĞI (°C)T _∞	35	°C			
REAKTÖR SIVISI İLE ISITICI BORULAR ARASINDAKİ ORTALAMA SICAKLIK (°C)	40,5	°C			
KULLANILAN BORUNUN CİDAR KALINLIĞI (mm)	2	mm			
1 metre PVC BORUDAN GEÇEN ISI (W/m)	97,316	Watt/m			
REAKTÖR ISITMASI İÇİN GEREKEN TOPLAM PVC BORU BOYU (metre)	20,411	M			
ISITICI BORULARIN REAKTÖRDE İÇİNDEKİ TUR SAYISI	2,408	Tur			
MAVİ BÖLGELER GİRİLMESİ GEREKEN DEĞERLERDİR.					
YEŞİL BÖLGELER SICAKLIĞA GÖRE GİRİLMESİ GEREKEN DEĞERLERDİR.					
KIRMIZI BÖLGELER İSE SONUÇLARDIR.					
REAKTÖR SIVISI İLE ISITICI BORULAR ARASINDAKİ ORTALAMA SICAKLIK (K)					
313,65					
DOYMUŞ SUYUN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ					
T_{ort} (K)	300	305	310	315	320
k (W/mK)	0,613	0,62	0,628	0,634	0,64
v=μ/ρ	8,5757E-07	7,7286E-07	6,999E-07	6,3673E-07	5,8342E-07
A	1,4713E-07	1,4914E-07	1,5137E-07	1,5309E-07	1,5481E-07
B	0,0002761	0,0003206	0,0003619	0,0004004	0,0004367
Pr	5,83	5,2	4,62	4,16	3,77
ρ (kg/m³)	997	995	993	991	989
μ (Ns/m²)	0,000855	0,000769	0,000695	0,000631	0,000577
Cp	4,179	4,178	4,178	4,179	4,18

10. MATERYAL VE METOD

Afyon ili Döğer kasabasında 15 adet büyükbaş hayvanı olan bir köy evine kurulan bu çalışmada deneylere 31.03.2009 tarihinde başlanmıştır. Yaklaşık 10 ton taze büyükbaş hayvan dışkısı, gübre ön hazırlama ünitesinde karıştırılıp homojen hale getirildikten sonra biyogaz reaktöründe anaerobik fermantasyona uğratılmaya başlanmıştır. Biyogaz reaktörü içerisindeki malzemenin fermantasyonu sürecinde sağlanması gerekli olan 38 °C sabit iç ortam sıcaklığı gaz oluşumu gerçekleşene kadar elektrikli soğutma ve güneş enerjisi sistemi ile sağlanmıştır. Deneylerimizde yaklaşık 10 ton taze inek gübresini 38°C derecede sıcaklıkta 15 m³ hacmindeki biyogaz reaktör ünitesinde beklettiğimizde, 4. günden itibaren reaktörde gübre yüzeyinde kabarcıkların oluştuğu gözlemlenmiştir Şekil 10.1'de 4. gündeki ve şekil 10.2'de ise 18. gündeki reaktör içerisinde gübrede meydana gelen oluşumlar görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere gübre yüzeyinde kabuklaşmanın 18. günde daha da belirginleştiği ve kabarcıkların daha da büyüdüğü görülmektedir. 7. günden itibaren reaktör ünitesinin kapak kısmına yerleştirdiğimiz basınç ölçerinde basınç seviyesinin yükseldiği ve 100 mbar değerinde olduğu görülmüştür. 7. günden sonra gaz oluşumu gözlemlendiği için oluşan gaz hergün yakılmaya çalışılmış ancak yanma gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni oluşan gazın yeteri kadar beklememiş ve neminin alınmamış olmasıdır. 7. günden sonra gazı hergün yakmaya çalışsakta 18. güne kadar sonuç alınamamıştır. 18. günde basınç göstergesinde gaz basıncının daha da yükseldiği ve yaklaşık 1 bar dolaylarında olduğu görülmüştür. 18. günde elde edilen gazın ilk yanması gerçekleşmiştir. Elde edilen gazın ilk yanışı ile ilgili görüntüler Şekil 10.3 ve 10.4'de görülmektedir. Elde edilen biyogaz gaz iyileştirme ünitelerinden geçirildikten sonra ocakta yemek pişirmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen biyogaz gaz iyileştirme ünitelerinin her birinden geçirildikten sonra severin marka gaz analiz cihazında sürekli ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde biyogaz içerisindeki CH₄ miktarının % 60, CO₂ miktarının % 30, H₂S miktarının ise 13 ppm dolaylarında olduğu cihazdan okunmuştur. Reaktörden elde edilen gazı taşımak için 20*6 mm ölçülerinde plastik boru kullanılmıştır. Biyogaz reaktörü ile gazın kullanıldığı mahal arasında yaklaşık 50 m gaz borusu döşenmiştir. Gaz borusu reaktörden çıktıktan sonra kullanılacağı yere kadar taşınırken mümkün olduğu kadar güneşle temas etmemesine dikkat edilmiş ve genelde yerin altından geçirilmiştir. Bunun nedeni gazın ısınmasını ve nem miktarının artmasını önlemektir.



Şekil 10.1 Dördüncü günde gübredeki oluşumlar.



Şekil 10.2 Onsekisinci günde gübredeki oluşumlar.



Şekil 10.3 Elde edilen gazın ocakta yanışı.

Şekil 10.3 ve 10.4’de elde edilen biyogazın gerekli iyileştirme ünitelerinden geçirildikten sonra mutfakta yemek pişirme ihtiyacının karşılanmasında kullanılması görülmektedir.

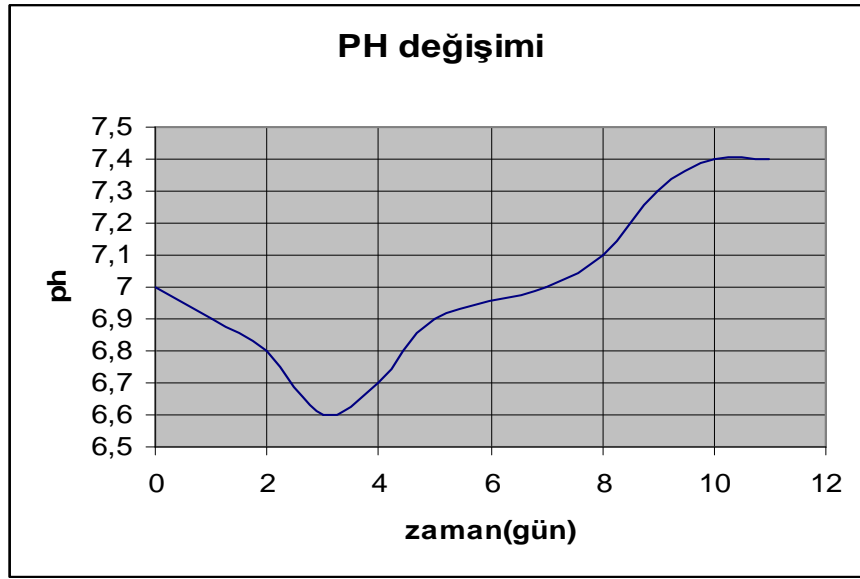


Şekil 10.4 Elde edilen gazın yemek pişirme amaçlı kullanılışı.

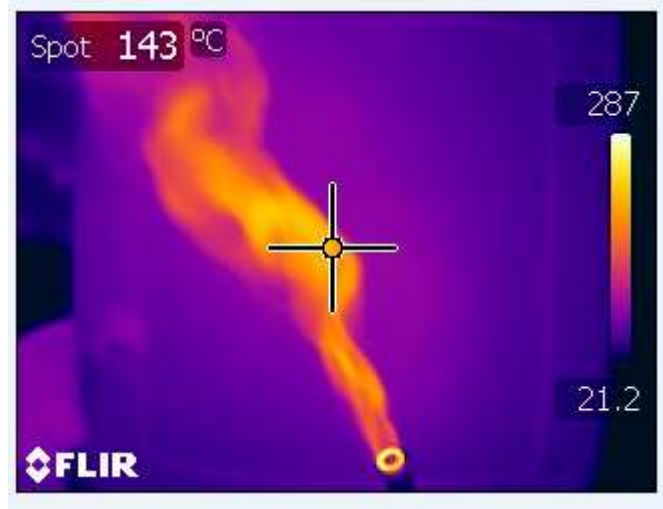
20. günden sonra reaktöre her gün 500 kg taze büyükbaş hayvan gübresi ilave edilmiş ve aynı miktarda fermente olmuş organik gübre reaktör ünitesinden deşarj edilmiştir. 20. günden sonra sistem sürekli besleme şeklinde çalışmaya başlamıştır. Hergün taze dışkı reaktör

ünitesine alınmakta ve aynı miktarda reaktör ünitesinin en alt kısmında ki fermente olmuş gübre her gün dışarı alınarak organik gübre olarak kendine ayrılmış yerde biriktirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda ton başına elde edilen biyogaz miktarı $30.5 \text{ m}^3/\text{ton}$ olarak hesaplanmıştır. 20. günden itibaren günlük 500 kg garanti gübre temin edilmiş ve yapılan gübre analiz sonucuna göre taze dışkı içerisinde % 10 katı madde oranı olduğu tespit edilmiştir. Buna göre günlük 50 kg katı madde olduğu gözlemlenmiştir. Organik katı madde miktarının yapılan analiz sonucunda % 85 olduğu ve bu orana göre günlük 42.5 kg organik katı madde elde edilmiştir. Organik katı madde miktarına göre biyogaz üretim miktarının $0.35 \text{ m}^3/\text{kg}$ olduğu belirlenmiştir. Günde yaklaşık 15.7 m^3 biyogaz üretilmiş ve yapılan gaz analiz değerlerine göre metan oranının % 60 olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu metan oranına göre üretilen 15.7 m^3 biyogazın 9.24 m^3 'lük miktarını metan oluşturmaktadır.



Şekil 10.5 Biyogaz üretimi esnasında Ph değişimi grafiği.



Şekil 10.6 Biyogazın termal kamera görüntüsü.

Şekil 10.5’de biyogaz reaktörü içerisinde 12 gün süresince pH değişimi verilmiştir. Şekil 10.5 incelendiğinde pH değişiminin 6.6 ile 7.4 arasında değiştiği ve 10.günden itibaren 7.4 değerinde sabitlendiği görülmektedir. Şekil 10.6’de elde edilen biyogazın yanma sonucu termal kamera görüntüsü verilmiştir. Elde edilen biyogaz bir boru çıkışında yakılmış ve alev sıcaklığının yaklaşık 143 °C olduğu görülmektedir. Şekil 10.7’de elde edilen biyogazın emisyon değerleri verilmiştir. CO değeri % 0.013, CO₂ değerinin %37.06, O₂ değerinin % 0.35, hidro karbon değerinin 5553 ppm ve NO_x değerinin ise 63 ppm olduğu görülmektedir.



Şekil 10.7 Biyogazın emisyon değerleri görüntüsü.

Çizelge 10.1 Biyogaz üretiminde kullanılan malzemelerin içerikleri.

1 ton taze malzemede ki katı ve organik katı madde miktarları				Katı Madde Atıklar içerisindeki Organik Maddeler								
Malzeme	katı madde DM (%)	organik katı madde ODM kg/ton	katı madde	Seluloz g/kg	Ham yağ g/kg	Protein g/kg	Karbonhidrat g/kg	1kg. Organik Katı atığın gaz verimi (lt/kg)	Metan gazı içeriği (% CH ₄)	Ton başı gaz verimi (m ³ /ton)	Enerji potansiyeli kW	Sulandırma Oranı
domuz atıkları	5,0	75,0%	37,50	150	70	180	400	550	68	20,625	140,25	0
inek gübresi	10,0	85,0%	85,00	220	30	150	400	350	60	29,75	178,5	0
tavuk gübresi(taze)	20,0	95,0%	190,00	180	10	220	340	750	66	142,5	940,5	2,0
mısır küspesi	30,0	96,0%	288,00	190	42	81	642	585	59	168,48	994,03	
taze yeşil ot	16,0	90,0%	144,00	175	40	235	450	530	63	76,32	480,81	
muhtelif organik atıklar	25,0	92,0%	230,00	63	92	130	635	630	64	144,9	927,36	
evsel yemek atıkları	18,0	92,0%	165,60	90	110	190	530	655	68	108,46	737,58	
un ve unlu m amülleri	90,0	92,0%	828,00	20	120	115	665	650	62	538,2	3336,8	
mezbaaha artıkları	18,0	98,0%	176,40	40	210	570	160	700	80	123,48	987,84	
Yağ	10,0	96,0%	96,00	0	420	540	0	1.000	85	96	816	
sızıntı (mezbaaha akıntısı)	20,0	96,0%	192,00	0	420	540	0	1.000	85	192	1632	
bira ufaltma makinesi çıkan atıklar	20,0	95,0%	190,00	193	86	250	424	580	65	110,2	716,3	
Bugday	12,0	95,0%	114,00	120	70	235	490	600	68	68,4	465,12	
misir	12,0	95,0%	114,00	120	70	235	490	660	70	75,24	526,68	
patates atıkları	12,0	94,0%	112,80	30	3	92	815	630	57	71,064	405,06	
toprak altında yetisen sebzeler (patates, havuc, turp vb)	11,0	88,0%	96,80	95	15	95	675	590	58	57,112	331,24	
turuncgiller	14,5	93,0%	134,85	224	14	70	622	520	58	70,122	406,70	
süt suyu	5,3	98,0%	51,94	0	0	0	0	657	75	34,124	255,93	
palmye yağı atıkları	90,0	51,0%	459,00	0	0	0	0	680	68	312,12	2122,4	
soya unu ve atıkları	92,0	88,0%	809,60	0	0	0	0	922	70	746,45	5225,1	

Çizelge 10.1’de farklı malzemelerin katı madde, organik katı madde miktarları, organik katı madde içerisindeki maddeler, organik katı maddeden elde edilebilecek gaz verimi, sulandırma oranları ve malzemenin her 1 tonundan elde edilebilecek biyogaz miktarları verilmiştir. Afyon ili Döğer kasabasında yapılan biyogaz reaktöründe hayvan dışkısı olarak sağmal süt ineği gübresi kullanılmıştır. İnek gübresinin katı madde miktarının % 10, organik katı madde miktarının % 85 olduğu ve organik katı madde içerisinde de 220 g/kg selüloz, 30 g/kg ham yağ, 150 g/kg protein ve 400 g/kg karbonhidrat bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 10.2’de ayrıca inek gübresi için 1 kg organik katı maddenin gaz veriminin 550 lt/kg, metan içeriğinin % 60 ve ton başına gaz veriminin ise 29.75 m³/ton değerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 10.2 Afyon ili döğer beldesinde kurulan sistemden elde edilen değerler.

KG	Populasyon	Kg	Adet	Total	Ts	Vs
35	Sağmal İnek	550	15	64	12	10
5	Buzağı	100	0	50		
6	Düve	120	0	50		
12,5	Gebe düve	250	0	50		
	Sağmal İnek Ağırlık	8250		528	Sağmal İnek Gübre	
	Buzağı Ağırlık	0		0	Buzağı Gübre	
	Düve Ağırlık	0		0	Düve Gübre	
	Gebe düve Ağırlık	0		0	Gebe düve Gübre	
	Toplam Hayvan Ağırlık	8250				
	Total B.Baş Hayvan		15	528	Total Günlük Gübre	

		B.BAŞ	
Toplam Kuru Madde	50,00	kg/gün	
Toplam Organik Kuru Madde	42,50	kg/gün	
Conv'n Eff.Dönüşüm verimliliği	54	% VS destroyed	
CH ₄ /kg VS	0,51	m ³ /kg VS destroyed	
CH ₄	11,7045	m ³ /gün	
% CH ₄	60		
CO ₂	7,80	m ³ /gün	
Biyogaz	19,51	m ³ /gün	
uçucu Katılar konsantrasyonu	42,50	kg/m ³	
günlük besleme miktarı	2	m ³	
Sulandırma Oranı	0		
Atık Sıvı Hacmi	1,00	m ³ /gün	
Bekletme Zamanı	20	Gün	
Digester Toplam Hacmi	15,67	m ³	
Toplam Atık Sıvı Günlük	0,44		
Günlük su miktarı		Ton	
Toplam kw	5,28	Kw	

Çizelge 10.2’de ise farklı hayvanların canlı ağırlıkları, herbirinden elde edilebilecek günlük gübre miktarı, sulandırma oranı, elde edilebilecek günlük CO₂ ve CH₄ miktarları belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, 50 kg/gün katı madde, 42.5 kg/gün organik katı madde, 19.5 m³/gün biyogaz ve bu biyogazın içerisinde 11,7 m³/gün CH₄ ve 7.8 m³/gün CO₂ elde edilmiştir.

Çizelge 10.3 Biyogaz sisteminden elde edilen üretim değerleri.

YÜK BAŞ HAYVAN		
GÜNLÜK BİYOGAZ ÜRETİMİ	M3	19,51
GÜNLÜK BİYOGAZ ÜRETİMİ	KG	21,69
GÜNLÜK BİYOGAZ KCAL	KCAL	109.046,93
SAATLİK BİYOGAZ KCAL	KCAL/H	4.543,62
AYLIK BİYOGAZ ÜRETİM	M3	585,23
AYLIK BİYOGAZ ENERJİ	MJ/AY	13.694,27
GÜNLÜK BİYOGAZ ENERJİ	MJ/GÜN	456,48
GÜNLÜK ELEKTRİK KWH	KWH/GÜN	126,80
GÜNLÜK KULLANILABİLİR ENERJİ	MJ/GÜN	456,48
GÜNLÜK EŞDEĞER KWH	KWH	126,80
SAATLİK (co-gen kapasitesi)	KW	5,28
SAATLİK	KCAL/H	4.543,62
YILLIK BİYOGAZ ÜRETİMİ	M3	7.122
SAATLİK BİYOGAZ ÜRETİMİ	m3/h	0,81

KATI MADDE ORANINI %10'a ORANLAMA

TOPLAM GÜBRE	KG /GÜN	500
TOPLAM KATI MADDELER	KG /GÜN	50
% 10 K.M OLMASI İÇİN SU MİKTARI	KG /GÜN	0
resirkule günlük	m3	0,44
DİGESTER HACMİ*BEKLEME SÜRESİ	KG.BES.GÜN	20
DİGESTER HACMİNDE GÜBRE	M3	10
DİGESTER ADET HACİM	M3	1
% 10 KM İÇİN GEREKEN SU MİKTARI	KG / BES.GÜN	0
DİGESTER GÜBRE MİKTARI B.B	KG / BES.GÜN	10000
DİGESTER BİYOGAZ MİKTARI B.B	M3 / BES.GÜN	19,51
YILLIK GİREN GÜBRE MİKTARI B.B	KG /YIL	182500
YILLIK BİYOGAZ MİKTARI B.B	M3/YIL	7.122
YILLIK ÇIKAN GÜBRE MİKTARI	TON/YIL	182,5
YILLIK BİYOGAZ ÜRETİMİ	M3	7.122
SAATLİK BİYOGAZ ÜRETİMİ	m3/h	0,81

BÜYÜK BAŞ HAYVAN		GÜNLÜK
EŞDEĞERİ SOMA KÖMÜR	KG	23,20
EŞDEĞERİ DOĞAL GAZ	M3	13,22
EŞDEĞERİ LPG TUP	KG	9,91
EŞDEĞERİ FUEL OİL	KG	11,85
EŞDEĞERİ ELEKTRİK KWH	KWH	126,80

CO-GENERATION SİSTEM		
YILLIK TOPLAM BİYOGAZ ÜRETİMİ	M3/YIL	7.122
SAATLİK TOPLAM BİYOGAZ ÜRETİMİ	m3 / h	0,81
TOPLAM ÜRETİLEBİLECEK ENERJİ	KWH/YIL	46.281,54
ÜRETİLECEK ELEKTRİK	KWHe/YIL	17.679,55
ÜRETİLECEK ISIL GÜCÜ TOPLAMI	KWHth/YIL	21.706,04
ÜRETİLECEK ISIL GÜCÜN D.GAZ	M3/YIL	2.262,69
EŞDE		

Çizelge 10.3 (devam)

YILLIK ELDE EDİLECEK FERMENTE GÜBRE		
GRANÜL GÜBRE	TON/YIL	61
SIVI KOMPOST GÜBRE	TON/YIL	98
Birim fiyat TL	EŞDEĞER FİYAT	SENELİK
0,34	7,89	2839,8
0,78	10,31	3711,5
2,05	20.315	7415,5
0,97	11,45	4122,4
0,17	21,30	7668,7

Birim fiyat TL	YILLIK EŞ.FAYDA	
0,34	5.945,6	ticarethane +vergili fiyat
0,78	1.764,9	doğalgaz eşdeğer
TOPLAM YILLIK FAYDA		
ISI+ELEKTRİK	7.710	
25,00	1.518	
15,00	1.469	
TOPLAM YILLIK GÜBRE GELİRİ	2.988	

TOPLAM YILLIK GELİR	10.698
----------------------------	---------------

TOPLAM Enerji	456,48	MJ/gün
Saatlik Güç	5,28	Kwh

ATIKLAR KG	GÜNLÜK ton	SENELİK ton
GÜNLÜK ÇIKAN GÜBRE	0	161
GÜNLÜK ÇIKAN GÜBRE	0	161
SEPARATÖR İLE GRANÜL GÜBRE	0	61
SEPARATÖR İLE SIVI KOMPOST GÜBRE	0	98

Sisteme Giren Ham Gübrenin Oranı			
Gübre	Miktar (ton/yıl)	Kuru Materyal Oranı (%)	18,25
Samanlı Büyükbaş Gübresi	182,50	30	
Kojenerasyon Ünitesi			
co-gen		1	Adet
Yıllık çalışma süresi		8760	Saat
Yıllık Isı ve Elektrik Üretimi	21.706	17.680	kwht / kWhe
(co-gen kapasitesi)		5	Kw
Ünite Elektrik Gücü (Top.) ISI / ELEKTRİK	2	2	Kwht / Kwe
Tüm enerjinin elektrik şeklinde kullanımı	29%	13421,64769	kWhe
Tüm enerjinin ısı şeklinde kullanımı	45%	20826,69469	kwht
Sistemin Elektrik Enerji Tüketimi	48	kwh	
Sistemin Isı Enerji Tüketimi	320	kwh	
Co *Gen sistem için kalan enerji	21.677,24	17.487,55	

CO-GENERATION SİSTEM

SAATLİK BİYOGAZ ÜRETİMİ	M3 / h	0,81
SAATLİK KALORİ DEĞERİ	Kcal / h	4.543,62
KULLANILABİLİR YAKIT ENERJİSİ	Kw / h	5,28
BİYOGAZ JENERATÖR TİPİ		
ÜRETİLEBİLECEK ELEKTRİK GÜÇ	Kwe	2,05
ÜRETİLEBİLECEK TERMİK GÜÇ	Kwth	2,57
TÜKETİLEBİLECEK BİYOGAZ MİKTARI	Nm3/h	0,81

11. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında Afyon ili Döğler beldesinde kurulan sisteminden elde edilen üretim değerleri Çizelge 10.4'de görülmektedir. Birleşik ısı ve güç üretim ünitesinde (ko-jeneratör) yakılan metan gazının ısı ve elektrik olarak toplam enerji içeriğinin 5.28 kWh olduğu hesaplanmıştır. Yıllık gübre miktarının 182.5 ton, biyogaz miktarının 7.122 m³ ve enerji potansiyelinin ise 32.576 kWh/yıl olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 10.3'de, günlük üretilen 19.51 m³ biyogaz üretimine göre, 126.80 kWh/gün elektrik enerjisi üretilebileceği görülmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan biyogaz sistemi için saatlik kapasitesi toplamda (ısı+elektrik) 5.28 kW olan ko-jeneratör seçilmesi gerekmektedir. Döğler kasabasında yapılan bu sistemden elde edilen biyogazın kömür, doğal gaz, LPG, fuel-oil ve elektrik olarak eşdeğer miktarları Çizelge 10.4' de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde üretilen günlük 19.51 m³ biyogaz, 23.20 kg soma kömürüne, 13.22 m³ doğal gaza, 9.91 kg LPG miktarına, 11.85 kg fuel-oil ve 126.8 kWh elektrik miktarına eş değer olduğu görülmektedir. Güncel elde edilen birim fiyatlara göre üretilen biyogazın senelik eşdeğer fiyatları yukarıda bahsedilen yakıtlar için verilmiştir. Çizelge incelendiğinde yıllık üretilen biyogaz örnek alınan yakıtların miktarına çevrildiğinde kömür olarak 2839.8 TL, doğalgaz olarak 3711.5 TL, LPG olarak 7415.5 TL, fuel-oil olarak 4122.4 TL ve elektrik olarak 7668.7 TL bir bedel teşkil etmektedir.

Yıllık üretilebilecek 7.122 m³ biyogazın ısı ve elektrik olarak karşılığı yaklaşık 7.710,5 TL ve toplam yıllık fermente olmuş organik gübrenin karşılığı ise 2.988 TL olarak hesaplanmıştır. Sonuçta toplamda 10.698 TL bir gelir elde edilebilecektir. Döğler kasabasında yapılan bu sistem için toplam 16.642,5 TL harcama yapılmıştır. Maliyet ve yıllık getiriler birbirine oranlandığında sistemin geri dönüş süresi yaklaşık 1.5 yıl olmaktadır. Hesaplanan bu 1.5 yıllık süre sistemin fizibil olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışma ve incelemeler sonucunda daha sonra yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacağı kaçınılmaz olan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

Günümüzde enerji, kalkınmışlığın ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Ülkemiz ürettiği enerji ile tüketimini karşılayamamaktadır. Enerji açığını dış alımlarla giderilmeye çalışılmaktadır.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının çok yakın gelecekte tükeneceği hesaplanmaktadır. Bu somut gerçek yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır.

Dünyanın birçok yerinde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde ise bu konudaki çalışmalar yeni ve yetersizdir.

Yapılan hesaplamalar Türkiye de küçümsenmeyecek bir biyogaz potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

Ülkemizde değerlendirildiği takdirde yalnızca hayvan gübresinden yılda 3 milyar m³ biyogaz elde ederek 1 milyar TL enerji tasarrufu sağlanabilir.

Biyogaz tesislerinden çıkan fermente gübrelerin kullanılmasıyla topraklarımıza her yıl azotlu, fosforlu ve potasyumlu gübre olarak 2.233.000 ton gübre elde edilebilecektir.

Biyogaz kullanımının yaygınlaşmasıyla köylerimizde odun ve kömür kullanımı azalacak, çevre ve hava kirliliğinde azalma sağlanacaktır.

Afyon ili Döğler kasabasında yapılan uygulamalı çalışmada bir köy evinde mevcut hayvanların gübrelerinden yararlanıldığı takdirde gübre miktarına bağlı olarak biyogazın üretilebileceği ve üretilen bu biyogazın ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılacağı belirlenmiştir.

Üretilen biyogazın konut ısıtmasında, sera ısıtmasında kullanılabilmesini göz ardı etmemek gerekmektedir. Biyogazın sera ısıtmasında kullanımının ayrı bir önemi vardır. Kapalı ortamlarda gündüz saatlerinde bitkilerin gerçekleştirdiği fotosentezden dolayı bir karbondioksit ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yapılan hesaplama ve deneysel çalışmalarda üretilen biyogaz içerisinde metan gazından sonra önemli bir miktarda da karbondioksit üretiminin gerçekleştiği bilinmektedir. Dolayısıyla sera ısıtmasında üretilen biyogaz içerisindeki karbondioksit bitkiler için yararlı bir gaz olarak kullanılmış olacak ve sera gazı etkisi minimize edilecektir.

Ülkemizin bir tarım ve hayvancılık ülkesi olduğu göz önüne alındığında biyogaz sistemlerinde enerjinin yanı sıra fermente olmuş organik gübre üretimide gerçekleşeceğinden, elde edilen organik gübre tarımsal alanlarda kullanılacak ve önemli ölçüde verim arttıracaktır.

Biyogaz teknolojisi organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir.

Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Atık geri kazanımı sağlar.

Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder.

Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.

Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır.

Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.

Biyogaz üretiminden yılda yaklaşık 1 milyar TL lik enerji tasarrufu sağlanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Bilgin, N., 2003, *Biyogaz nedir?*, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü
- [2] Öztürk, M., 2005, *Hayvan gübresinden biyogaz üretimi*, Çevre ve Orman Bakanlığı
- [3] J. H. Ahn, C. F. Forster, 2000, A Comparison of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Upflow Filters, *Bioresource Technology*, 73, 201-205.
- [4] K. Pougatch, M. Salcudean, I. Gartshore, 2006, A Numerical Model of The Reacting Multiphase Flow in a Pulp Digester, *Applied Mathematical Modelling*, 30, 209-230.
- [5] L. Sahlstrom, 2003, A review of Survival of Pathogenic Bacteria in Organic Waste used in Biogas Plants, *Bioresource Technology*, 87, 161-166.
- [6] A. Zuru, S. M. Dangoggo, U. A. Birnin-Yauri, A. D. Tambuwal, 2004, Adoption of Thermogravimetric Kinetic Models for Kinetic Analysis of Biogas Production, *Renewable Energy*, 29, 97-107.
- [7] M. Kim, R. E. Speece, 2002, Aerobic Waste Activated Sludge (WAS) for Start-up Seed of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion, *Water Research*, 36, 3860-3866.
- [8] F. J. Callaghan, D. A. J. Wase, K. Thayamthy, C. F. Forster, 1998, An Examination of The Continuous Anaerobic Co-Digestion of Cattle Slurry and Fish Offal, *Institution of Chemical Engineers Trans. Chem, Part B*, vol 76.
- [9] R. Roberts, S. Le, C. F. Forster, 1998, An Examination of Thermophilic Anaerobic Digestion The First Stage in Dual Digestion, *Institution of Chemical Engineers Trans Chem, Part B vol 76*.
- [10] G. N. Demirer, S. Chen, 2008, Anaerobic Biogasification of Undiluted Dairy Manure in Leaching Bed Reactors, *Waste Management*, 28, 112-119.
- [11] K. Karima, R. Hoffmanna, K. Thomas Klassonb, M.H. Al-Dahhan, 2005, Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mode of Mixing, *Water Research* 39, 3597-3606.
- [12] S. Satyanarayana, P. Murkutea, Ramakantb, 2008, Biogas Production Enhancement by Brassica Compestris Amendment in Cattle Dung Digesters, *Biomass and Bioener*, 32, 210 - 215.
- [13] T. Amon, B. Amon, V. Kryvoruchko, W. Zollitsch, K. Mayer, L. Gruber, 2007, Biogas Production from Maize and Dairy Cattle Manure—Influence of Biomass Composition on The Methane Yield, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 173-182.
- [14] S. Harikishan, S. Sung, 2003, Cattle Waste Treatment and Class A Biosolid Production Using Temperature-Phased Anaerobic Digester, *Advances in Environmental Research* 7, 701-706
- [15] M.R. Al-Masri, 2001, Changes in Biogas Production due to Different Ratios of some Animal and Agricultural Wastes, *Bioresource Technology*, 77, 97-100.
- [16] F. J. Callaghana, D. A. J. Wasea, K. Thayamithya, C. F. Forster, 2002, Continuous Co-Digestion of Cattle Slurry with Fruit and Vegetable Wastes and Chicken Manure, *Biomass and Bioenergy*, 27, 71-77.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [17] H. M. El-Mashad, W. K. P. van Loon, G. Zeeman, G. P. A. Bot, G. Lettinga, 2004, Design of a Solar Thermophilic Anaerobic Reactor for Small Farms, *Biosystems Engineering* 87 (3), 345-353.
- [18] G. G. Demirci, G. N. Demirel, 2004, Effect of Initial COD Concentration, Nutrient Addition, Temperature and Microbial Acclimation on Anaerobic Treatability of Broiler and Cattle Manure, *Bioresource Technology* 93,109-117.
- [19] M. C. Sterling, R. E. Lacey, C. R. Engler, S. C. Ricke, 2001, Effects of Ammonia Nitrogen on H₂ and CH₄ Production During anaerobic Digestion of Dairy Cattle Manure, *Bioresource Technology* 77, 9-18.
- [20] M. Hammada, D. Badarnehb, K. Tahboub, 1999, Evaluating Variable Organic Waste to Produce Methane, *Energy Conversion & Management* 40, 1463-1475.
- [21] S. Ishikawa, S. Hoshiba, T. Hinata, T. Hishinuma, S. Morita, 2006, Evaluation of a Biogas Plant from Life Cycle Assessment (LCA), *International Congress Series*, 1293, 230-233.
- [22] G. D. Zupanic, M. Ros, 2003, Heat and Energy Requirements in Thermophilic Anaerobic Sludge Digestion, *Renewable Energy*, 28, 2255-2267.
- [23] K. Kalia, S. P. Singh, 1998, Horse Dung as a Partial Substitute for Cattle Dung for Operating Family-Size Biogas Plants in a Hilly Region, *Bioresource Technology*, 64, 63-66.
- [24] M. Duerr, S. Gair, A. Cruden, J. McDonald, 2007, Hydrogen and Electrical Energy from Organic Waste Treatment, *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 705 - 709.
- [25] S. Shing, S. Kumar, M. C. Jain, D. Kumar, 2001, Increased Biogas Production Using Microbial Stimulants, *Bioresource Technology*, 78, 310-316.
- [26] A. Keshtkar, B. Meyssami, G. Abolhamd, H. Ghaforian, M.K. Asadi, 2003, Mathematical Modeling of Non-Ideal Mixing Continuous Flow Reactors for Anaerobic Digestion of Cattle Manure, *Bioresource Technology*, 87, 113-124.
- [27] J. Clemens, M. Trimborn, P. Weiland, B. Amon, 2006, Mitigation of Greenhouse Gas Emissions by Anaerobic Digestion of Cattle Slurry, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112,171-177.
- [28] M. Lubken,, M. Wicherna, M. Schlattmannb, A. Gronauerb, H. Horna, 2007, Modelling The Energy Balance of an Anaerobic Digester Fed With Cattle Manure and Renewable Energy Crops, *Water Research*, 41, 4085 - 4096.
- [29] P. Axaopoulos, P. Panagakis , A. Tsavdaris, D. Georgakakis, 2001, Simulation and Experimental Performance of a Solarheated Anaerobic Digester, *Solar Energy* Vol. 70, No. 2, 155-164.
- [30] R. Alvarez, G. Liden, 2008, The Effect of Temperature Variation on Biomethanation at High Altitude, *Bioresource Technology*, in Press.
- [31] Mueller, 2007, Manure's Allure: Variation of The Financial, Environmental, and
- [32] Economic Benefits from Combined Heat and Power Systems Integrated with Anaerobic Digesters at Hog Farms Across Geographic And Economic Regions, *Renewable Energy* 32.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [33] Koçar, G., 2007, Güneş Enerjisi Destekli Biyogaz Sistemleri, Tesisat Müh. Dergisi Sayı 9
- [34] Santosh, Y., Sreekrishnan, T. R. , Kohli S., Rana, V., 2004, Enhancement Of Biogas Production From Solid Substrates Using Different Technique, Bioresource Technology Vol. 95, 1-10
- [35] www.oecd.org/document
- [36] Doğan, M., 2000, Enerji Kaynakları-Çevre Sorunları ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları Standard Dergisi 39/468 S28-3610
- [37] Akbulut, A., 2004, Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Biyogaz Sisteminin Sera Isıtılmasında Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi, Mühendis Ve Makine Cilt 47 Sayı 555
- [38] Anonim, 2004, Biyogaz Enerjisi Çalışmaları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
- [39] Satyanarayan, S., Murkule, P., Ramakant, 2007, Biogas Production Enhancement By Brassica Compestris Amentmend In Cattle Drung Digesters, Biomass and Bioenergy, Vol. 32 210-215
- [40] Koçar, G., Eryaşar, A , 2007, Kırsal Kesim Biyogaz Sistemlerinin Farklı İklim Koşullarında Uygulanabilirliği, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 985, Sayfa 14-20
- [41] Akbulut, A., Kurtbaş, İ., Gülçimen, F., 2006, Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Bir Biyogaz Sisteminin Sera Isıtılmasında Kullanılması, Mühendis ve Makine, Cilt 47, Sayı 555, Sayfa 50-61.
- [42] www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2008.pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

ADI SOYADI :ARZU AKBULUT

MEDENİ HALİ :EVLİ

DOĞUM TARİHİ :25-05-1977

DOĞUM YERİ:MALATYA

EHLİYET :B SINIFI

EĞİTİM BİLGİLERİ

LİSE :ARAPGİR LİSESİ-1994

LİSANS :FIRAT ÜNİVERSİTESİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ-1999

İŞ DENEYİMİ :General Asansör-Elazığ (2001-2002)

:Ercanlar Otomotiv Araç LPG Dönüşüm Sistemleri-Elazığ (2002-2004)

:Milenyum Mühendislik-Elazığ (2004-2005)

:Süleyman Demirel Üniversitesi Senirkent Meslek Yüksek Okulu-Isparta
(2005-2008)

:Dumlupınar Üniversitesi Kütahya Meslek Yüksek Okulu-Kütahya (2008-)

KULLANABİLDİĞİ YAZILIMLAR

MİKROSOFT OFİS, AUTOCAD, ZETACAD, SOLİDWORKS, PIC BASIC PRO, MIKRO C