

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’DE BİYOGAZ ENERJİSİNİN
KULLANILABİLİRLİĞİ VE EKONOMİKLİĞİ**

Makine Mühendisi Mustafa Kerem ÖZTUNCAY

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Zehra YUMURTACI

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Önemi ve Kaynakları.....	1
1.2 Biyogaz Enerjisinin Geçmişteki Önemi ve Bugünkü Yararlanma Alanları.....	3
1.3 Biyogazın Tanımı Ve Özellikleri.....	4
1.3.1 Biyogaz üretiminde kullanılabilir bazı atıklar.....	4
1.3.1.1 Hayvansal Atıklar.....	4
1.3.1.2 Bitkisel Atıklar.....	4
1.3.1.3 Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar.....	5
1.3.1.4 Çöp Gazı Elde Edilişi ve Elektrik Üretimi.....	6
1.3.1.4.1 Elektrik Üretim Sistemi.....	7
1.3.1.4 Gıda Artıklarından Biyogaz Üretimi.....	8
2. BİYOGAZ ÜRETİMİ.....	10
2.1.1 Fermantasyon ve Hidroliz.....	10
2.1.2 Asetik Asidin Oluşumu.....	10
2.1.3 Metanın oluşumu.....	11
2.2 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilir Gübre Miktarının Belirlenmesi.....	13
3. BİYOGAZIN KULLANIM ALANLARI.....	15
3.1 Biyogazın Isıtmada Kullanımı.....	15
3.2 Biyogazın Aydınlatmada Kullanımı.....	15
3.3 Biyogazın Motorlarda Kullanımı.....	16
4. BİYOGAZ TESİSLERİNİN TASARIMI.....	17
4.1.1 Kesik Besleme Yöntemi.....	17
4.1.2 Sürekli Besleme Yöntemi.....	17
4.2 Biyogaz Tesislerinin Kapasitelendirilmesi.....	19

4.2.1	Günlük Ortaya Çıkan Gübre Miktarı.....	19
4.2.2	Hayvanların Beslenme Şekilleri.....	19
4.2.3	Gübrelerin Katı Madde Oranları.....	19
5.	BİYOGAZ ÜRETİMİ İÇİN MATERYAL HAZIRLANMASI.....	23
5.1	Materyal Hazırlanması.....	23
5.2	Materyal Hazırlama Tekniği.....	25
5.2.1	Küçültme Ve Ezme İşlemleri.....	26
5.2.2	Ayırma ve Sınıflandırma.....	28
5.2.3	İşlemlerin Enerji Gereksinimi.....	31
5.2.4	Pastörizasyon.....	31
6.	BİYOGAZ REAKTÖR MODELLERİ.....	33
6.1	Küçük Hacimli Reaktörler.....	33
6.1.1	Yüzer Çatılı Hindistan Tipi Biyo Reaktörler (Kvic).....	37
6.1.2	Sabit Çatılı Çin Tipi Reaktörleri.....	40
6.1.3	Yüzer Çatı Tipi Reaktörler.....	43
6.1.4	Torba Tipi (Tayvan Çin) Reaktörler.....	45
6.1.5	Balon Tipi Reaktörler.....	46
6.2	Büyük Kapasiteli Reaktörler.....	47
6.2.1	Tam Karışımli Reaktörler.....	48
6.2.2	Lagun Tipi Reaktörler.....	50
6.2.3	Piston Akımlı Reaktörler.....	52
7.	ÜLKEMİZDE BİYOGAZ ÜRETİMİ KONUSUNDA YAPILAN ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI.....	54
7.1	Araştırma ve Uygulama Çalışmaları.....	55
8.	ÜLKEMİZDE VE DİĞER DÜNYA ÜLKELERİNDE BİYOGAZ ÜRETİMİ KONUSUNDA YAPILAN ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI.....	59
9.	ALMANYA BİYOGAZ SEKTÖRÜNE BAKIŞ.....	63
9.1	Hangi Hammaddelerden Biyogaz Üretilmektedir?.....	64
9.2	Hukuki Çerçeve Şartları.....	66
9.3	Biyogaz Hangi Potansiyele Sahiptir?.....	67
10.	BİYOGAZ TESİSLERİNİN EKONOMİK ANALİZLERİ.....	71
10.1	Enerji Maliyeti.....	71
10.1.1	Enerji Üretim Maliyeti Hesabı.....	71
10.1.1.1	Sabit Yıllık Sermaye Masrafı.....	72
10.1.1.2	Lineer Azalan Yıllık Sermaye Maliyeti.....	72

10.2	Örnek Biyogaz Tesislerinin Ekonomik Analizleri.....	73
10.2.1	1500 Büyük Baş Hayvan İle Kurulan Bir Biyogaz Tesisi Ekonomik Analizi.....	74
10.2.2	10000 Tavuk Ve 2000 B.Baş Hayvan İle Kurulan Bir Biyogaz Tesisinin Ekonomik Analizi.....	75
10.2.3	3150 Büyük Baş Hayvan İle Kurulan Bir Biyogaz Tesisinin Ekonomik Analizi.....	77
11.	TÜKİYE’NİN BİYOGAZ POTANSİYELİ.....	79
12.	SONUÇ.....	82
KAYNAKLAR.....		84
ÖZGEÇMİŞ.....		85

SİMGE LİSTESİ

b_t	Yıllık ana para ödemesi
C_f	Yıllık yakıt masraflarını
C_k	Yıllık sabit sermaye
C_m	Yıllık işletme ve bakım masraflarını
C_T	Yıllık toplam masrafları
$C_T(t)$	Zamanla değişen yıllık toplam masrafları
E	Yıllık elektrik enerjisi üretimini
e	Eskalasyon faizi oranı
f_t	Yıllık faiz ödemesi
g	1 kWh enerji üretim maliyeti
i	Faiz oranı
k	İnşaat süresi
n	Santralin ömrünü
PJ	Petajoule
r	İskonto oranını
t	Geri ödeme süresini
x	Hayvan ağırlığı (kg)
$Y(t)$	Eskale edilmiş yıllık harcama miktarı
y_1	Günlük idrar üretimi (kg/hayvan.gün)
y_2	Günlük gübre üretimi (kg/hayvan.gün)

KISALTMA LİSTESİ

Btl	Biyokütle yakıt
EEG	Yenilenebilir enerji yasası
HRT	Hidrolik alıkoyma süresi
IPCC	4.İklim değerlendirme raporu
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
TK	Toplam katı kg/m^3

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Büyükbaş hayvan atıkları.....4
Şekil 1.2	Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıkların İşlenmesi.....5
Şekil 1.3	Çöp gazının üretilişi.....6
Şekil 1.4	Çöp gazından elektrik üretilişi.....7
Şekil 2.1	Biyogaz tesis şeması.....14
Şekil 3.1	Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri.....15
Şekil 3.2	Biyogaz ile çalışan aydınlatıcı.....16
Şekil 3.3	Biyogazın araçlarda kullanımı.....16
Şekil 4.1	Biyogaz tesisleri görünüşleri.....17
Şekil 4.2	Biyogaz tesisi proje ve uygulaması.....17
Şekil 4.3	Aile tipi bir biyogaz tesis şeması.....18
Şekil 4.4	Biyogaz tesisinden çıkan gübrenin tarımda kullanılışı.....21
Şekil 4.5	Gübrenin beton havuzlarda kurumaya bırakılışı.....22
Şekil 5.1	Bir biyogaz ve kompost tesisi akış şeması.....24
Şekil 5.2	Organik atık anaerob işleme tesisi akış şeması.....25
Şekil 5.3	Döner bıçaklı taşınabilir küçültücü.....27
Şekil 5.4	a) Döner bıçaklı kıyıcı b) Çekiçli değirmen.....27
Şekil 5.5	Farklı boyuta sahip organik materyalin farklı boyutlarda küçültülmesi için gerekli enerji miktarları.....28
Şekil 5.6	Atıkların sınıflandırılması.....29
Şekil 5.7	Metal parçalarının manyetik ayırma sistemi.....29
Şekil 5.8	a) Parmaklı karıştırıcı b) Helezonlu karıştırıcı.....30
Şekil 6.1	Biyo reaktörlerde besi maddesi hareketi.....34
Şekil 6.2	Hareketli gaz depolama tankı.....36
Şekil 6.3	Yüzer çatılı biyo reaktörler.....39
Şekil 6.4	Sabit çatılı çin tipi reaktörler.....40
Şekil 6.5	7.2 m ³ Reaktörün detay projesi.....41
Şekil 6.6	Sabit çatılı reaktörlerde çatı detayı.....42
Şekil 6.7	Sıkıştırma tankı yüksekliğinin doğru seçilmesi.....42
Şekil 6.8	Sabit çatılı reaktörlerde gaz dolması ve boşalması.....42
Şekil 6.9	Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması.....43
Şekil 6.10	Hareketli kubbe tipi reaktör.....44
Şekil 6.11	Yüzer çatının detayı.....44
Şekil 6.12	Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması.....45
Şekil 6.13	Torba tipi (tayvan-çin) reaktörler.....45
Şekil 6.14	Yatay balon tipi reaktör.....46
Şekil 6.15	Balon tipi bioreaktör.....47
Şekil 6.16	Çamur karakteri ve bioreaktör özellikleri.....48
Şekil 6.17	Tam karışımli reaktörler.....49
Şekil 6.18	Tam karışımli anaerobik arıtma tesislerinden görüntüler.....50
Şekil 6.19	Isıtmalı ve çatısı örtülü lagundan görüntü.....52
Şekil 6.20	Piston akımlı reaktörler çalışma prensibi.....52
Şekil 6.21	Piston akımlı reaktörler.....53
Şekil 7.1	Gaz üretim tank kesiti.....58
Şekil 8.1	Hindistan'da biyogaz tesis sayısındaki gelişmeler.....62

Şekil 9.1	Almanya'daki biyogaz tesislerinin gelişimi.....	64
Şekil 9.2	Alman biyogaz sektörünün bugünkü durumu ve gelecek prognozu.....	65
Şekil 9.3	Hammadelere göre biyogaz hasılatı (m ³ Biyogaz/ton hammadde).....	66
Şekil 9.4	3150 Büyükbaş hayvan kapasiteli bir uygulama tesisi.....	69
Şekil 9.5	200 Büyükbaş hayvan kapasiteli bir uygulama tesisi.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları.....	6
Çizelge 1.2	Yarı kesikli üreteçlerde gıda artıklarının biyogaz verimlilikleri.....	9
Çizelge 2.1	Organik maddenin üç temel ögesinden elde edilecek biyogaz ve metan miktarlarıyla hacimsel ve ağırlık yüzdesi olarak gaz bileşimleri.....	11
Çizelge 2.2	1m ³ Biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi.....	12
Çizelge-4.1	Örnek bir biyogaz tesisinde elde edilecek günlük gaz miktarının hesaplanması.....	20
Çizelge-4.2	Örnek biyogaz tesislerinde elde edilecek günlük gaz miktarı.....	21
Çizelge 5.1	Organik atıklardan biyogaz üretimi işlem akışı.....	22
Çizelge 7.1	Sığır ve tavuk gübrelerinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimleri.....	56
Çizelge 8.1	Türkiye’de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı.....	59
Çizelge 8.2	Gelişmekte olan ülkelerde biogaz tesisi sayısı.....	60
Çizelge 8.3	Avrupa topluluğu ülkelerinde biyogaz tesisi ve biyogaz üretimi.....	60
Çizelge 8.4	Türkiye kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi (MW).....	61
Çizelge 8.5	Amerika ve avrupa birliği ülkelerinde kurulu güç ve kişi başına düşen enerji miktarı.....	61
Çizelge 9.1	Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve taşkömürü eşdeğeri	69
Çizelge 10.1	Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması.....	74
Çizelge 10.2	Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması.....	75
Çizelge 10.3	Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması.....	77
Çizelge 11.1	Türkiye’de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan potansiyeli.....	79
Çizelge 11.2	Türkiye’de hayvan sayısı, biyogaz potansiyeli ve taşkömürü eşdeğerleri.....	80

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya konulmasında şahsıma yardımcı olan , ufkumun genişletilmesini sağlayan, her türlü bilgi ve tecrübesinden yararlandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI' ya teşekkürlerimi bir borç bilir saygılarımı sunarım.

Haziran 2009

Mustafa Kerem ÖZTUNCAY

ÖZET

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 enerjisi kaynaklarının en önemlisi, tahmin edileceği üzere *Hayvan gübresi* ve büyük şehirlerdeki çöp kaynaklıdır. Bu kaynağın yakıt olarak kullanılmaya başlanması, her halde insanın yerleşik düzene geçmesiyle birlikte başlar. Ancak hiç şüphe yok ki, bu konuda belli bir tarih ve bölge göstermek pek mümkün değildir. Fakat, hayvan gübresinden tezekk yapımı ve bunun yakıt olarak kullanılması, elbette yüz yıllar öncesinden başlamıştır. Bugün de birçok ülkede köylü nüfus, ısıtma-ısınma ve pişirmede, bu kaynaktan geniş ölçüde yararlanmaktadır.

Benim tezimde bu yenilenebilir enerji kaynağının ülkemizde farklı şekillerde uygulanabilirliği incelenecek, Türkiye'nin bu enerji kaynağı açısından potansiyeli araştırılacak, tesis kurma maliyeti incelenecek ve diğer yakıtlara oranla ekonomikliğı tartışılacaktır.

Anahtar kelimeler: Biyogaz nedir?, Biyogaz üretimi, Biyogaz kullanım alanları, Biyogaz potansiyeli, Biyogaz tesis tipleri

ABSTRACT

Biogas, animal and vegetable waste oxygen free environment as a result of resolution that have arisen a gas mixture . See Their Demographic Composition % 60-70 methane (CH₄), % 30-40 carbon dioxide (CO₂), %0-2 hydrogen sulfur (H₂S) and the very least a large amount of nitrogen (N₂) and hydrogen (H₂) are available. Biogas energy resources of the most important, will be estimated the Animal manure and a large cities that garbage source. This funding as fuel to begin to be used, started with residents of a man passing pace. But in this matter specific date and the region to show is not possible. But the animal manure dried and it is used as fuel ofcourse has started a few hundreds s years ago . Today many of the farmers in the country is using biogas that population heating, cooking and, this source to a large benefit.

In my thesis this renewable energy source will be reviewed different applicability ways in our country, Turkey's in this energy source of in terms of potential for investigation, The cost of establish Facility will be reviewed and other fuels economics compared to discussion.

Keywords: What is biogas? , Biogas production, Biogas usage, Biogas potential, Biogas plant types.

1.GİRİŞ

1.1.Önemi ve Kaynakları:

Biyogaz enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde beklide en ekonomik ve dünyada çok uzun yıllardır kullanılan, uygulanan kaynaklardan birisidir. Günümüz modern toplumlarında enerjiye olan ihtiyaç ve fosil yakıtların dünyaya verdiği büyük zararlar hatta fosil yakıtların tükenme eğilimine gitmesi araştırmacıların hiç bitmeyen tükenmeyen yenilenebilir enerjiler üzerine araştırmalara yapmalarına sebep olmuştur. Bu araştırmaların merkezinde ise temel öge hiç şüphesiz neredeyse hiçbir zararı olmayan aksine büyük faydalar sağlayan biyogazdır. Biyogaz üzerine yazdığım bu tezin konusundan bahsetmeden önce dünyada pek çok araştırmacının bu denli dikkatini çeken biyogazla ilgili birkaç araştırma örneği vermek isterim;

“Yemek artıklarının enerji potansiyeli ve Taiwan’da enerjinin korunumu.” Taiwan ‘da evlerden toplanan çöplerin %30 kadarı yemek artıklarından oluşmaktadır. Ve bu artıklar sadece domuz yemi ve gübre olarak kullanılmaktadır. Fakat bu artıklarda enerjinin geleceği yani biyogaz saklıdır. Araştırmada yemek artıkları ile Taiwan’da ne kadar enerji geri kazanılabileceği araştırılmıştır. (Chao-Ming L., Guang-Ruei K., Meng-Yu C. 2009)

“Elma çöplerinden biyogaz elde edilmesi” Elma çöpleri kullanılarak elde edilecek maksimum gaz miktarı deneylerle hesaplanarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise elma çöpünün biyogaz üretiminde verimi en yüksek yemek artıklarından biri olduğu anlaşılmıştır.(Llana Coalla H., Blanco Fernández J.M., Morís Morán M.A., López Bobo M.R.)

“Türkiye’de yenilenebilir enerji için pazar koşulları ve engelleri” Türkiye’deki fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yönelik yenilenebilir enerjinin Türkiye’de kullanılabilmesi için gerekli Pazar koşulları ve sorunların araştırılması incelenmiştir. (Çiçek B.N. , Öztürk M., Özek N. 2009)

“Gübrelemenin ve gömmenin gaz emisyonları açısından yeryüzüne etkisi” Biyogazı alınmamış çöpün ve gübrenin yıllar boyunca atmosfere saldıgı metan gazının etkileri araştırılmıştır.(Lou X.F., Nair J. 2009)

“Packed-bed biyo reaktörünün incelenmesi” Yeni bir tür olan packed-bed tipi biyo reaktörlerinin avantajlarının ve dezavantajlarının incelenmesine yönelik bir araştırmadır. (Singh S.P., Prerna P. 2009)

Benim tezimde ise Türkiye’de ne kadar biyogaz potansiyeline sahip olduğunu ve bu potansiyel ile Türkiye’nin enerji ithalatının ne kadar indirilebileceğini örnek biyogaz tesisleri ile ekonomik analizlerini yaparak ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırarak ortaya koymaktır.

Çiftlik gübresi, yani hayvan gübresi başta olmak üzere, çeşitli organik artıkların (bitkisel artıklar, deniz ve kara yosunları, özel olarak yetiştirilen bazı bitkiler gibi), oksijensiz bir ortamda fermantasyona uğratılması sonucu elde edilen yanıcı gaz karışımına, biyogaz denir.(Metan gazı= CH_4).Organik kökenli kaynaklara dayanan bu enerji üretim yönteminde *temel enerji kaynağı*, organik kökenli artık ve atıklardır. Az önce de ifade edildiği üzere bunlar, değişik amaçlarla değerlendirilmiş olabilirler. Örneğin ot ve saman artıkları , kent çöpleri, tarla ürün artıkları, hayvan besin artıkları, çiftlik hayvancılığının küçük ve büyük baş hayvan dışkıları ve benzerleri olabilecekleri gibi, bizzat bu amaçla yetiştirilen bazı bitkiler (yeşil gübre) ve deniz yosunları (alg, diyatomit), ya da kara yosunları (likenler) olabilirler. Bunlardan belli bir miktarı, tekniğine uygun olarak inşa edilmiş havasız bir depoda toplanarak depolanırsa, belli aşamalarda kimyasal tepkimelerin oluşması ve yanıcı gaz karışımının açığa çıkması mümkün olmaktadır. Bu nedenle de, dönüştürülmüş enerji üretmek için yararlanılan bu gibi organik kökenli maddelere, genel bir terimle biyogaz ve bunlardan elde edilen enerjiye ise, biyogaz enerjisi adı verilmektedir. Bir hacim atık, içeriğine bağlı olarak, günde yarım ile bir hacim gaz üretir. Hayvansal kökenli atıklar bitkisel kökenlilere göre daha fazla gaz üretir. (www.biyogaz.com.tr)

Sözü edilen enerji kaynağı, bugüne kadar ki uygulamalardan anlaşıldığına göre, hayli ekonomik bir kaynaktır. Örneğin, bir ton biyogaz maddesinin havasız bir ortamda fermente edilmesi sonucu, 1.2 varil petrol eşdeğeri bir enerjinin elde edilebileceği hesaplanmıştır. Öte yandan biyogaz kaynaklarından elde edilen yanıcı gaz karışımı'nın, m^3 'ü başına %40 ila %70 oranında metan gazı, %30 ila %55 oranında karbondioksit ve diğer oranların ise azot, hidrojen ve hidrojen sülfür gibi maddelerden oluştuğu anlaşılmıştır.

Çöplük gazı; şehir atıklarının toplandığı yerlerde, çöplerin toprak altına gömülerek oksijensiz parçalanması sonucu açığa çıkar. Gaz toprak altındaki borular vasıtası ile emilerek motorda yanmaya hazır hale getirilir.

Çöp gazı temel olarak metan(~%55), karbondioksit(~%35) azot(~%10), ve az miktarda kokulu gazlar içerir. Metan yanıcı ve patlayabilir bir gazdır; böylece çöplüklerde ortaya çıkan bu gazlar yakılarak elektrik üretimi için temel etken oluşturur.

Bir ton çöp yaklaşık 400-500 metreküp gaz üretir. Sonuç olarak saha çöplük olarak kullanıma kapatılsa bile, çöplükteki gaz emisyonu (dolayısıyla elektrik üretimi) uzun yıllar boyunca devam edebilir. (www.biyogaz.com.tr)

Biyogaz kanalizasyon, hayvansal ve bitkisel atıkların belli ortam şartları içerisinde (35-57 °C) parçalanması ile ortaya çıkar. Biyogaz; metan(%66), karbondioksit(%31) ve diğer gazlardan oluşur.

1.2.Biyogaz Enerjisinin Geçmişteki Önemi ve Bugünkü Yararlanma Alanları:

Biyogaz enerjisi kaynaklarının en önemlisi, tahmin edileceği üzere *Hayvan gübresi* kaynağıdır. Bu kaynağın yakıt olarak kullanılmaya başlanması, her halde insanın yerleşik düzene geçmesiyle birlikte başlar. Ancak hiç şüphe yok ki, bu konuda belli bir tarih ve bölge göstermek pek mümkün değildir. Ancak, hayvan gübresinden **tezek** yapımı ve bunun yakıt olarak kullanılması, elbette yüz yıllar öncesinden başlamıştır. (www.biyogaz.com.tr)

Birçok ülkede köylü nüfus, bugün de, ısıtma-ısınma ve pişirmede, bu kaynaktan geniş ölçüde yararlanır. Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkelerinde, ormandan yoksun otsu bitki formasyonu bölgeleri, yani *step toplumlari*, günümüzde de en güvenilir ısınma ve pişirme işleri yakıtını, hayvan gübresinden yapılan tezekten sağlamaktadır.

Çiftlik gübresinden biyogaz yani *metan gazı* elde edilmesi halinde, bu gaz *ısıtma, aydınlatma, pişirme* işlerinde ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Öte yandan bu amaçla kullanılan gübre, fazla bir kayba uğramadan, yine tarıma verilebilmektedir.

Biyogaz, parlak ve mavi bir alevle yanan, kalorifik değeri nispeten yüksek bir gaz karışımıdır. Birim hacimdeki biyogazda, yaklaşık %70 oranında metan gaz (CH₄) vardır. Zaten, yanıcılık niteliğini kazandıran da, bu gazdır. Metan gazı, daha önce belirtilen organik kökenli artıklardan, yani biyomas kaynaklarından ve özellikle *çiftlik gübresi*'nden kolayca elde edilebilir. Öte yandan, biyogaz elde edilmesinde, tesis ve üretim teknolojisi karmaşık olan bir sistem gerekmez. Üretim için gerekli olan hammadde, kırsal kesimde hayvancılık yapan her aile tarafından, zaten bol miktarda sağlanmaktadır. (www.biyogaz.com.tr)

Çiftlik gübresinden, metan gazı veya biyogaz elde edebilmek için en fazla baş vurulan yöntem, *kesik besleme yöntemidir*. Fermantasyon tankı denilen ve ihtiyaca göre 50 ila 300 m³ hacmi olan betonarme bir depo, taze çiftlik gübresiyle doldurulur. Hava almayacak şekilde, sıkıca kapatılır. Havasız ortamda belli bir süre (15-20 gün) bekletilen gübre, bu süre içinde fermantasyona uğrar. İçinde, karışımın çokluğu metan gazı olan biyogaz oluşur. Gübre deposuna, yani fermantasyon haznesine daldırılan bir boru, *gazometre* denilen *gaz depolanma kabı*'na bağlanır ve oluşan gaz, bu kaptadır. Gazometre kabında biriken gaz, ikinci bir boru ile, tüketileceği yere (örneğin mutfaktaki ocağa) kadar götürülerek tüketime arz edilir.

Yaklaşık 15-20 gün önce doldurulmuş ve biyogaz vermeye başlamış olan tesisten, aşağı yukarı 2 ay kadar verimli bir şekilde gaz alınır ve bu süreden sonra, giderek gaz verimi düşer.

Bu nedenle *fermantasyon haznesi*'ni (tankını), ortalama her iki ayda bir boşaltarak, yeniden taze çiftlik gübresiyle doldurmak gerekir. Tankın her doldurulduğunda fermentasyon oluşumu tamamlanıp biyogaz üretiminin başlaması için 10-20 gün kadar beklenir. Bu nedenle üretim, belli aralıklarla kesintiye uğrar. İşte bundan dolayı, sözü edilen biyogaz üretim yöntemine *kesik besleme ve kesik üretim yöntemi* adı verilmiştir. (www.biyogaz.com.tr)

1.3.Biyogazın Tanımı ve Özellikleri

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 (H₂ S) ile çok az miktarda azot (N₂) ve hidrojen (H₂) bulunmaktadır.

1.3.1.Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Bazı Atıklar

1.3.1.1.Hayvansal Atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan Atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. (www.solarenerji.com)



Şekil 1.1 Büyükbaş hayvan atıkları (www.solarenerji.com)

1.3.1.2.Bitkisel Atıklar : İnce kıyılmış sap, saman, mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.Biyogaz üretiminde hayvansal ve bitkisel atıklar tek başına kullanılabileceği gibi belli esaslar doğrultusunda karıştırılarak da kullanılabilir. Biyogaz, temiz ve mavi bir alevle yanar.

Biyogaz, kullanılmadığı zaman çürük yumurta kokusundadır ancak yanarken bu koku kaybolur. Bu özellik, biyogazı ileten borularda kaçak olup olmadığını anlamada kolaylık sağlar. Biyogaz çok düşük sıcaklıklarda (-164 °C) sıvılaştırılabilmektedir. Bu işlem çok

pahalıdır bu nedenle gaz tüplerinde depolanması ekonomik değildir. Genellikle gaz halinde kullanılmaktadır. (www.solarenerji.com)

1.3.1.3.Organik İçerikli Şehir Ve Endüstriyel Atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır. (www.solarenerji.com)

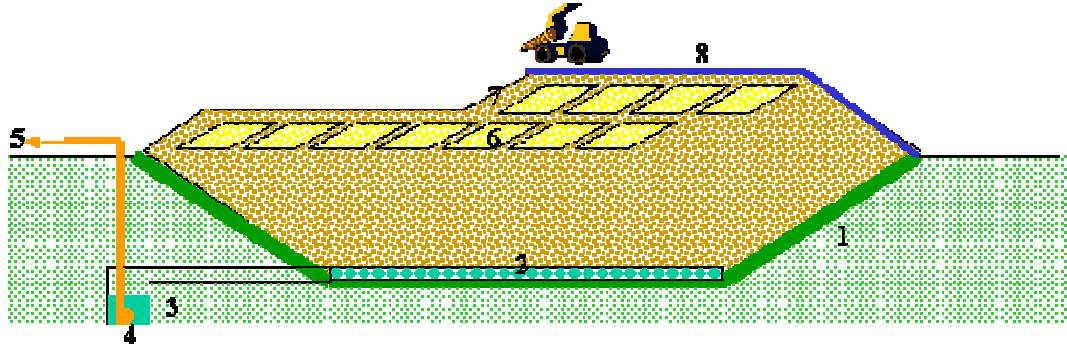


Şekil 1.2 Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıkların işlenmesi(www.solarenerji.com)

Çizelge 1.1 Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları; (www.eie.gov.tr)

KAYNAK	BİYOĞAZ VERİMİ (Litre/kg)	METAN ORANI (Hac. %’si)
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 sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat artıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Alğler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

1.3.1.4.Çöp Gazı Elde Edilişi ve Elektrik Üretimi



1. Geçirimsiz plastik tabaka (linex), 2. Kirlili asitli (leachate) toplayıcı boru, 3. Akıntı toplama kurusu, 4. Pompa, 5. Sıhhi atık su sistemi (sanitary sewer), 6. Günlük çöp hücresi, 7. Toprak tabaka, 8. K-1 örtü tabakası

Şekil-1.3 Çöp gazının üretilişi

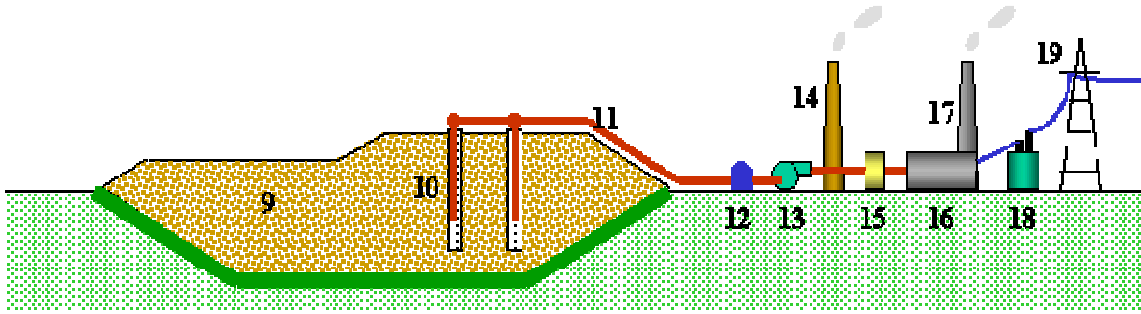
Modern bir çöplükten amaç atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde uzun süre depolanmasıdır. Çöplüğün kapasitesi dolduğunda üzeri kalın bir toprak tabakası ile kapatılır (8). Böylece çöplükte oluşan metan gazının havaya karışması önlenir. Çöplük gazı bir boru ağı ile toplanır. Çöplüğe delinen düşey kuyulara delikli borular yerleştirilir. Borular geçirimsiz tabakadan 2-3 m'ye kadar iner. Ana boruların bağlandığı pompalar vasıtasıyla gaz çöplükten az bir negatif basınçla emilir. Çöplükte metan gazı hacimsel konsantrasyonunun %5'in altında olması gerekir. (www.eie.gov.tr)

1.3.1.4.1. Elektrik Üretim Sistemi

Çöplükten gelen ana boru ilk önce kaba filtre ve nem alıcı sistemden geçer. Buradan, gaz özel pompalara gelir. Santral çalışır durumdaysa, gaz işlem sistemine girer ve motora gönderilir.

Gaz, gaz motorunda yakılarak mekanik enerji ortaya çevrilir. Genellikle 12 veya 16 silindirli motorlar kullanılmaktadır. Motora bağlı bir jeneratörle de elektrik üretilir. Egzoz gazı bir baca (17) ile atmosfere verilir. Jeneratör çıkışı bir trafo vasıtasıyla gerilim yükseltilecek dağıtım şebekesine bağlanır.

Motor çıkışında egzoz gazının sıcaklığı 500 °C civarındadır. Bu egzoz enerjisi ile sıcak su veya buhar üretilerek sistemin verimi yükseltilebilir. (www.eie.gov.tr)



9. Çöplük, 10. Gaz toplama borusu, 11. Ana gaz toplama borusu, 12. Kaba filtre ve nem alıcı sistem, 13. Gaz pompası, 14. Gaz filiri, 15. Gaz işleme sistemi, 16. Motor ve jeneratör, 17. Motor bacası, 18. Trafo, 19. Dağıtım şebekesi

Şekil 1.4 Çöp gazından elektrik üretilişi

1.3.1.4. Gıda Artıklarından Biyogaz Üretimi

Başta çevre kirliliği kimya sanayi ve diğer sanayilerin yanı sıra gıda sanayinin de bir sonucudur. Çevre kirliliğinin yanı sıra artıklardan elde edilebilecek enerji de ekonomik olarak önemli bir kaynaktır. Çizelge bu alandaki değişik çalışmaların bir özetidir. Bu çizelgede değişik gıda artıklarından metan gazının hangi şartlarda üretildiği ve metan gazının verimini göstermektedir. Çalışmaların çoğunluğu yağlı artıklar üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunlar hem metana dönüşmesi daha kolay olan uçucu yağ asitleri içermekte hem de çevre için daha fazla kirlilik yaratmaktadır. (www.eie.gov.tr)

Biyogaz üretimi ağırlıklı olarak yarı kesikli üreteçlerde yapıldığı görülmektedir. Sıcaklıklara gelince; 30-55 °C arasında sıcaklıkların kullanıldığı görülür. Çizelge de belirtilen HRT (Hidrolik alıkoyma süresi), katı maddenin üreteç içerisinde kalma süresidir. Bu terim yarı kesikli üreteçler için söz konusudur. Metan verimliliklerine bakıldığında yağlı artıkların verimliliklerinin daha yüksek ve biyogaz için çok daha uygun olan hayvansal artıklara yakın olduğu görülür.

Hayvansal artıkların metan verimliliklerini ise Çizelge 1.1 de görmek mümkündür. Çizelgede 1.1 de görüldüğü gibi en yüksek verimliliği tavuk gübresi vermektedir. Dışkılanan gübre miktarları hayvanların ağırlıkları ile doğru orantılı olup her hayvana düşen biyogaz miktarları gerçek verimliliği göstermez. (www.eie.gov.tr)

Çizelge de değişik alıkoyma sürelerine karşın artıkların farklı verimlilikler verdiği görülür. En uygun alıkoyma süresi artığın içeriğine bağlı olarak değişir. Saman ve inek gübresi karışımı ile ay çiçek artıkları en yüksek verimliliği 8 gün alıkoyma süresi ile verir iken; saman, inek gübresi karışımı olmaksızın 15 günde en yüksek verimliliği verir. Ayrıca zeytinyağı değirmen suyu en yüksek verimliliği 11-12 günde vermesine karşın zeytin küspesi en yüksek verimliliği 20 günde verir. (Dr. Alçıçek A. Ve Arş. Gör. Demrluluş H. 1994)

Uygulama sıcaklıkları da önemli bir faktördür. Buğday samanı 55 °C' de 15 gün alıkoyma süresinde 0.49 m³ metan/m³ üreteç hacmi.gün verimliliğine karşın buğday samanı ve inek gübresi karışımı 35 °C' de 8 gün alıkoyma süresinde 0.88 m³ metan/m³ üreteç hacmi.gün gibi iki kata varan bir verimlilik göstermektedir.

KOI(Kimyasal oksijen ihtiyacı) giren değerleri ile çıkan değerlerine bakıldığında yine benzer durumları görmek mümkündür. En yüksek verimliliklerde çıkan KOİ değerlerinin

daha düşük olduğu görülür. Bu da mikroorganizmalar tarafından daha çok kimyasalın biyogaza dönüştüğünü gösterir. (www.eie.gov.tr)

En yüksek verimliliklerin hayvansal dışkıları ile yapılan karışımlardan elde edildiği görülmektedir. En yüksek verimliliğin tavuk gübresinde olduğu ve bunun inek gübresi ile peynir altı suyu karışımından elde edilen biyogaz verimliliği olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 1.2. Yarı kesikli üreteçlerde gıda artıklarının biyogaz verimlilikleri (www.eie.gov.tr)

Gıda artığı	HRT (gün)	T (°C)	Giren				Çıkan				Metan	
			PH	TK	KOİ	UKM	PH	TK	KOİ	UKM	%	Verim
Saman ve inek gübresi karışımı	15	35	5.72	78	102.8	66	6.98	53.2	30.2	44.4	31.1	0.42
	10						6.72	45.9	32.1	38.5	37.4	0.73
	8						6.98	52.6	28.8	40.8	40.0	0.88
Peynir altı suyu, Sığır gübresi ve tavuk artığı karışımı	10	40	-	6	-	-	-	-	-	62.0	2.2	
Palm yağı	6-7	50						62.0	57.0		70.0	
Buğday samanı	15	55	7.2	50	59.33	35.32	7.3	48	20.0	21.0	31.2	0.49
	10						7.3	49.1	26.0	21.3	33.7	0.42
	8						7.3	48.7	29.8	21.8	25	0.45
Ayçiçek artıklar	15	55	6.8	20	21.32	13.54	7.0	18.48	17.08	10.54	62	0.18
	10						6.9	18.34	17.25	9.10	58	0.28
	8						6.9	17.29	16.9	10.24	48	0.37
Meyve ve sebze	24	30	-	40	-	94.3	7.1	-	-	341*	61.2	0.82
	16						7.1	-	-	610*	51.1	1.09
	8						4.6	-	-	6430*	22	0.62
Bisküvi ve çukolata	40	20	6.5	100		195*	6.7	-	-	480*	57	1.45
	30	to					5.3	-	-	9200*	42	0.78
	20	40					4.8	-	-	-	-	-
Zeytinyağı değirmen suyu	44.8	-	5.0	37.6	40	28	7.4	-	1.6	-	-	0.25
	22.4						7.3	-	2.4	-	-	0.47
	11.2						7.4	-	3.5	-	-	0.87
Zeytinyağı değirmen suyu	50	37	5.1	46	47.1	34.2	-	-	7.9	-	-	0.25
	12.5						-	-	15.8	-	-	0.80
	5						-	-	39.3	-	-	0.50
Zeytin küspesi	10	37	-	10	182.5	-	6.79	4.84	148.5	-	79	0.38
	20			10	182.5	-	7.85	4.08	101.3	-	82	0.55
	30			10	182.5	-	7.65	6.49	86.5	-	84	0.39
	40			10	182.5	-	7.82	6.78	82.9	-	83	0.32

-TK : Toplam katı kg/m³

2. BİYOGAZ ÜRETİMİ

Biyogaz artık organik maddelerin, anaerobik (havasız) fermantasyonu sonucu açığa çıkan, renksiz ve kokusuz, havadan hafif, havaya oranla yoğunluğu 0,83 ve oktan sayısı 110 olan, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminin büyük bir kısmını metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂)'in oluşturduğu, bir gaz karışımıdır.

Biyogaz üretiminin sağlandığı organik maddelerin anaerobik fermantasyonu, üç temel aşamada gerçekleşmekte, bu üç aşama sırasında aynı adlarla isimlendirilen, üç değişik bakteri grubu etkinlik göstermektedir. Anaerobik fermantasyonun bu üç aşaması aşağıdaki gibi sıralanır. (www.eie.gov.tr)

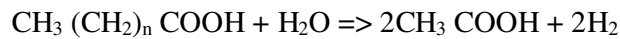
1. Fermantasyon ve hidroliz
2. Asetik asidin oluşumu
3. Metanın oluşumu

2.1.1. Fermantasyon ve Hidroliz:

Bu aşamada fermentative ve hydrolytic bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları (C₆H₁₀O₅)_n, proteinleri (6C 2NH₃ 3H₂O) ve yağları (C₅₀H₉₀O₆) parçalayarak CO₂, 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 yağ asitlerinin [CH₃ (CH₂)_n COOH] oluşum aşaması adı da verilir. (www.eie.gov.tr)

2.1.2. 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.

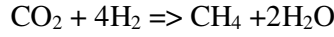


Diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır. (www.eie.gov.tr)

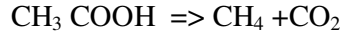


2.1.3. Metanın Oluşumu

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



Çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar.



Ancak bu aşamada birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından daha azdır. Üretilen tüm metanın %30'u birinci yolla %70'i ikinci yolla yapılmaktadır. (www.eie.gov.tr)

Organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidrat, yağ ve proteinden anaerobik fermantasyon sonucu elde edilecek CH_4 ve CO_2 'nin ağırlık yüzdesi olarak bileşimi ile 1kg organik katı maddeden (KM) üretilebilecek biyogaz ve metan miktarları ile üretilen biyogaz içindeki hacimsel olarak metan yüzdeleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Organik maddenin üç temel ögesinden elde edilecek biyogaz ve metan miktarlarıyla hacimsel ve ağırlık yüzdesi olarak gaz bileşimleri (www.eie.gov.tr)

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

Burada ağırlık ve hacimsel %'lerde meydana gelen farklılık CO_2 ve CH_4 'ün yoğunluklarının farklı olmasından ileri gelmektedir. $\text{CO}_2 = 2$ hava yoğunluğu; $\text{CH}_4 = 1/2$ hava yoğunluğu.

Anaerobik fermantasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır.

Bunlar;

- 1- Psychrophilic (Sakrofilik) Bakteriler: Optimum faaliyet sıcaklığı 25 °C,
- 2- Mezophilic (Mezofilik) Bakteriler: Optimum faaliyet sıcaklığı 36 °C,
- 3- Thermophilic (Termofilik) Bakteriler: Optimum faaliyet sıcaklığı 55°C,

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Bu üç bakteri gurubu ile yapılan fermantasyonda, sakrofilik, mezofilik ve termofilik fermantasyon ile aynı adı almaktadır. Bu bakteri gruplarından 1. ve 3. grupta yer alan sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Sığır gübresinde mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda, mezofilik fermantasyon uygulanır. (www.eie.gov.tr)

Organik maddenin anaerobik fermantasyonu sonucu açığa çıkan biyogazın bileşimi, organik maddenin cinsine ve fermantasyon biçimine bağlı olarak değişmekle beraber ortalama hacimsel bileşimi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. 1m³ Biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi. (www.eie.gov.tr)

Bileşim Elemanı	% Hacimsel bileşimi
Metan (CH ₄)	54-80
Karbondioksit (CO ₂)	20-45
Azot (N ₂)	0- 1
Hidrojen (H ₂)	1-10
Carbonmonoksit (CO)	0,1
Oksijen (O ₂)	0,1
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	Eser miktarda

Anaerobik fermantasyon, fermantörün yeni materyalle beslenme biçimine göre de çeşitlenmektedir. Bu açıdan anaerobik fermantasyonu 3 grupta incelemek mümkündür.

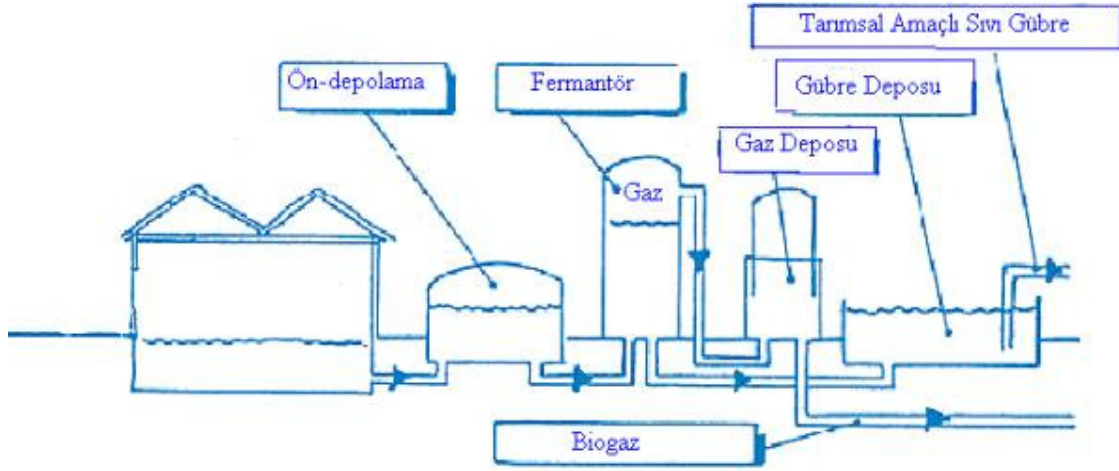
1. **Sürekli fermantasyon:** Bu fermantasyon biçiminde organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte ve aynı oranlarda fermante olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Bu fermantasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olmaktadır.

2. **Beslemeli kesikli fermantasyon:** Burada fermantör başlangıçta gelirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermantör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3. **Kesikli fermantasyon:** Burada fermantör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulmakta, fermantasyon süresi sonunda fermantör boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

2.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Gübre Miktarının Belirlenmesi

Hayvan gübreleri içerdikleri zararlı bitki tohumlarının ve patojen mikroorganizmalarının yok edilmesi ve azot-karbon oranının yükseltilmesi amacıyla taze olarak toprağa verilemezler. Gübreliliklerde 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 anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. (Prof.Dr.TOPKAYA, B. 2001)



Şekil 2.1 Biyogaz tesis şeması (www.eie.gov.tr)

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

$$y_1 = 0,028x - 4,70$$

$$y_2 = 0,157x - 53,2$$

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. Bir biyogaz üretim tesisinde bulunması gereken üniteler Şekilde verilmiştir. (www.eie.gov.tr)

3- BİYOGAZIN KULLANIM ALANLARI

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilmesi de mümkün olmaktadır.

3.1. Biyogazın Isıtmada Kullanımı

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan (CH_4) gazından ileri gelmektedir. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenler de biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir.

Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür (H_2S) gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir. (Bilgin, N. 2003)



Şekil 3.1 Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri (Bilgin, N. 2003)

3.2. Biyogazın Aydınlatmada Kullanımı

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de elektrik enerjisine çevrilerek de aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini arttırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.2 Biyogaz ile çalışan aydınlatıcı (Bilgin, N. 2003)







3.3.Biyogazın Motorlarda Kullanımı

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilirdiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarakta kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir. (Bilgin, N. 2003)



Şekil 3.3 Biyogazın araçlarda kullanımı (Bilgin, N. 2003)

Biyogaz doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak aşağıdaki alanlarda kullanılabilir:

-  Doğrudan yakma-Isınma ve ısıtma
-  Motor yakıtı olarak kullanım
-  Türbin yakıtı olarak kullanım-Elektrik eldesi
-  Yakıt pili yakıtı olarak kullanım
-  Doğalgaz içine katkı olarak kullanım
-  Kimyasalların üretiminde kullanım

4- BİYOGAZ TESİSLERİNİN TASARIMI

Biyogaz üretimi iki ayrı yöntemle gerçekleştirilmektedir.

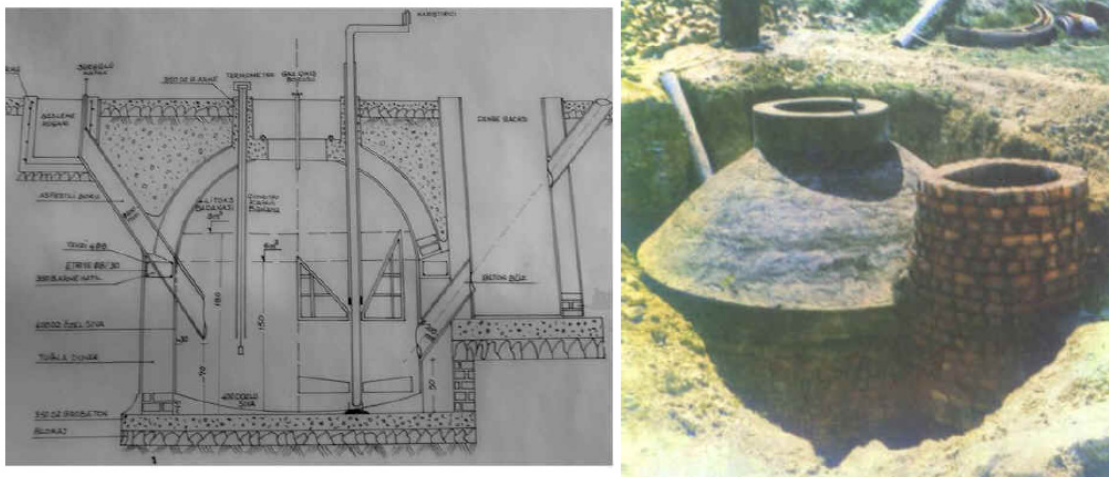
4.1.1.Kesik Besleme Yöntemi: Tesis hayvansal ve/veya bitkisel atıklarla doldurulmakta ve alıkoyma bekleme süresi kadar beklenmektedir. Bu süre sonunda tesis tamamen boşaltılmakta ve işlem sürekli tekrarlanarak gaz üretimi sağlanmaktadır.

4.1.2.Sürekli Besleme Yöntemi: Tesis hayvansal ve/veya bitkisel atıklarla doldurulmakta ve alıkoyma süresi kadar beklenmektedir. Daha sonra biyogaz üretim tankının (fermantör) sıcaklığına bağlı olarak günlük beslemelere geçilmekte ve sürekli gaz üretimi sağlanmaktadır.



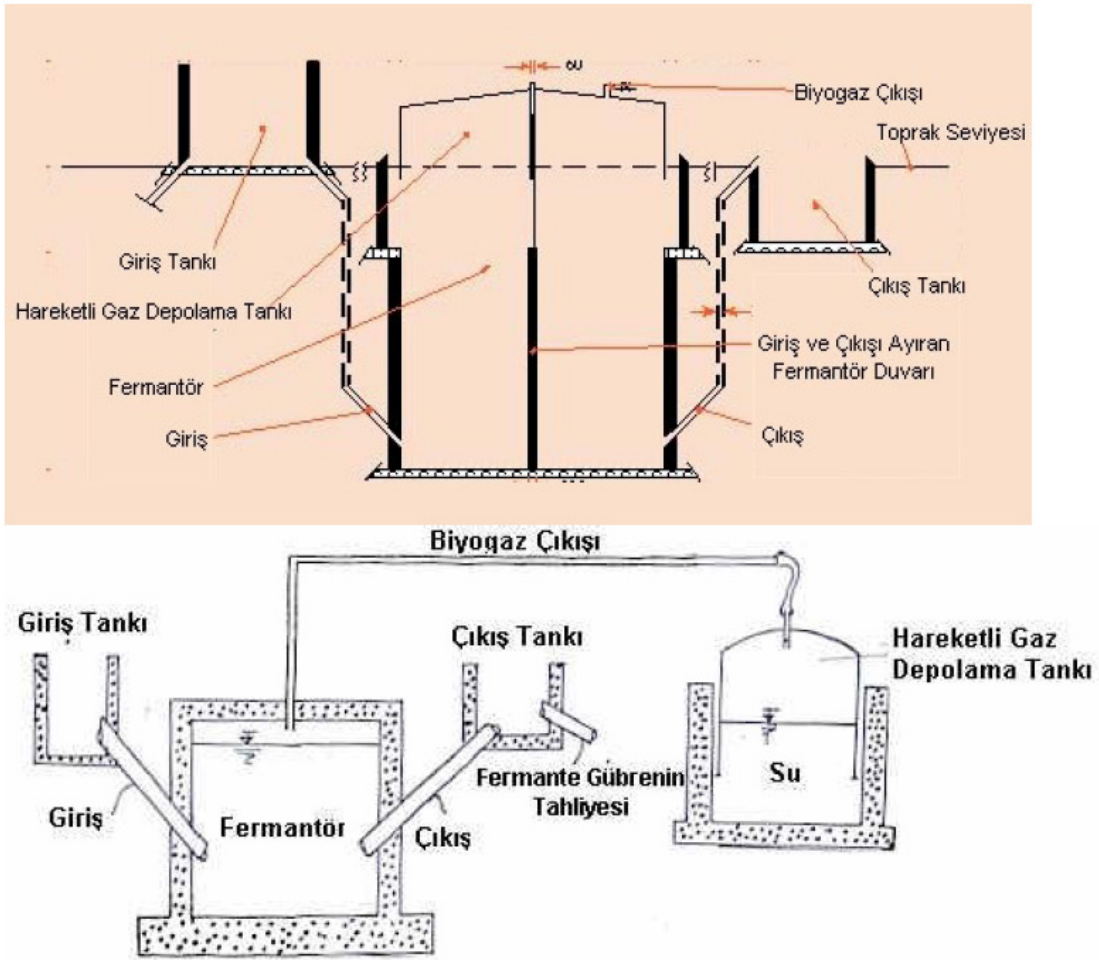
Şekil 4.1 Biyogaz tesisleri görünüşleri (Bilgin, N. 2003)

Birçok ülkede biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedir. Biyogaz tesisleri, aile tipi (6-12 m³ kapasiteli) çiftlik tipi (50-100-150 m³ kapasiteli), köy tipi (100-200 m³ kapasiteli) tesisler olarak ele alınabileceği gibi başta Almanya olmak üzere Amerika, Danimarka, İsviçre gibi pek çok ülkede 1000-10.000 m³ kapasiteli biyogaz tesisleri işletilmektedir. (Bilgin, N. 2003)



Şekil 4.2.Biyogaz tesisi proje ve uygulaması (Bilgin, N. 2003)

Aile tipi 6-12 m³ kapasiteli sabit kubbeli biyogaz tesisleri Çin'de çok yaygın bir biçimde kullanılmakta ve bu tip tesislerde oluşan biyogaz tesis içinde (kubbe bölümünde) toplanmakta ayrı bir gaz depolama tankı kullanılmamaktadır. Ancak bu durum biyogazın kullanımı sırasında gaz basıncının düşmesine neden olmakta dolayısıyla gaz basıncı sabit kalmamaktadır. Yeterli gaz basıncını sağlamak üzere Çin tipi tesisler genellikle kullanım yerlerine yakın kurulmaktadır. Büyük kapasiteli tesislerde ise oluşan biyogaz, tesisden ayrı veya tesis içinde sabit olmayan bir yerde toplanmakta (gaz depolama tankı) ve gaz basıncının sabit kalması sağlanabilmektedir. Bu tip biyogaz tesislerine en çok Hindistan'da rastlanmaktadır. (Bilgin, N. 2003)



Şekil 4.3 Aile tipi bir biyogaz tesis şeması (Bilgin, N. 2003)

Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermantör)ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır.

Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığı çok önemlidir. Genel bir kural olarak bu sıcaklığın 30-35 °C olması istenir. Isıtılmayan tesislerde özellikle kış aylarında sıcaklığın bu derecelere ulaşması mümkün değildir. Sıcaklığın 10 °C'nin altına düşmesi biyogaz üretimini durdurabilmektedir. Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve en yaygın kullanılan sistem, tesis içine yerleştirilen serpantinlerden yararlanmaktır (sıcak su boruları). Bu sistemde su, tesis tarafından sağlanan biyogazla ısıtılarak sirkülasyon pompası ile tesis içine yerleştirilen serpantinler içinde dolaştırılarak ısıtma sağlanmaktadır. (Bilgin, N. 2003)

4.2.Biyogaz Tesislerinin Kapasitelendirilmesi

Biyogaz tesisleri projelendirilirken öncelikle kapasitenin tesbiti gerekmektedir. Bunun için tesiste, sadece hayvan gübresi kullanılacaksa; günlük ortaya çıkan gübre miktarı, hayvanların beslenme şekilleri ve gübrelerin katı madde miktarları bilinmelidir. (Bilgin, N. 2003)

4.2.1.Günlük Ortaya Çıkan Gübre Miktarı: Hayvanların gübre verimleri cinslerine göre değişik miktarlarda olabilmektedir. Gübre miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20 kg/gün (yaş) gübre verimi kabul edilebileceği gibi canlı ağırlığın % 5-6'sı da günlük gübre miktarına esas alınabilir. Aynı şekilde koyun ve keçi için 2 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın % 4-5'i günlük gübre üretimi olarak kabul edilebilmektedir. Tavuk için günlük gübre üretimi ise 0.08-0.1 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın % 3- 4'ü dür. (Bilgin, N. 2003)

4.2.2.Hayvanların Beslenme Şekilleri: Hayvanların mer'a da veya ahırda beslenmeleri günlük gübre üretimini etkiler.

4.2.3.Gübrelerin Katı Madde Oranları: Optimum biyogaz oluşumu için tesis içi gübre-su karışımının katı madde oranının % 7-9 olması gerekmektedir. Katı madde oranları; sığır gübresinin % 15-20, tavuk gübresinin % 30, koyun gübresinin ise % 40 civarındadır. Bilinmesi gereken diğer bir konu ise hayvan gübrelerinin değişik sıcaklıklarda optimum alıkoyma-bekleme süreleri ve biyogaz üretim miktarlarıdır. (Bilgin, N. 2003)

Çizelge 4.1 Örnek bir biyogaz tesisinde elde edilecek günlük gaz miktarının hesaplanması (Bilgin, N. 2003)

20 büyükbaş hayvanı olan bir çiftçi ailesi için gerekli olan biyogaz tesisinin kapasite hesabı aşağıda verilmiştir;	
Kabuller:	
<i>Fermantör sıcaklığı :</i>	30°C
<i>Üretilen gübre miktarı :</i>	10 kg (yaş)/gün/hayvan
<i>Gübrenin katı madde oranı :</i>	% 20
<i>Alıkoyma-bekleme süresi :</i>	30 gün
<i>Gübrenin yoğunluğu :</i>	975 kg/m ³
<i>Günlük gübre üretimi :</i>	20x10 = 200 kg (ağırlık olarak)
	200/975 = 0.205 m ³ (hacim olarak)
<i>Tesise günlük beslemede verilecek su miktarı :</i>	200 kg (% 10 katı maddenin sağlanması için gerekli su miktarı)
<i>Tesisin hacmi :</i>	200 x 2 x 30 /1000 = 12 m ³
12 m ³ kapasiteli bir biyogaz tesisinden yukarıda belirtilen koşullarda günlük elde edilebilecek biyogaz miktarı 6-7 m ³ civarındadır.	

Bu hesabı tavuk gübresi için yaptığımız takdirde, yine tesisi 30 °C’de çalıştırdığımızı kabul edersek, 12 m³ kapasiteli bir tesis için gerekli olan tavuk sayısı yaklaşık 2000’dir ve bu tesisten günde 14-15 m³ biyogaz elde edilebilir.

Aşağıda tavuk ve büyükbaş hayvan işletmelerinin hayvan sayılarına bağlı olarak kurabilecekleri biyogaz tesislerinin; büyüklüğü, günlük biyogaz üretimleri ve bu gazın etkili eşdeğer ısı karşılığı LPG miktarları verilmiştir. (Bilgin, N. 2003)

Çizelge 4.2 Örnek biyogaz tesislerinde elde edilecek günlük gaz miktarı (Bilgin, N. 2003)

İşletmelerin Hayvan Sayısı	Uygun Tesis Büyüklüğü (m ³)	Günlük Beslemeler İçin Gereken Gübre (kg(yaş)/gün)	Üretililecek Biyogaz Miktarı (m ³ /gün)	Eşdeğer LPG Miktarı (kg)
2.500 adet tavuk	15	200	17	7
5.000 adet tavuk	30	400	34	14
10.000 adet tavuk	60	800	68	28
20.000 adet tavuk	120	1600	136	56
50.000 adet tavuk	300	4000	340	140
5 adet büyükbaş	5 m ³	75	2,5	1
10 adet büyükbaş	10	150	5	2
50 adet büyükbaş	50	750	25	10
100 adet büyükbaş	100	1500	50	20

Kabuller: Fermantör sıcaklığı: 30 °C, gübrelerin katı madde oranı: büyükbaş hayvan için 15 kg (yaş)/gün, tavuk için 0.08 kg (yaş)/gün, alıkoyma-bekleme süresi: büyükbaş hayvan için 30 gün, tavuk için 24 gün. Biyogaz tesislerinin tasarımında ele alınması gereken diğer konular ise; (Bilgin, N. 2003)

- Tesisin kurulacağı yerin seçimi
- Tesis inşaatı, tesisin yalıtımı
- Tesisin ısıtılması, tesisin işletme koşulları
- Biyogazın depolanması ve dağıtımı
- Biyogazın taşınması,
- Biyogaz kullanım araçlarının belirlenmesi,
- Tesisten çıkan biyogübrenin depolanması, tarlaya taşınması ve dağıtımı gibi esaslarının önceden ortaya konmasıdır.

Bütün bu temel konular hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olmadan bir biyogaz tesisi yapmak ve işletmek mümkün değildir.

Fermente gübre

Biyogaz tesislerinden çıkan gübre (fermente gübre) sıvı formdadır.



- Tarlaya sıvı formda uygulanabilir



- Granül haline getirilebilir.



Şekil 4.4 Biyogaz tesisinden çıkan gübrenin tarımda kullanılışı (Bilgin, N. 2003)

- Beton veya toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir.



Şekil 4.5 Gübrenin beton havuzlarda kurumaya bırakılışı (Bilgin, N. 2003)

5. BİYOGAZ ÜRETİMİ İÇİN MATERYAL HAZIRLANMASI

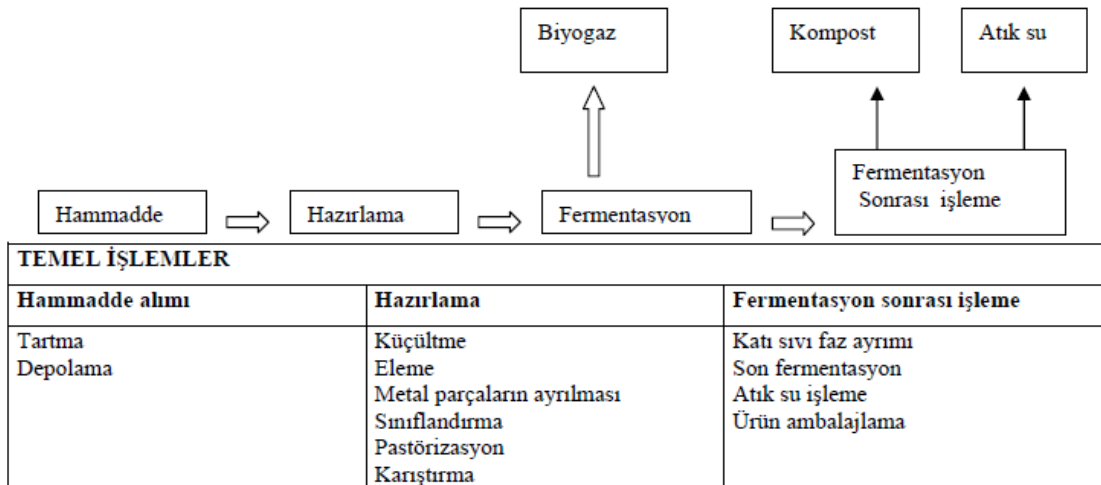
5.1. Materyal Hazırlanması

Organik atıkların fiziksel ve kimyasal farklılıklarından kaynaklanan nedenlerle işleme ve fermentasyon teknolojisinde de oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. İdeal fermentasyon koşullarının oluşturulması için gerekli fiziksel işlemler öncelikle hammaddenin nem durumuna göre farklılaşmaktadır. Kolay parçalanabilir materyal ile lifli olanların küçültme işleminde de yine farklı parçalayıcıların kullanılması gerekmektedir. Aşağıdaki şemada yapı farklılığından kaynaklanan özel işlemler dikkate alınmadan uygulanacak aşamalar görülmektedir (Çizelge 5.1). (Yaldız O.)

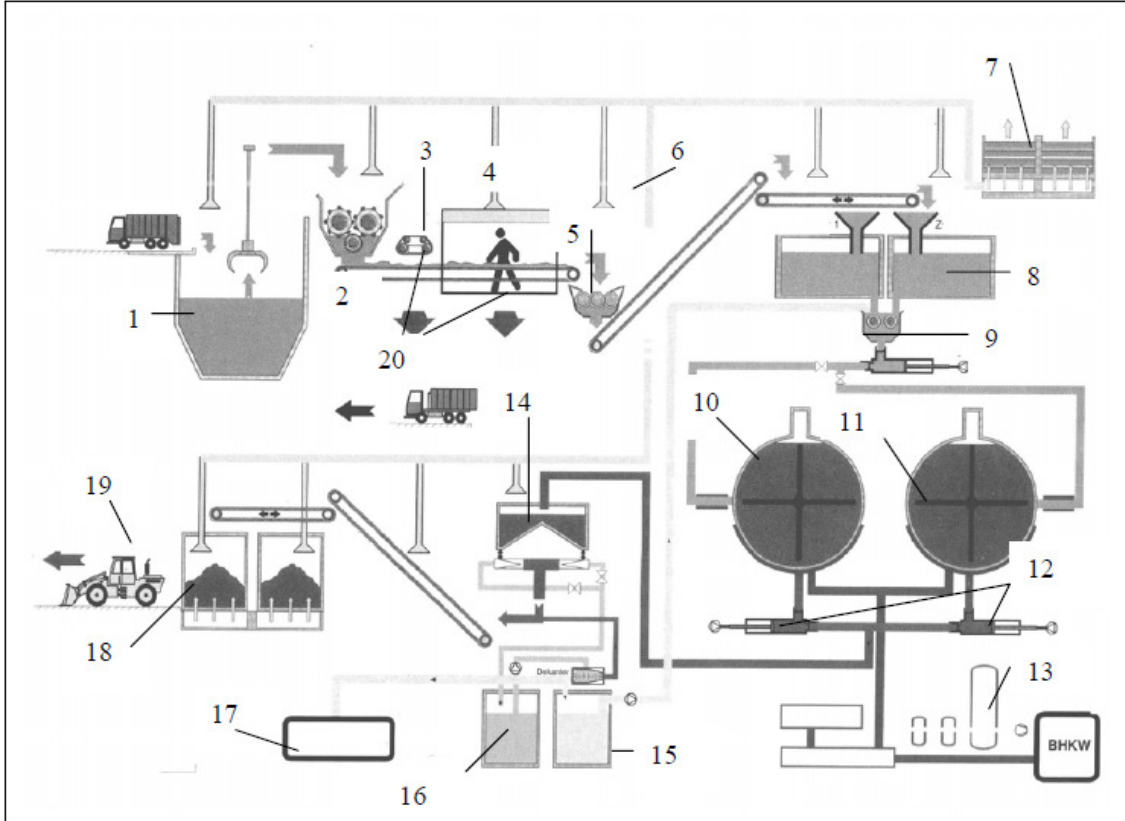
Fermentasyon için tesise gelen materyalin tartım ve depolama işlemi materyalin cinsine göre farklı şekillerde olabilmektedir. Hijyen açısından sorunlu olabilecek materyaller diğerleriyle pastörizasyondan önce farklı ortamlarda depolanmalıdır. Aksi takdirde patojen mikroorganizmaların diğer materyallere bulaşması söz konusu olacaktır. Bu tür materyallerin tesise ayrı alım noktalarından kabul edilmesi gereklidir.

Hazırlama aşamasında fermentasyon için uygun boyuta indirme, buna rağmen küçültülemeyen bileşenlerin elenmesi, metal parçaların mıknatıs yardımıyla ayrılması, gerekiyor ise sınıflandırma, mikrobiyolojik açıdan sorunlu olabilecek materyalin pastörizasyonu ve son olarak üretee yükleme öncesi karıştırma işlemleri yapılmaktadır.

Çizelge 5.1 Organik atıklardan biyogaz üretimi işlem akışı (Yaldız O.)



Fermentasyon sonrasında materyalin katı sıvı faz ayrımı yapılması, katı kısmın kurutularak veya kompost işleminden sonra bitkisel üretimde gübre olarak kullanılması için hazırlanması, sıvı kısmın arıtmadan sonra işletme dışına taşınması veya fermentasyon materyalinin sulandırılması için kullanılması ve ürünlerin satışa hazırlanması son işlemler olarak yer almaktadır. Biyogaz üretiminden sonra materyalin hazırlanarak kompost yapılması işletmenin mali bilançosunda iyileşmeye neden olmaktadır. Bu mümkün değilse biyogaz fermentasyonundan sonra katı sıvı faz ayrımının yapılarak katı kısmın (%25 kuru madde içeriğinde) bitkisel üretimde bitki besin maddesi olarak kullanılması yaygın uygulamadır.



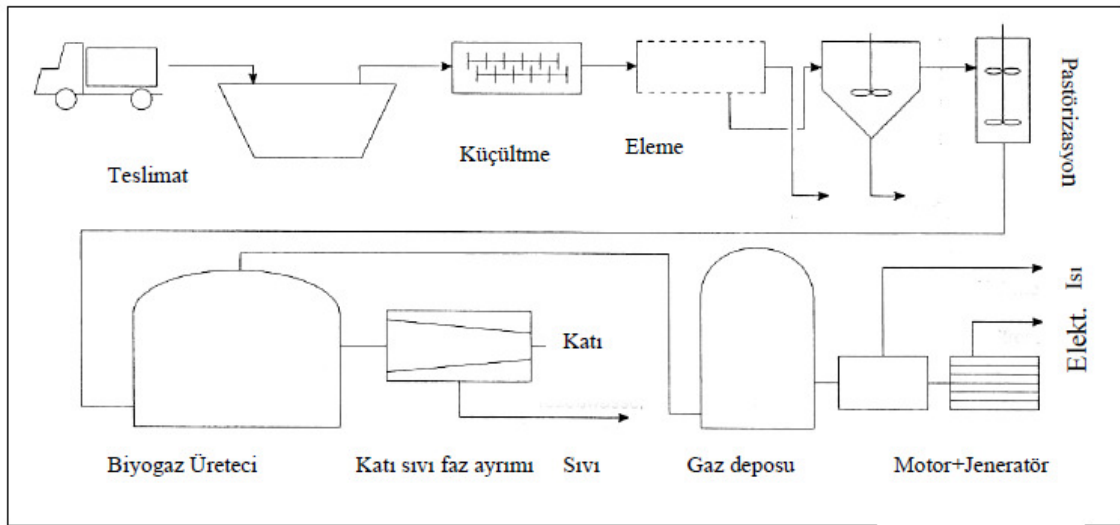
1-Materyal alımı 2-Küçültücü 3-Metal ayırıcı 4-Elle ayırım 5-İkinci küçültücü 6-Havalandırma 7-Biyofiltre 8-Ara depolar 9-Karıştırıcı (atık su ve biyoçöp) 10-Biyogaz üretici I 11-Biyogaz üretici II 12-Pompalar 13-Biyogaz deposu 14-katı sıvı faz ayrımı 15-basınçlı sıvı tankı I 16-Basınçlı sıvı tankı II 17-Biyolojik arıtma ünitesi 18-Kompost havalandırma yığınları 19-Son kompostlaştırma ünitesi 20- Demir ve yabancı maddeler

Şekil 5.1 Bir biyogaz ve kompost tesisi akış şeması (Yaldız O.)

Şekil 5.1'de Almanya Braunschweig kenti katı ve sıvı atık arıtma ve işleme ünitesi akış şeması görülmektedir. Burada tesise gelen evsel atıklar toplama deposundan alındıktan sonra 1. küçültücüden geçirilmekte, kısmen küçülen materyal manyetik alan yardımıyla metal parçalarından temizlendikten sonra elle ikinci bir ayırma tabi tutulmaktadır. Daha sonra 2. küçültücüden geçirilen atıklar bir bant yardımıyla ara depolara taşınmaktadır. Ara depolarda bulunan materyal dozajlanarak sıvı kentsel atıklarla karıştırılmakta ve uygun kuru madde oranı sağlandıktan sonra biyogaz üreteçlerine yüklenmektedir. Bu arada fermentasyonu tamamlanan materyal üreteçlerden alınarak katı sıvı faz ayırımına tabi tutulmakta, sıvı kısım biyolojik arıtma ünitesine, katı kısım ise kompost yapımı için kompostlaştırma alanına taşınmaktadır. (Yaldız O.)

5.2. Materyal Hazırlama Tekniği

Biyogaz fermentasyonunda kullanılacak materyal tesise teslim edildikten sonra küçültme ve eleme işlemlerine tabi tutulur. Elemeden sonra belirli boyutun üzerinde olan kısımlar ayrılır. Gerekli ise pastörizasyon işleminden sonra üretece yüklenir. Fermentasyonu tamamlanan materyal üreteçten alındıktan sonra katı sıvı faz ayırımına tabi tutulur. Burada amaç sıvı fazın tekrar materyalin sulandırılması için kullanılabilmesi, katı kısmın ise kurutulurken veya genellikle olduğu gibi kompost yapımında kullanıma elverişli duruma getirilmesidir. Şekil 5.2'de fermentasyon için gerekli olan ön hazırlık işlemleri görülmektedir.



Şekil 5.2 Organik atık anaerob işleme tesisi akış şeması (Yaldız O.)

5.2.1. Küçültme ve Ezme İşlemleri

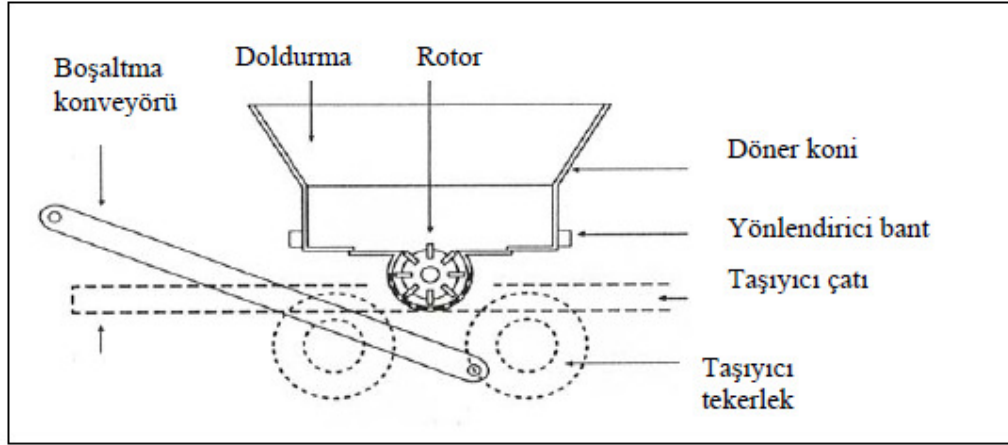
Materyal büyüklüğünün fermentasyona uygun boyuta indirilmesi için farklı işlemler uygulanmaktadır. Büyük boyutlu materyalin küçültülmesi için genellikle değirmenler kullanılmaktadır. Silindirik değirmen ve çekiçli değirmen organik materyalin küçültülmesi için uygun düzenlemelerdir. Materyalin küçültülmesi, ezilmesi veya kırılması işlemi fermentasyonun başarısı üzerinde etkilidir. Fermentasyonda etken olan bakterilere geniş yaşam alanlarının kazandırılması için gereklidir. Tesis yapısının boyut üzerinde etkisi önemlidir. Yükleme ve boşaltma kanal veya borularının yeterli büyüklükte olması özellikle içerisinde yataklık bulunan gübreler açısından önemlidir. Çiftlik gübrelerinin monofermentasyon şeklinde kullanılması durumunda herhangi bir küçültme işlemine gerek duyulmamaktadır. Bu durumda ahır içerisinden temizlenen gübrenin içerdiği yataklığın yükleme ve boşaltma kanallarında tıkanıklık yapması söz konusu olduğu için olabildiğince büyük kesitler seçilmelidir. Ancak karışımda günümüzde yaygın olarak kullanılan komateryal bulunması durumunda küçültme ve ezme düzenlemelerine gereksinim vardır. Biyogaz tesislerinde kullanılan komateryalin büyüklüğünün 10 mm.'den daha fazla olmaması gerekir. Bu nedenle küçültmeden sonra eleme işlemi yapılmalıdır. Materyalin kuru madde içeriğinin %20'den fazla olması durumunda katı madde fermentasyonu, %15-20 olması durumunda yarı katı madde fermentasyonu, %15'den daha az olması durumunda ise yaş madde fermentasyonu olarak adlandırılmaktadır. Hammaddenin içerdiği kuru madde oranı fermentasyon öncesi işlemleri etkileyen önemli bir özelliktir.

Silindirik değirmen ve döner bıçaklı kıyıcı düşük devirle çalışan düzenlemelerdir. Silindirik değirmende materyal yatay-düşey bileşkesinde hareket ederek küçülür ve ezilir. Her iki makina da bitkisel atık ve biyoçöplerin küçültülmesine uygun bir yapıya sahiptir. Çekiçli değirmen yüksek devirle çalışır ve çarpma yoluyla küçültme yapar, biyoçöplerin küçültülmesine uygun bir düzenlemedir. Buna karşın enerji gereksinimi yüksektir ve çekiçlerde aşınma hızlı olmaktadır. Ancak tamir bakım işlemi kolay ve ucuz olduğu için tercih edilmektedir. (Yaldız O.)

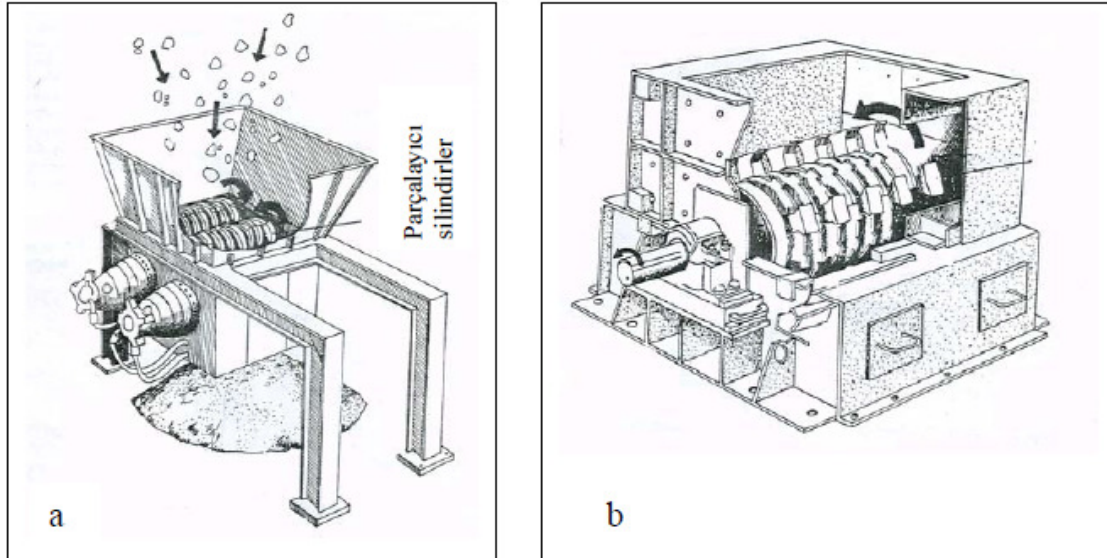
Üst kısmında bulunan koni biçimindeki depo kendi etrafında döner durumda yapılmıştır. Rotor ile karşı elek arasında parçalanıp ve küçülen organik materyal alt kısımda bulunan bant üzerine dökülerek dışarıya taşınmaktadır.

Döner bıçaklı kıyıcılar taşınır veya bir römorka monte edilmiş durumda kullanılmaktadır. Bu tip makinalarda materyal kesilerek küçültülür. Kesilmesi güç olan

materyaller için de uygundur. Materyal kepçelerle veya sürekli yükleme yapabilen konveyörler yardımıyla yüklenir.

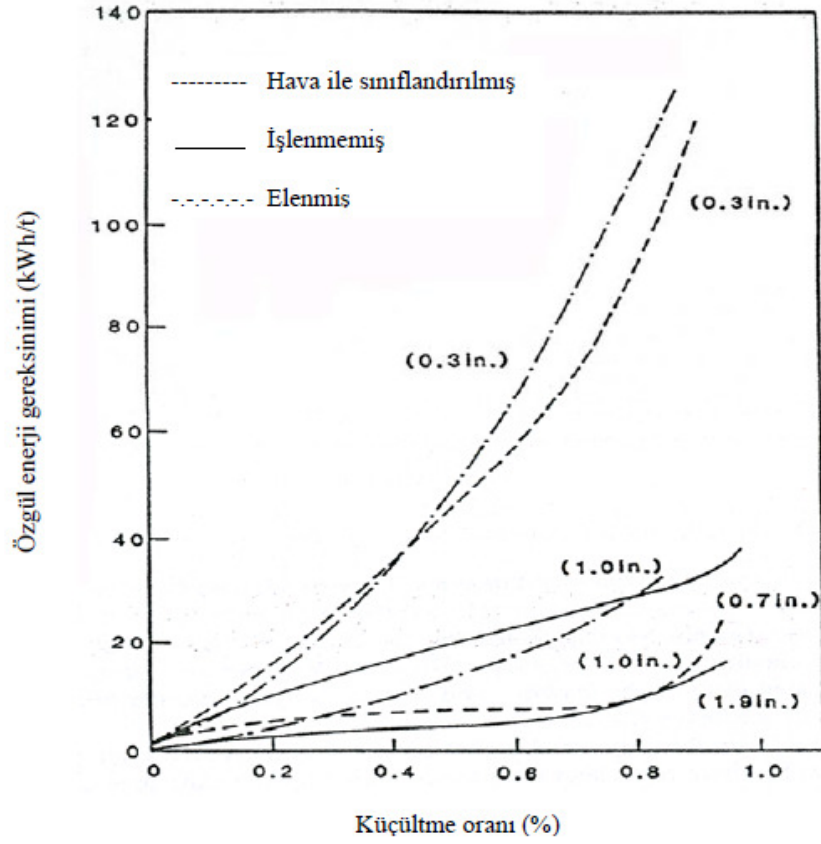


Şekil 5.3 Döner bıçaklı taşınabilir küçültücü (Yaldız O.)



Şekil 5.4 a) Döner bıçaklı kıyıcı b) Çekiçli değirmen (Yaldız O.)

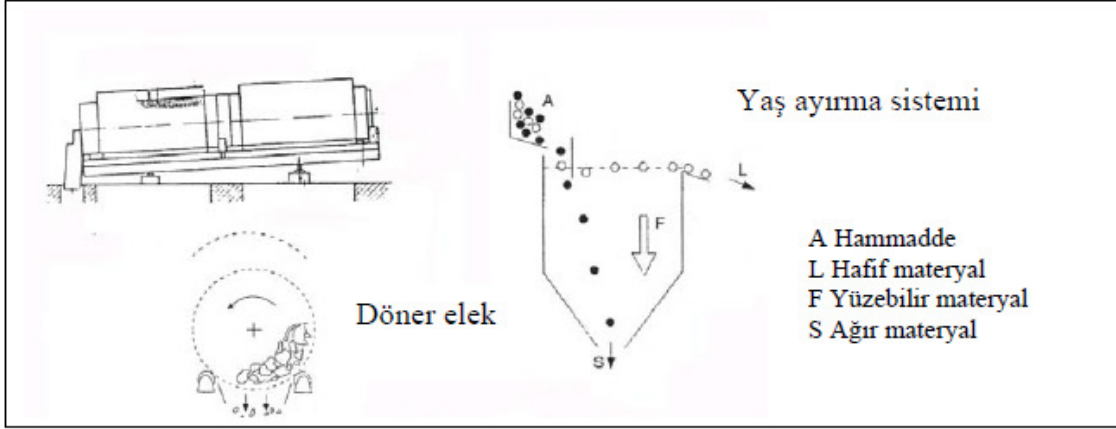
Aşağıda şekil 5.5’de farklı büyüklükler için enerji gereksinimi görülmektedir. Parçacık boyutunun küçülmesi durumunda birim ağırlık için gereksinim duyulan enerji miktarı artmaktadır. Materyalin küçültmeden önceki boyutu da enerji tüketimini etkilemektedir. Boyutun küçülmesi enerji tüketiminde artmaya neden olmaktadır. En küçük boyut olan 0,3 inç uzunluk için en yüksek miktarda enerji tüketimi olduğu gözlenmiştir. (Yaldız O.)



Şekil 5.5 Farklı boyuta sahip organik materyalin farklı boyutlarda küçültülmesi için gerekli enerji miktarları (Yaldız O.)

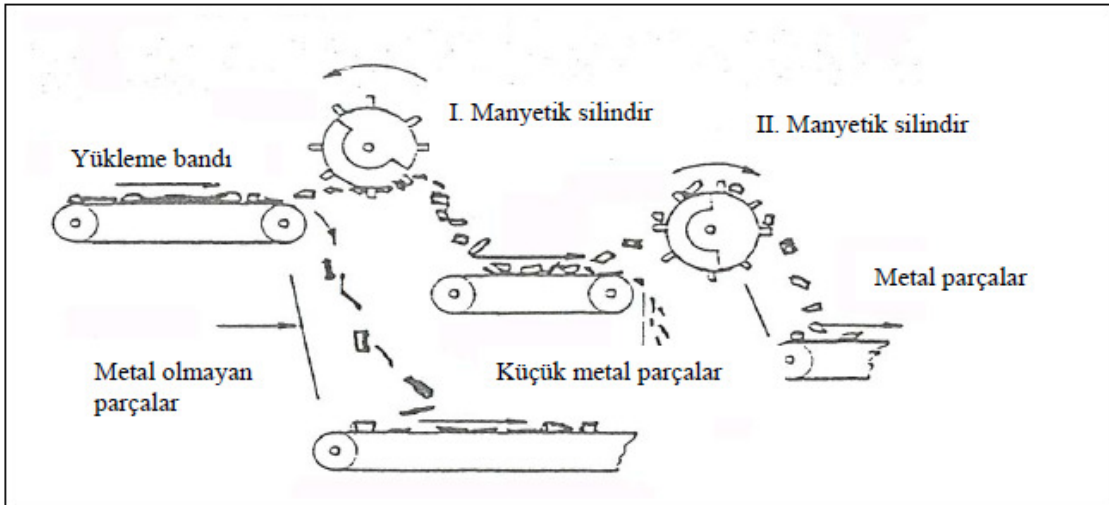
5.2.2. Ayırma ve Sınıflandırma

Küçültme ve ezme işlemi yanında sınıflandırma da gerekli işlemlerdendir. Materyal içerisinde bulunan cam, plastik malzeme, kum, taş gibi materyallerin fermentasyondan önce temizlenmesi gereklidir. Bu işlem için farklı yapıda elekler kullanılır. Döner elek ve düz elek yaygın olarak kullanım alanı bulmuşlardır. Yukarıda söz edilen materyaller genellikle fermentasyona uygun organik materyalden farklı boyut ve özgül ağırlığa sahiptirler.



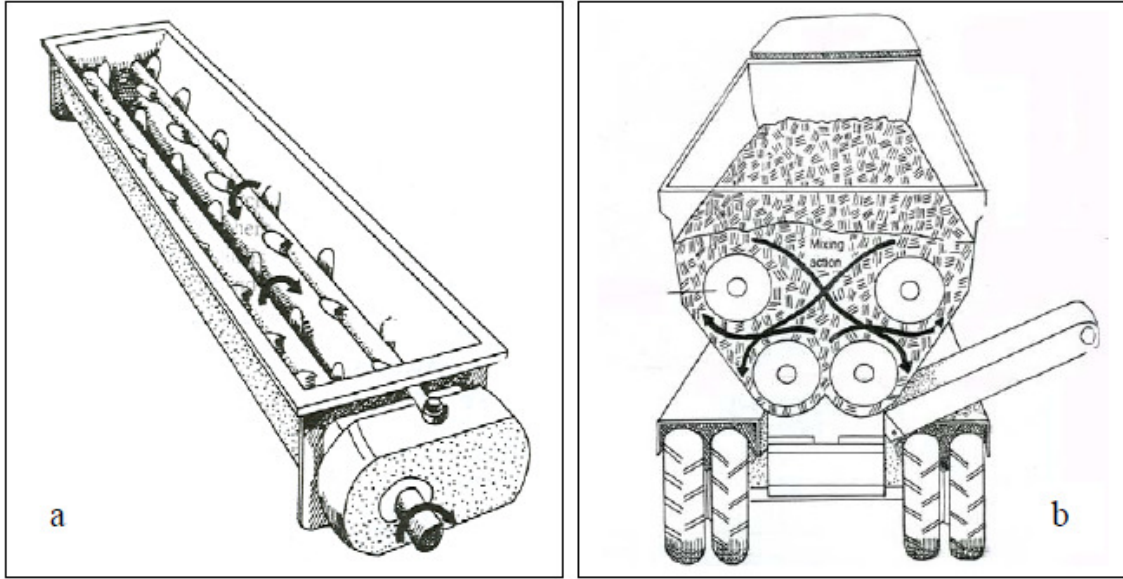
Şekil 5.6 Atıkların sınıflandırılması (Yaldız O.)

Bu farklılık ayırma işleminin daha kolay gerçekleşmesini sağlar. Küçültme işlemi sırasında organik materyalin boyutları küçülürken örneğin plastik maddelerin boyutları genellikle büyük kalır ve bu farklılık ayırma işleminde kolaylık sağlar. Temizleme işleminin küçültmeden önce veya sonra yapılması konusunda materyal özelliğine göre karar verilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak kullanılan döner eleklerde iş verimi eleğin delik çapına, elek çapına, dönü sayısına ve eğimine bağlı olarak değişmektedir. Eleklerle ayırmada yabancı maddelerin ayrılması yanı sıra aynı zamanda boyutlandırma işlemi de yapılabilmektedir. Yağ ayırma işlemi yoğunluk farkı esasına dayanmaktadır. Ayırma işlemi materyalin sulandırılması için kullanılacak sıvı içerisinde yapılabilmektedir. Ağır olan materyaller (kum, taş, cam vb.) aşağıya doğru çökerken daha hafif olan materyaller (plastik, ağaç parçaları vb.) üst kısımdan sıvı üzerinde yüzerek ayrılmaktadır. (Yaldız O.)



Şekil 5.7 Metal parçalarının manyetik ayırma sistemi (Yaldız O.)

Metal parçaların ayrılması işleminde manyetik alanlar kullanılmaktadır. Bir bant üzerinde hareket eden materyal içerisinde bulunan metal parçalar farklı şekilde oluşturulan manyetik alanlar yardımıyla ayrılmaktadır. Metal parçaların ayrılması işlemi materyalin fermentasyona hazırlama işleminin ilk aşaması olarak tasarlanmalıdır. Bu sayede metal parçaların küçültmeden önce ayrılması sağlanır. Fermentasyonda kullanılacak farklı materyallerin veya bunların su ile karıştırılmalarında aşağıda örneği görülen karıştırıcılar kullanılmaktadır. Kentsel organik atıkların sulandırılmasında da genellikle şekil 5.8 (b)'de görülen karıştırıcı kullanımı yaygındır. (Yaldız O.)



Şekil 5.8 a) Parmaklı karıştırıcı b) Helezonlu karıştırıcı (Yaldız O.)

Helezonlu karıştırıcılar, ahır atıklarının karıştırılmasında başarılı olarak kullanılabilirler. Piyasada çeşitli şekillerde modifiye edilmiş beslemeli karıştırıcılar bulunmaktadır. Test edilen bazı karıştırıcı tipleri; helezonik, dönen kanatlı (kürekli) ve sonsuz parmaklı tip karıştırıcılardır. Bu karıştırıcı tiplerinin hepsi iyi bir karışım sağlar. Karıştırıcıların çoğu bir kamyon veya römorka monte edilerek kullanılır. Beslemeli karıştırıcılar kullanıldığında, materyalin önceden karıştırılmasına gerek yoktur. Bu tip karıştırıcılarda eğer hayvansal atıklarla diğer organik materyaller (daha kabayapılı) karıştırılacak ise öncelikle kaba yapılı materyaller karıştırıcı içerisine yerleştirilir ve gübre daha sonra materyallerin üzerine eklenir. Karıştırma işlemi sadece birkaç dakika sürmektedir.

Sabit parmaklı karıştırıcılarda karıştırıcı içerisindeki parmaklar materyali karıştırırlar ve sürekli karıştırma işlemi gerçekleştirebilirler. Bu çalışma yönteminde işlem kapasitesi depo hacmine bağlı olmadığından ve sürekli besleme yapıldığından işlem hızı diğer karıştırıcılardan daha yüksektir.

Dönen tambur tipi karıştırıcılar arıtma çamurları ile öğütülmüş bitkisel atıkların karıştırılmasında başarılı olarak kullanılmaktadırlar. Karıştırıcının dönme hareketi düşük hızda çamuru küre formuna getirmektedir. Yüksek devirde dönme işleminde çamur tamburun duvarlarına yapışmaktadır.

5.2.3. İşlemlerin Enerji Gereksinimi

Sınıflandırma işleminde hava ile ayırma ve sınıflandırma çok yaygın kullanılan bir sistem olmamasına karşın uygulanmaktadır. Özellikle ABD’de uygulanan bu ayırım sisteminde enerji tüketimi 3,4-4,1 kWh/ton olarak bildirilmektedir. Manyetik yöntemle metal parçaların ayrılmasında enerji tüketimi oldukça düşük olup ortalama 0,4 kWh/ton düzeyindedir.

Eleme işleminde çok yaygın olarak kullanılan döner eleklerin enerji gereksinimi ise 0,8-1,1 kWh/ton arasında değişmektedir. Materyal farklılığının büyük olmasına rağmen organik atıklarda boyut küçültme için 10, eleme için (hava ile ayırma, manyetik ayırma, döner elek) 4,6 ,materyalin taşınması için ise 0,5 kWh/ton enerji gereksinimi hesaplanmaktadır. (Yaldız O.)

Çekiçli değirmenler için büyüklüklerine göre çok farklı enerji gereksinimleri bulunmaktadır. Kapasitelerine ve yapımçı firmaya göre değişmekle birlikte 3,5 ile 12,2 kWh/ton arasında değişen enerji harcamını hesaplanmıştır.Yapılan bir diğer çalışmada eleme işlemlerinde enerji gideri 2,25 kWh/ton veya 0,99 kWh/ton.materyal (0,56 kWh/m³. materyal) olarak bildirilmektedir. (Yaldız O.)

5.2.4 Pastörizasyon

Fermentasyon öncesi pastörizasyon işlemi gerekli olabilmektedir. Klasik yetiştirme yapılan hayvancılık işletmelerinde yataklık miktarının fazla olması ve gübrenin bir süre beklemesi durumunda kendiliğinden ısınması sonucu 50-55° C’e ulaşan sıcaklık pastörizasyon işlemini gerçekleştirmektedir.

Pastörizasyon için ayrı bir ünite kullanılmakta ve materyal 70° C sıcaklıkta en az 1 saat pastörize edilmektedir. Pastörizasyon sırasında materyalin karıştırılarak sıcaklığın tekdüze dağılmasına dikkat edilmelidir. Tahıl sapları, dane kabukları, yem bitkisi artıkları,

hayvan kılları ve boynuz, jelatin üretimi atıkları, gıda sanayi atıkları, nişasta sanayi atıkları, konserve atıkları, tütün tozu, tütün yaprakları atıkları, sigara fabrikası fireleri (sigara filtresi hariç) kahve, çay, kakao fabrikası atıkları, yağlı tohumlar atıkları, yağ fabrikası atıkları, melas, baharat bitkilerinin atıkları, malt posası, selüloz içerikli atıklar, bitkisel lifler, yün atıkları, market ve hal atıkları, tıbbi bitkiler atıkları, mantar atıkları, hayvan gübreleri (hayvanat bahçesinde yaşayan ve kürk hayvanı atıkları hariç) herhangi bir pastörizasyona tabi tutulmadan kullanılabilirler. Hayvan kılları, boynuz, jelatin üretimi atıkları, kanatlı hayvan tüyleri ve mide içeriğinde hijyen açısından herhangi bir sorun bulunmayacak, işletmelerin atık suyu çamuru ve konserve atıkları, tütün tozu, tütün yaprakları atıkları, sigara fabrikası fireleri (sigara filtresi hariç) kahve, çay, kakao fabrikası atıkları, yağlı tohumlar atıkları, yağ fabrikası atıkları, melas, baharat bitkilerinin atıkları ile tarım işletmelerindeki mutfak atıkları kanalizasyon ile karışmamış olmak koşuluyla pastörize edilmeden kullanılabilirler.

(Yaldız O.)

Biyogaz tesislerinde iki adet pastörizasyon ünitesi gereklidir. Sürekli yükleme yapılması durumunda bir üniteye pastörizasyon devam ederken diğer üniteden alınan materyal üretece yüklenmektedir.

6. BİYOGAZ REAKTÖR MODELLERİ

Bio reaktör modellerini iki grup altında toplamak çok sağlıklı olur.

- 1- Küçük Hacimli Reaktörler
- 2- Büyük Kapasiteli Reaktörler

Az sayıda hayvan besleyen yerleşimlerde, küçük kapasiteli ve basit biyo reaktörler kurulmaktadır. Bu tesisler daha az işletme maliyeti gerektirir. Çok sayıda hayvan yetiştiriciliği yapılan çiftliklerde ise daha büyük ve teknolojik biyo reaktör tesisleri kurulmaktadır.

Tüm reaktörler hava sızdırmaz olmalıdır. Reaktörde oluşan biyogaz kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörler yalıtılarak ortam sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır. Reaktörlerde sıcaklık değişimleri önlenmelidir. (Öztürk M. 2005)

6.1. Küçük Hacimli Reaktörler

Dünyada yoğun olarak kullanılan dört tür biyo reaktör vardır. Bunlar:

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

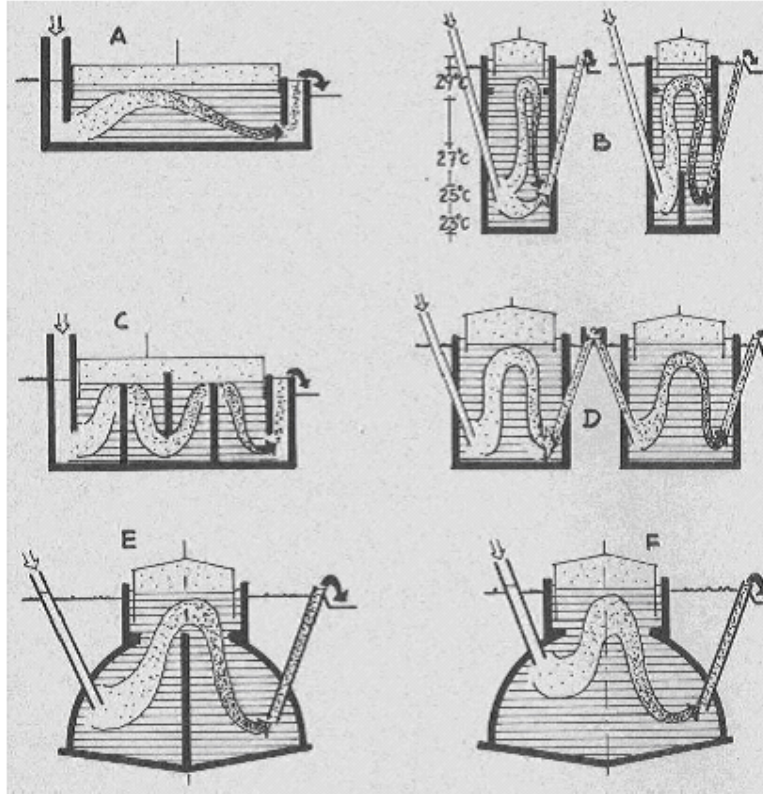
dir.

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 belli oranlarda seyreltilmesi ve besi maddesi ile doldurulması gereklidir. Biyo kimyasal 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 6.1’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, çatlamlar ve delikler engellenmelidir. Giriş borusu, çıkış borusundan daha yüksek bir noktada tanka temas etmelidir. Burada amaç, substrat akımının daha uniform ilerlemesini sağlamaktır. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.1 Biyo Reaktörlerde Besi Maddesi Hareketi (Öztürk M. 2005)

Küçük çaplı biyo reaktörler; (Öztürk M. 2005)

- 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 yüzebilir çatılı reaktörlerde çürümüş çamurun çıkış borusu tabandan itibaren 30-40 cm yukardan olmalıdır. Yüzebilir 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 akşam üzeri kapatılır, vana açılır ve besleme yapılır.

Besleme borusunun girişi, besi maddesinin reaktörün taban ortasına gelecek şekilde yapılması gereklidir.

Su çekersiz yüzebilir 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.

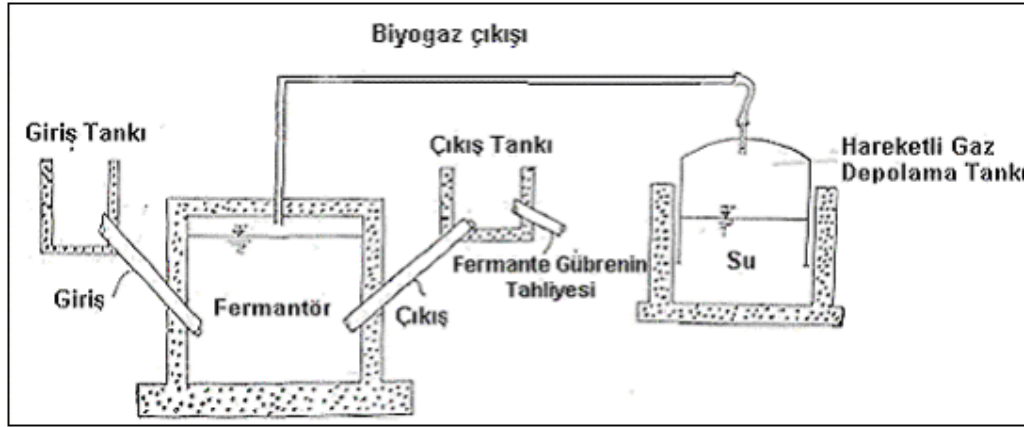
4 tip gaz tutucu bölme mevcuttur (yüzer çatı gaz tutucu, sabit kubbe gaz tutucu, plastik ve ayrı gaz tutucular). (Öztürk M. 2005)

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. (Öztürk M. 2005)

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:

- Tam olarak paslanmaz ve kirlenmez bir yapı
- En az iki tabaka astar giydirme
- 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. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.2 Hareketli gaz depolama tankı (Öztürk M. 2005)

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: (Öztürk M. 2005)

- a) Çok katlı bitümen (zift); soğuk uygulanır (sıcak uygulandığında yanma, zehirlenme, patlayıcı buhar oluşumu, çözücülerin zararı gibi tehlikelere sahiptir). İki ya da dört kat giydirme yapılabilir.
- b) Alüminyum folyolu zift; hala yapışkan haldeki zifte, ince tabaka halinde alüminyum folyo uygulanır bunu, ziftin ikinci giydirmesi takip eder.
- c) Plastikler; epoksi reçine ya da akri boyama bunlara örnektirler. Çok iyi fakat pahalıdır.
- d) 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

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

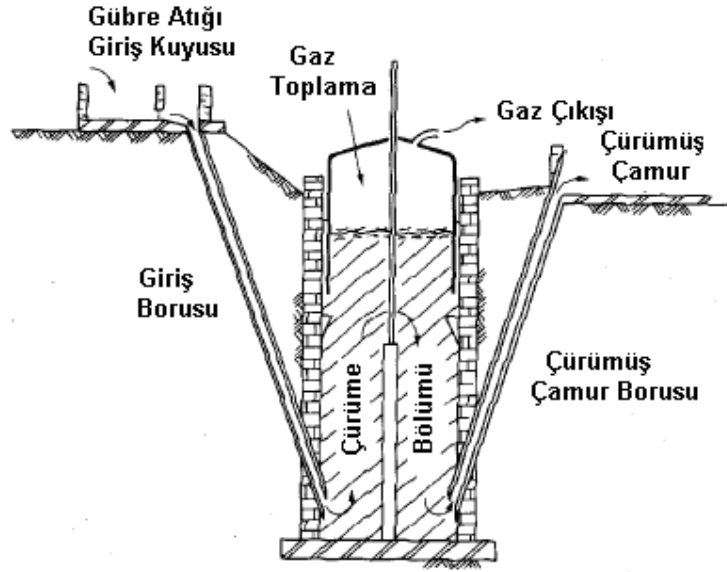
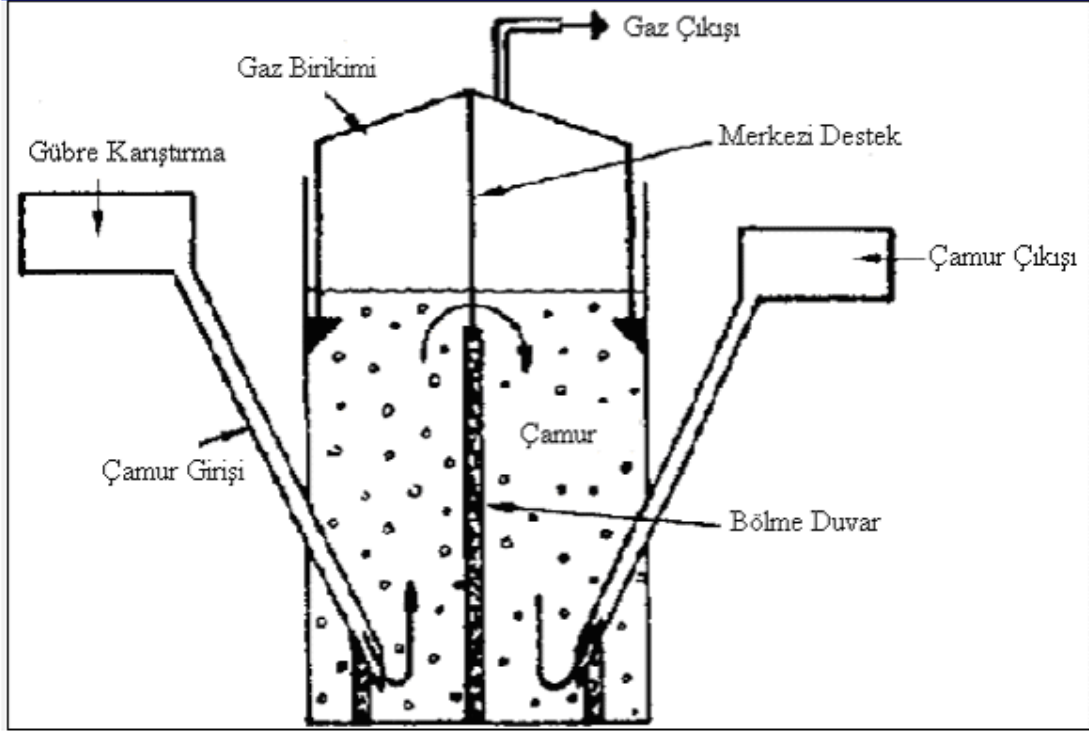
6.1.1. Yüzer Çatılı Hindistan Tipi Biyo Reaktörler (KVIC)

KVIC tipi reaktörler esas olarak çürüme ve gaz toplama bölümü olmak üzere iki kısımdan ibarettir (Şekil 11). 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 m³/m³ reaktör olarak değişir. Reaktöre gelen çamuru giden çamurdan ayıran merkezi bir duvar vardır. Besleme yarı sürekli olarak yapılmaktadır. Gelen kısmın hacmi çıkan kısmın hacmine eşittir. (Öztürk M. 2005)

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 glas plastiklerden yapılmaktadır. Gaz toplayıcı ağırlığı toplama alanında 90 kg/m² basınç verecek şekilde dizayn edilmelidir. Gaz depolama bölümü basıncı 4-8 cm H₂O arasında değişir. Bu basınç, gazın ev aletlerine girmesini sağlaması için yeterlidir. Ham demir inşaat maliyetinin %40-50'ni 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. (Öztürk M. 2005)

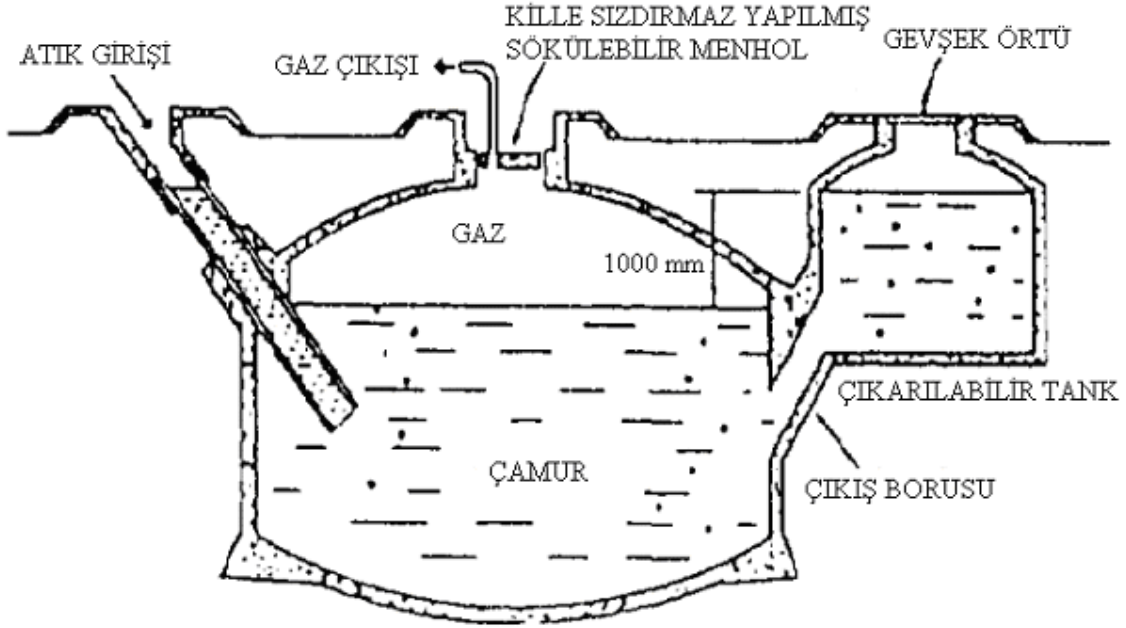
Genelde sıgır gübresi besi maddesi olarak kullanılır. Su sümbülü gibi maddelerde gübre içine karıştırılarak kullanılabilir. Sulandırılmış gübrenin reaktöre giriş kısmı çıkıştan daha yüksek olmalıdır. Böylece çürütülmüş çamur üzerine hidrostatik basınç oluşumu sağlanmış olur. Reaktör iki bölüme ayrılarak 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 6.3 Yüzer çatılı biyo reaktörler (Öztürk M. 2005)

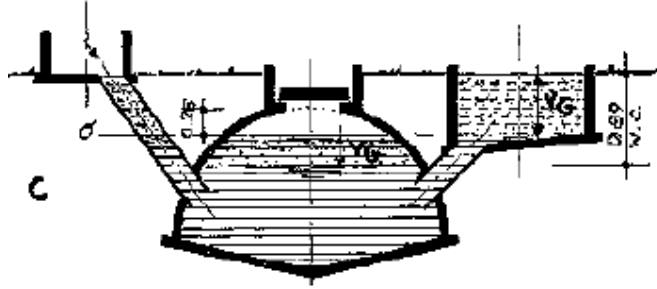
6.1.2. Sabit Çatılı Çin Tipi Reaktörleri

Sabit çatılı Çin modeli reaktör, Çin orijinlidir. 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 işlemde gaz sızıntısı önemli bir problemdir.



Şekil 6.4 Sabit çatılı çin tipi reaktörler (Öztürk M. 2005)

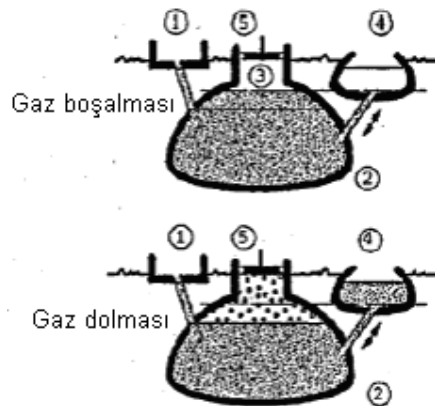
Sıkıştırma tankının taban seviyesi çürüme tankının dolu haldeki seviyesinde olmalıdır. Sıkıştırma tankı hacmi gaz depolama hacmine eşit olmalıdır. Çürüme tankının dolu olduğu seviye ile biogazın deşarj kısmı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 25 cm olmalıdır. Dolayısıyla sıkıştırma tankı yüksekliği doğru olarak seçilmelidir. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.7 Sıkıştırma tankı yüksekliğinin doğru seçilmesi (Öztürk M. 2005)

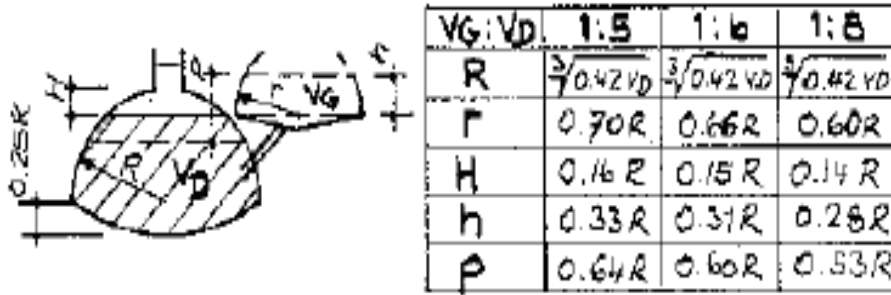
Gaz üretim hızı, 25 °C sıcaklıkta 60 gün hidrolik bekleme süresinde günde birim hacim reaktörden 0.1-0.2 hacim biyogaz üretilir. Reaktörde gaz basıncı 120 cm.H₂O eşit veya altındadır. Burada anahtar nokta reaktör çapının silindirin yüksekliğine oranı 2:1 olmalıdır. Bu oldukça yüksek yapı malzemesi gerektirir. Bu yüzden reaktörün tabanının ve tepesinin yarı silindirik olması bu yüzden. Biyogazın sabit hızda gelmesi isteniyorsa gaz basıncı regülatörü veya yüzebilir gaz haznesi kullanılmalıdır. Gaz depolama bölümü ve bağlantı elamanları gaz sızdırmaz olmalıdır.

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi oluşan biyogaz reaktörün üst kısmında birikir. Gaz birikmeye başladıkça tanktaki çamurla yer değiştirir. Gaz basıncı iki çamur tankında seviyedeki artışla orantılı olarak biyogaz miktarı artar.



Şekil 6.8 Sabit çatılı reaktörlerde gaz dolması ve boşalması (Öztürk M. 2005)
(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 6.9'da verilmiştir. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.9 Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması (Öztürk M. 2005)

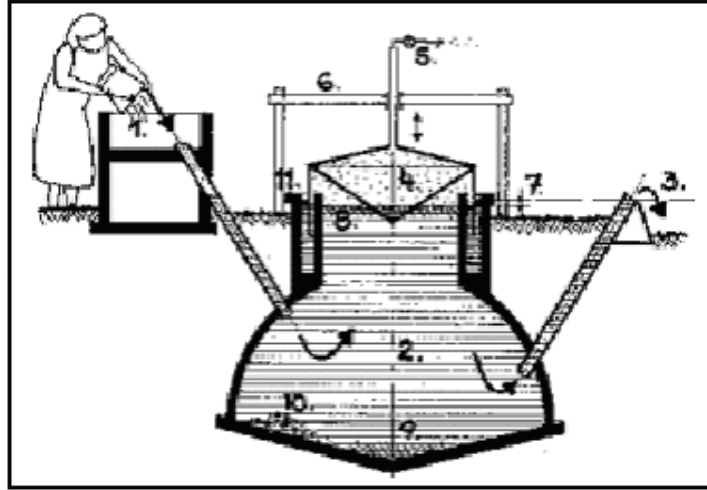
6.1.3. Yüzer Çatı Tipi Reaktörler

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.

Gaz toplama bölümü normal olarak metaldir. Çatı malzemesi genellikle 2 veya 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.

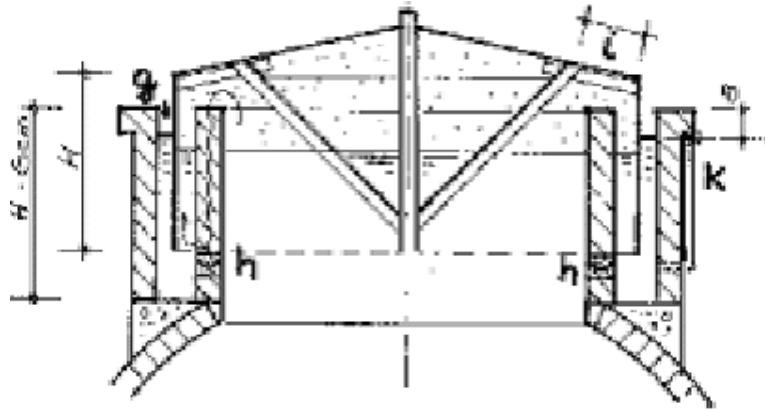
Bu tür tesisleri kurmak kolaydır. Biyogazı sabit basınçta depolamak mümkündür. Gaz sızdırmazlık problemi yoktur. Gaz toplama bölümü kolayca boyanabilir. Gaz toplama bölümü mavi veya beyaz yerine siyah veya kırmızıya boyanırsa gaz üretimi daha fazla olabilir. Çünkü güneş ışığının absorblanması ile gaz üretimi artar. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.10 Hareketli kubbe tipi reaktör (Öztürk M. 2005)

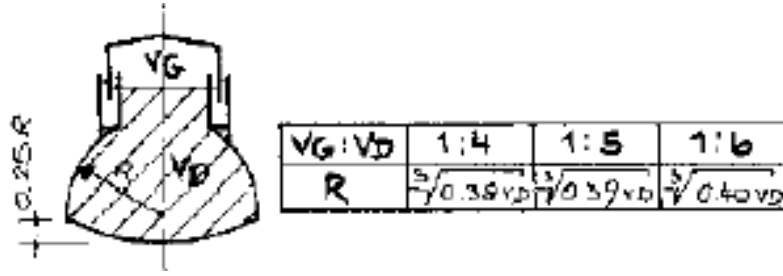
(1. Çamur karıştırma ve çamur girişi, 2. Reaktör, 3. Çürümüş çamur çıkışı, 4. Gaz depolama bölümü, 5. Vanalı gaz çıkış borusu, 6. Gaz hücresi destek yapısı, 7. Gaz basıncındaki fark, 8. Yüzebilir atıklar, 9. Çamur birikintisi, 10. Taş, kum birikintisi, 11. Yağ filmlerli su ceketini)

Yüzebilir çatı su ceketinde kolayca yukarı aşağı hareket edebilmelidir. Su ceketini 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 6.11 Yüzer çatının detayı (Öztürk M. 2005)

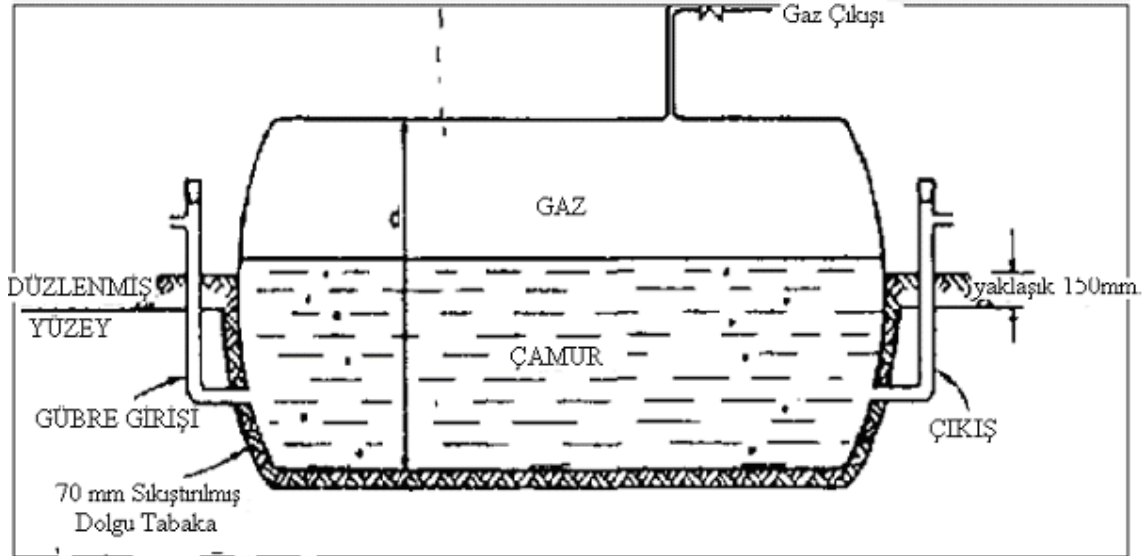
Gaz toplama boruları çelik, bakır, lastik veya set PVC olabilir. Lastik ve PVC'ler güneş ışığından etkilenecek şekilde çabuk bozunabilirler. Yüzer çatılı reaktörlerin boyutlandırılması Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12 Sabit çatılı reaktörün boyutlandırılması (Öztürk M. 2005)

6.1.4. Torba Tipi (Tayvan Çin) Reaktörler

Bu tür reaktörler PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı:3:14) olan silindirlerdir. U tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır (Şekil 6.13).



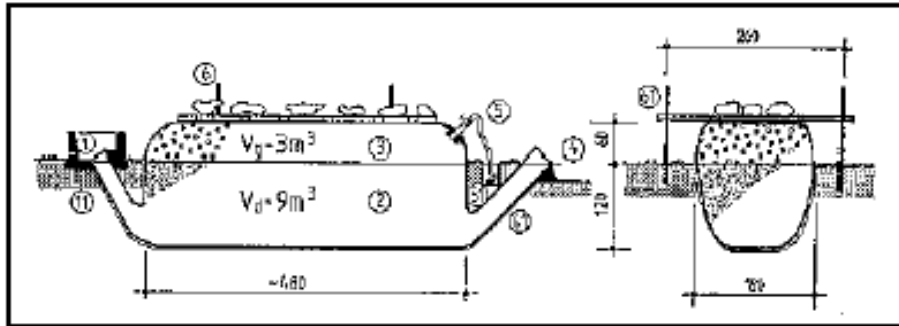
Şekil 6.13 Torba tipi (Tayvan-Çin) reaktörler (Öztürk M. 2005)

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 dolardır. Dolayısıyla torba tipi reaktörler çok rekabet edebilir durumdadır. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin'de bu reaktörler hızlı şekilde gelişmeye başladı. Kore, Tayvan ve Fiji'de yaygın kullanılan reaktörlerden biridir. (Öztürk M. 2005)

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. (Öztürk M. 2005)

6.1.5. 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 (Şekil 6.14). 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.

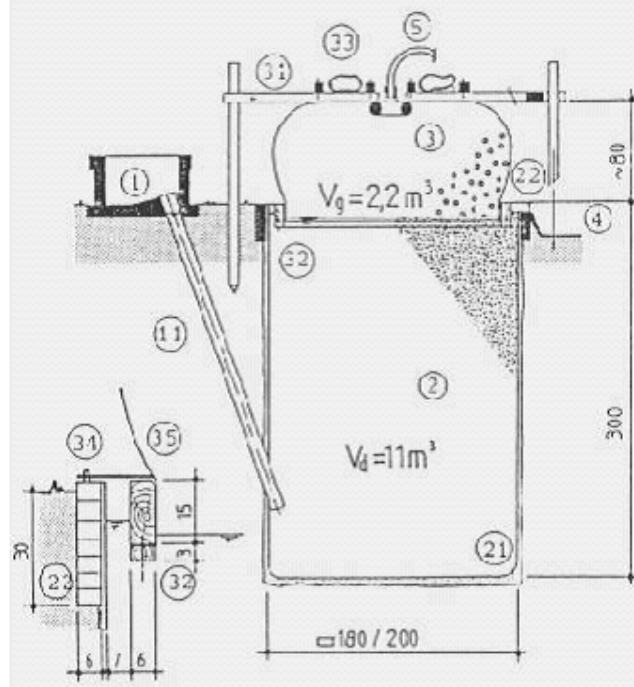


Şekil 6.14 Yatay balon tipi reaktör (Öztürk M. 2005)

(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 6.15). 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 başarılabılır. 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.



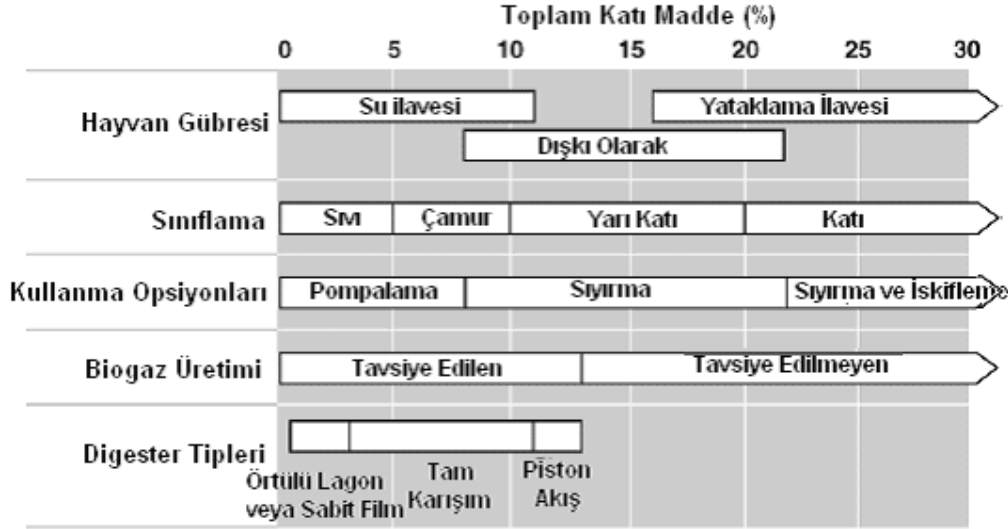
Şekil 6.15 Balon tipi biyo reaktör (Öztürk M. 2005)

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

6.2. 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 reaktörlerde kullanılacak hayvan gübresi özellikleri ve çamur besleme sistemleri Şekil 6.16'da verilmiştir. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.16 Çamur karakteri ve biyo reaktör özellikleri(Öztürk M. 2005)

6.2.1. 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 1. homojen bir ortam oluşturulur, 2. 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 ila 20 gün arasında değişir. (Öztürk M. 2005)

Anaerobik şartları muhafaza etmek için reaktör üzeri sabit olarak kapatılır. Biogaz reaktörden alınır. Arıtılır ve kullanıma sevk edilir. Çoğu tam karışımli reaktörlerden elde edilen biogazdan elektrik enerjisi üretilmektedir. Hem reaktör hemde karıştırma ünitesi motor soğutma sisteminden alınan atık ısı ile ısıtılmaktadır.

Tam karışımli reaktörlerin hacmi 100- 2000 m³ arasında değişmektedir. Daha büyük hacimli çamurlar için birden fazla reaktör kullanılabilir.



Şekil 6.18 Tam karışımli anaerobik arıtma tesislerinden görüntüler (Öztürk M. 2005)

6.2.2. Lagun Tipi Reaktörler

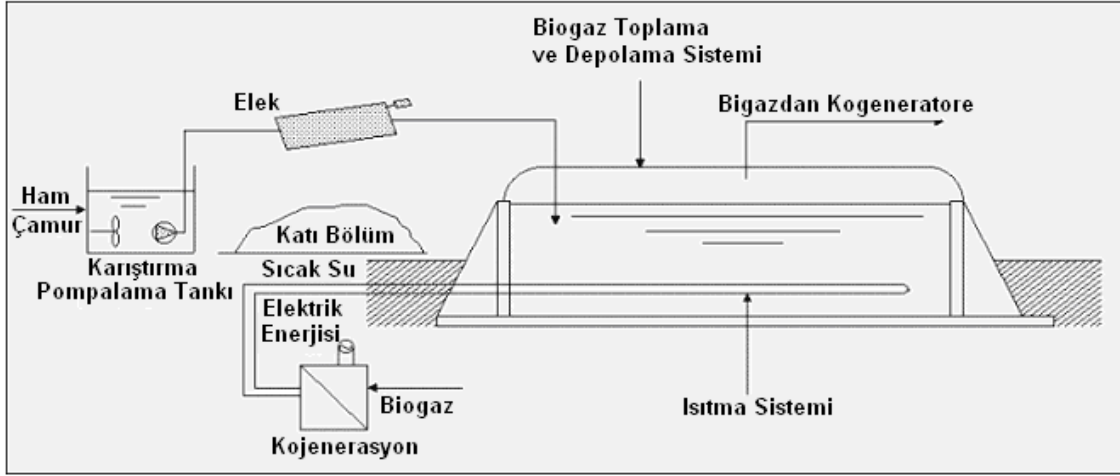
Anaerobik lagunların üstü örtülü havuzlardır. Gübre bir uçtan girer ve çürüme işleminden sonra diğer uçtan çıkar. Lagunlar genellikle psikofilik veya toprak sıcaklığına yakın sıcaklık şartlarında çalıştırılır. Dolayısıyla reaksiyon hızı, mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilenir. Yazın kış aylarına göre %35 daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Bu tür reaktörlerde katı madde konsantrasyonu %2 dır. Lagun tipi reaktörlerde katı madde konsantrasyonu düşük atık sularla çalışıldığı için domuz gübresi ile mandıra atıksularınının 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. 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 seluloz 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. (Öztürk M. 2005)

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 poli propilendir. Yüzer çatı örtüsü altında toplanan biogaz belli basınca ulaştığında gaz pompası ile kullanıma gönderilir.

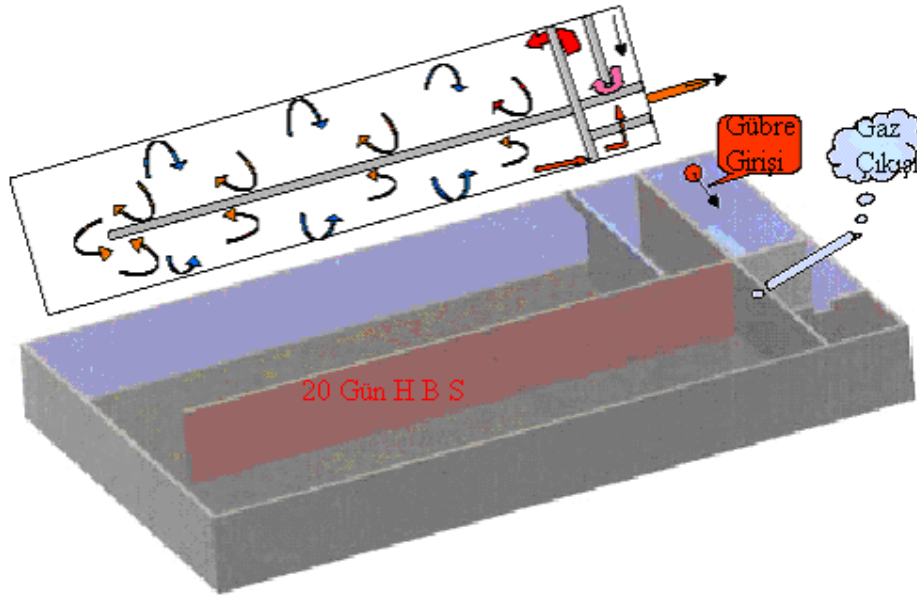
Anaerobik lagunların en büyük avantajı düşük maliyetli olmasıdır. Düşük maliyet düşük enerji üretimi ve daha az verimle arıtılmış su kalitesi ile dengelenir. Lagunlar sık aralıklarla temizlenmez. Temizleme esnasında koku şikayeti olur. (Öztürk M. 2005)



Şekil 6.19 Isıtımlı ve çatısı örtülü lagundan görüntü (Öztürk M. 2005)

6.2.3. 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 artırılabilir. Domuz ve mandıra atıklarını arıtmak için uygun değildir (Şekil 6.20).



Şekil 6.20 Piston akımlı reaktörler çalışma prensibi (Öztürk M. 2005)

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 metre olmalıdır. Genişliğin derinliğe oranı ise 2.5:1den 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. (Öztürk M. 2005)

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 sac 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. (Öztürk M. 2005)

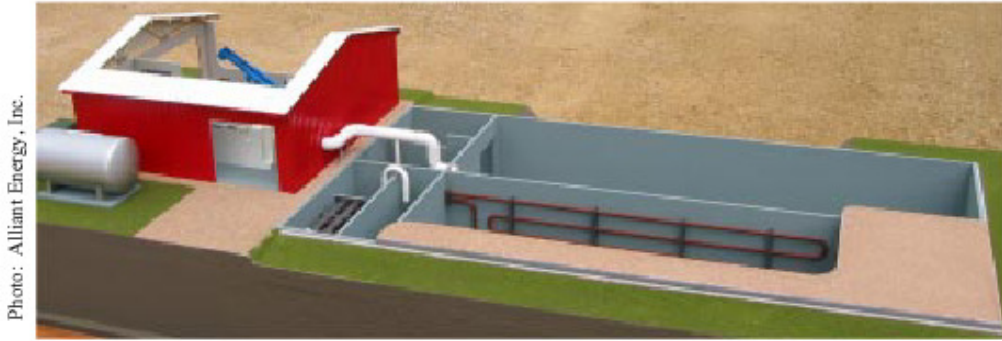
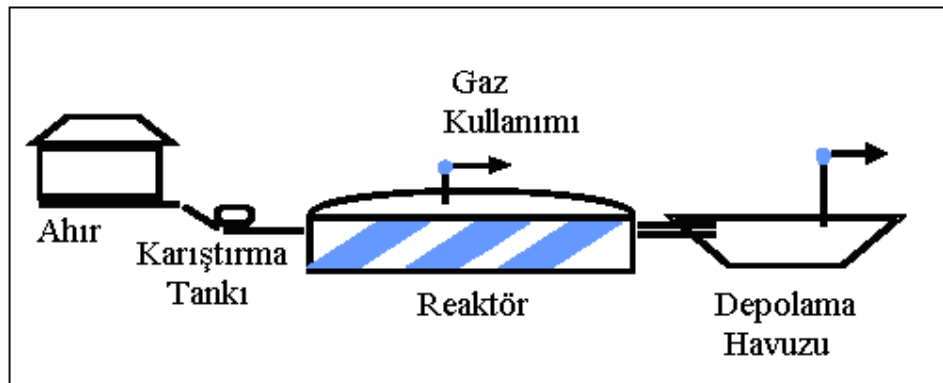


Photo: Alliant Energy, Inc.



Şekil 6.21 Piston akımlı reaktörler (Öztürk M. 2005)

7. ÜLKEMİZDE BİYOGAZ ÜRETİMİ KONUSUNDA YAPILAN ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Biyogaz teknolojisindeki bunca avantajı sıraladıktan sonra ülkemizdeki durumuna bakacak olursak parmakla gösterilecek derecede az ve yetersiz tesis olduğuna üzülmemek elde değil. Proje aşamasında kalıp uygulamaya geçilemeyen birçok örnek dışında uygulamada başarısız olup yarıda bırakılan projeler de bulunmaktadır.

Avrupa'da kırsal kesime verilen önem doğrultusunda birçok kentte, hatta kasabada küçük ölçekli biyogaz tesisleri kurulmuş olmasına karşın ülkemizde kırsal kesim hep ikinci plana atılıp öncelik büyük şehirlere verildiğinden köyden kente göç engellenememiş ve bu yüzden ne kırsal kesimde ne de kentte planlı gelişim yönünde sağlıklı adımlar atılamamıştır. Bunun sonucunda büyük şehir belediyelerinin bütçeleri doğrultusunda uygulamaya çalıştıkları projelerden tam randıman alınamamıştır. İlk örnek de İzmir'dedir. Yıllar boyunca denize dökülen her türlü atık körfezi bataklık haline getirmiş, son on yılda harcanan emeğe ve paraya karşın net bir çözüme ulaşılamamıştır. Şu an yürütülmekte olan Büyük Kanal Projesi'yle şehrin tüm atığının tek bir tesiste toplanarak ayrıştırılması, konumuz olan biyogaz elde edilerek bundan faydalanılması ve çevreye zararsız hale getirilen atığın geri dönüşümünün gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. (Bilgin, N. 2003)

Harmandalı Katı Atık Deponi Alanı'na ilişkin oluşan problemler tesisin dizayn edildiği şekilde işletilememesinden kaynaklanmaktadır. Sözgelimi Belediyeler arasındaki iletişim eksikliği ve ekipman yetersizliği nedeniyle evsel atıklar zaman zaman gerektiği şekilde gömülememekte; bu da martılar tarafından çöplerin karıştırılmasına neden olmaktadır. Kaynağında ayırma gerçekleşmediğinden çöpler cam, plastik, kağıt gibi niteliklerine göre ayrı olarak depolanamamaktadır. Büyükşehir Belediyesi'nde mevcut olan iş makinelerinin yetersiz oluşu ve kullanım ömrünü tamamlaması nedeniyle Harmandalı Katı Atık Deponi Alanı'ndaki çalışmalar verimli olarak sürdürülememiş; bu nedenle depolama alanına gelen çöpün toprağa serilmesi işi özelleştirilmiştir.

Depolama Alanı'nda organik atıkların oksijensiz ortamda mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu metan gazı ağırlıklı olmak üzere, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, azotlu bileşikler vb. gazlar oluşmakta; bu gazlar herhangi bir önlem alınmadan atmosfere verildiğinde, patlamalara ve zehirlenmelere neden olarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı; Harmandalı Katı Atık Deponi Alanı'nın evsel atık depolama bölgesinde çöplerin ayrışmasından kaynaklanan deponi gazlarının miktarının belirlenmesi, toplanması, gaz yakma sisteminin projesi, inşaatı ve gazın elektrik enerjisine

dönüşümü ile ilgili İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 14.11.1995 tarihinde bir ihale yapılmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar tamamlanmış olup; 5.6.1996 tarihinden itibaren yeni sistem devreye girmiştir. Hali hazırda alanda mevcut gaz toplama bacalarının verimli olan 18 adedinden yüksek yoğunluklu polietilen borular yardımıyla toplanan gaz ana kollektör ile deponi gazı yakma tesisine verilmektedir. 1250 m³/saat'lik gaz yakma kapasitesine sahip tesiste, deponi gazları 1000 °C'te yakılarak, çevreye olumsuz etkiler önlenmektedir. Vadi şeklinde olan katı atık depolama alanının en derin bölgesi ortalama 25 m. olup; toplanan deponi gazının içerisinde % 40-60 oranında metan gazı mevcuttur. Evsel atıkların depolandığı kısımdan oluşan çöp sızıntı suları çalışır durumdaki ön arıtma tesisinde kanal standartlarını sağlayacak şekilde arıtıldıktan sonra kanal sistemine verilmektedir. Önümüzdeki günlerde Büyük Kanal Projesi kapsamındaki kanal sistemine bağlanacaktır. (Bilgin, N. 2003)

İstanbul'da da benzer uygulamalar denenmiş ancak şehrin altyapısı çok yetersiz olduğundan başarıya ulaşamamıştır. Zaten biyogaz araştırmamızda gördüğümüze göre daha çok kırsal kesimde gelişmeye yönelik kullanılması uygun olan, çok nüfuslu ve altyapısı yetersiz büyük şehirlerde hayata geçirilmesi zaman alacak bir sistemdir. Çıkarılacak yasalarla bu sistemi kırsal kesimde kuracak girişimciler desteklenip, çiftçi ve halk da bilinçlendirilerek kısa sürede ülkemizin en büyük sorunlarından biri olan enerji sıkıntısı ortadan kaldırılabilir. Uzun vadede ise büyük kentlerde uygulamaya sokulacak tesisler, sınırları netleştirilmiş, yaptırımı yüksek, kontrolü kolay olacak şekilde çıkarılacak yasalar ve bilinçlendirilmiş toplumla kendi kendine yetip çevreyi koruyan bir enerji kaynağına ulaşılabilir.

7.1.Araştırma ve Uygulama Çalışmaları

Ülkemizde biyogaz üretimi ile ilgili araştırma çalışmaları en yoğun biçimde 1980-86 yılları arasında Merkez TOPRAKSU Araştırma Enstitüsünde (Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü) yürütülmüş ve biyogaz üretimi ile ilgili birçok temel bulgular elde edilmiştir. Aynı zamanda, yapılan araştırma, uygulama, eğitim ve yayım çalışmaları başarılı sonuçlar vermiş, kamuoyunun ilgisi çekilmiş ve önemli düzeyde bilgi birikimi sağlanmıştır. Söz konusu Enstitü'de kurulan biyogaz laboratuvarında yürütülen araştırmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. (Bilgin, N. 2003)

1- **“Sığır-Koyun-Tavuk Gübreleri ve Bunların Karışımlarından Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri”**. Araştırma fermentör sıcaklığı 30 °C’de sabit tutulan 1 m³ kapasiteli prototip biyogaz tesislerinde yürütülmüştür. En yüksek biyogaz verimi tavuk gübresinden elde edilmiştir (1215.6 l./m³).Tavuk gübresinin karışıma girdiği konularda biyogaz üretimi artmıştır. (Bilgin, N. 2003)

2- **“Ankara Koşullarında 12 m³ Kapasiteli TOPRAKSU Tip A Biyogaz Tesisinde Sığır Gübresinin Biyogaz Verimi”**. Araştırma sabit kubbeli (Çin Tipi) biyogaz tesisinde yürütülmüş, fermentör sıcaklığına müdahale edilmemiştir. Fermentör sıcaklığı 9 °C’de biyogaz verimi 1.4 m³/gün, 20 °C’de 5.9 m³/gün olmuştur. (Bilgin, N. 2003)

3- **“Ankara Koşullarında 28 m³ Kapasiteli Biyogaz Tesisinin Gaz Verimi”**. Bu araştırma, çiftlik tipi ısıtmalı ve gaz depolama tankı tesisten ayrı olan bir biyogaz tesisinde, karıştırma sistemlerinin karşılaştırılması amacıyla yürütülmüştür. Tesis sıcaklığı 20 °C ile 30 °C arasında tutulmuş, mekanik karıştırmalı uygulamadan 9.97-25.05 m³/gün, babilgan (kabarık tüfeği) ile karıştırmalı uygulamadan ise 7.64-14.56 m³/gün biyogaz elde edilmiştir.

4- **“Değişik Sıcaklıklarda Sığır ve Tavuk Gübrelereinden Elde Edilen Biyogaz Miktarları”** Sığır ve tavuk gübresinden 9-18-27 ve 36 °C’de elde edilebilecek biyogaz miktarları araştırılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. (Bilgin, N. 2003)

Çizelge 7.1 Sığır ve tavuk gübrelereinden değişik sıcaklıklarda biyogaz verimleri(Yaldız O.)

Fermentör Sıcaklığı (°C)	Sığır Gübresi (l./m ³)	Tavuk Gübresi (l./m ³)
9	101,4	253,3
18	339,7	448,0
27	509,8	1008,9
36	686,0	1266,2

5- **“Değişik Besleme Aralıklarında Sığır ve Tavuk Gübrelereinden Elde Edilen Biyogaz Miktarları”** Fermentör sıcaklıkları 30 °C’de sabit tutularak hergün, üç günde bir, beş günde bir ve yedi günde bir besleme yapılmıştır. Sığır gübresinden en yüksek biyogaz verimi, beş günde bir beslenen konudan sağlanırken (785.7 l./m³) tavuk gübresinden en yüksek biyogaz verimi hergün beslenen konudan elde edilmiştir (1099.7 l./m³). (Bilgin, N. 2003)

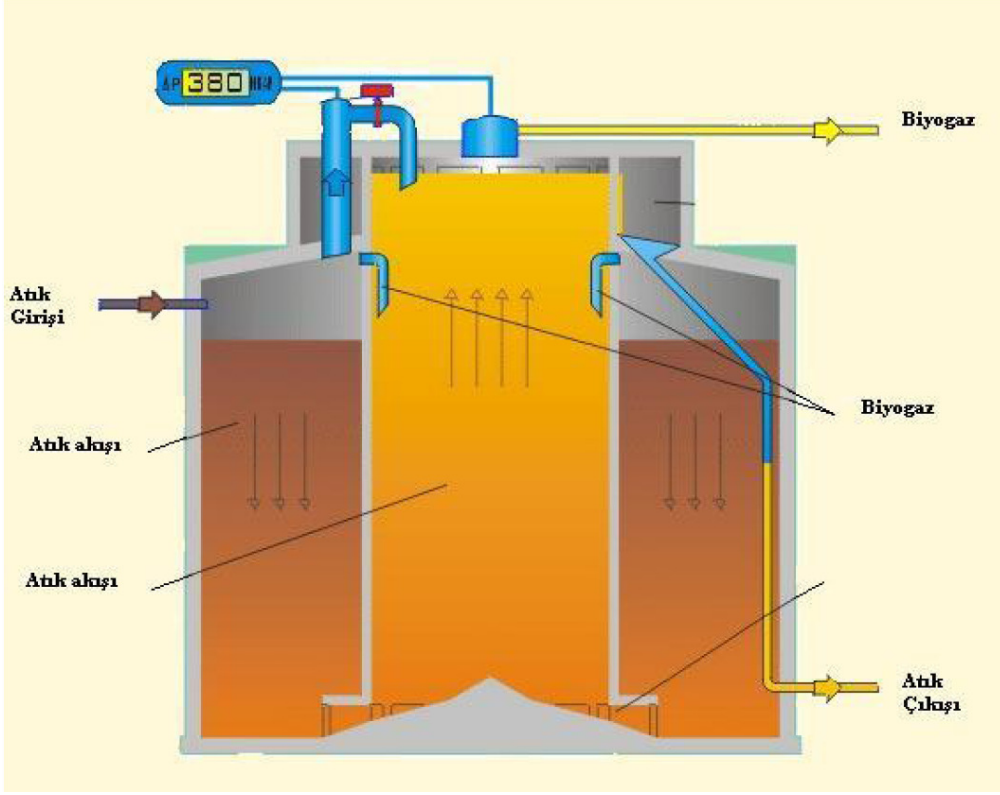
6- “12 m³ Kapasiteli Biyogaz Tesisinde Tavuk Gübresinin Gaz Verimi” Doğal koşullarda yürütülen araştırmada fermantör sıcaklığı 5-19 °C arasında gerçekleşmiştir. Tesisten 10 °C’de 2.4 m³/gün, 15 °C’de 4.8 m³/gün ve 19 °C’de 6.9 m³/gün biyogaz elde edilmiştir.

Biyogaz üretim teknolojisinin ülkemizde başarılı olabilmesi için daha pek konuda araştırma yapılması gerekmektedir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar belirli bir bilgi birikimi sağlamıştır. Ancak bu yeterli değildir. Yapılması gereken araştırmalarda öncelik verilecek konular aşağıdaki gibi sıralanabilir; (Bilgin, N. 2003)

- Biyogaz tesislerinin inşaat tiplerinin bölge koşullarına göre geliştirilmesi,
- Ucuz ve yöresel izolasyon materyallerinin saptanması,
- Biyogaz kullanım araçlarının geliştirilmesi,
- Bitkisel atıklardan da biyogaz elde edilmesi olanaklarının saptanması,
- Biyogaz tesislerinden çıkan gübrenin bitkisel üretime ve toprak özelliklerine etkilerinin araştırılması,
- Biyogaz tesislerinden çıkan gübrenin araziye taşınımını ve dağıtımını sağlayıcı mekanizasyonun geliştirilmesi,
- Biyogazın çevre sağlığına olan katkılarının saptanması.
- Biyogaz üretim teknolojisinin kırsal kesimde yaratacağı sosyo-ekonomik etkilerinin araştırılması.

Biyogaz üretimi konusunda yine 1980-1986 yılları arasındaki dönemde; TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından her il merkezinde 3 adet, bölge merkezlerinde ise 5 adet biyogaz tesisinin yapılması planlanmış ve bu tesislerin çoğu işletmeye açılmıştır. Diğer taraftan, kendi olanakları ile biyogaz tesisi kurmak isteyen kişi ve kuruluşlara kredi ve teknik yardım olanağı sağlanmıştır. Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından 1987 yılında yapılan bir anket sonucunda yapımı gerçekleştirilen biyogaz tesislerinin birçoğunun aşağıda özetlenen nedenlerden dolayı işletilemediği tesbit edilmiştir. (Bilgin, N. 2003)

- Tesis inşaatı konusunda yeterli eğitim sağlanamaması nedeniyle inşaat hataları yapılmıştır.
- Tesis sahipleri teknik bilgi yetersizliği nedeniyle tesisleri işletememişlerdir.
- Tesis işletmecileri danışman bir kuruluş bulamamışlardır.



Şekil 7.1. Gaz üretimi tank kesiti (Bilgin, N. 2003)

8.ÜLKEMİZDE VE DİĞER DÜNYA ÜLKELERİNDE BİYOGAZ ÜRETİMİ KONUSUNDA YAPILAN ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Türkiye'nin yüzölçümü 770.000 km² ve nüfusu 67 milyondur. Türkiye'de büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı Çizelge 8.1'de verilmiştir. Ayrıca Türkiye'nin değişik bölgelerinde onlarca tavuk çiftlikleri bulunmaktadır.

Çizelge 8.1 Türkiye'de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı (Öztürk M. 2005)

Yıllar	Sığır (x10 ³)	Koyun (x10 ³)	Keçi (x10 ³)	Toplam (x10 ³)
1991	11973	40433	10764	63170
1995	11789	33791	9111	54691
1998	11031	29435	8057	48523

Türkiye'de tavukçuluk Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde yaygınlaşmıştır. Özellikle Ankara, Balıkesir, Bolu, Bursa, Elazığ, Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Yozgat ve Çukurova'da piliç eti, Afyon, Balıkesir, Bursa, Çorum, İzmir, Konya ve Manisa'da yumurta üretimi yaygın olarak sürdürülmektedir. 1997 yılı Tarım Bakanlığı verilerine göre Türkiye'de 9987 adet ticari tavuk işletmesi vardır. (Öztürk M. 2005)

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. (Öztürk M. 2005)

Türkiye bir tarım ve hayvancılık ülkesidir. Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında başlamıştır. 1975 yılından sonra toprak, su ve 1980'li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları uluslararası bazı anlaşmalarla desteklenmiş olmasına karşın 1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle kesilmiştir.

Dünya'da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin %80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur. Çeşitli ülkelerde kurulu biogaz tesis dağılımı Çizelge 8.2'de verilmiştir. (Öztürk M. 2005)

Çizelge 8.2 Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı (Öztürk M. 2005)

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2300
Bangladeş	566*
Nepal	49500

*: Yarısı Çalışmıyor.

Bangladeş'te kurulu çoğu tesislerin çalışmamasının sebebi, dizayn, inşaat ve bakım problemidir. Bangladeş'teki farklı uygulama otoritelerinin olması bu durumu daha da olumsuz etkilemektedir. Mevcut halde idari ve teknik içyapı bu sistemin gelişmesini engellemektedir. Avrupa Topluluğu ülkelerde hayvan gübresi kullanılarak inşa edilen biyogaz tesisi sayısı ve biyogaz üretimi miktarı Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Çizelge 8.3 Avrupa topluluğu ülkelerinde biyogaz tesisi ve biyogaz üretimi (Öztürk M. 2005)

Ülkeler	Biogaz Tesisi Sayısı	Biogaz Üretimi	
		TWh/yıl	PJ*
Avusturya	>90	1410	32900
Danimarka	39	45150	1.052.090
Almanya	2200	-	-
Yunanistan	2	0.001	33
Hollanda	3	1.960	45.630
İtalya	70	6.880	160.250
Norveç	4	0.620	14.450
Portekiz	16	1.520	35.300
İspanya	6	0.026	625
İsveç	12	19.430	452.700
İsviçre	59	1.790	41.700
İngiltere	31	-	-
Amerika	140**	-	-
Avusturalya	46	-	-

*:1 052 090 J =1.05 PJ, Petajoule**: Çiftliklerde kurulu tesis.

1999 yılı sonunda Türkiye'nin enerji kurulu gücü 26 116.8 MW ulaşmıştır. Bunun %59.6'ı termik, %40.3 hidrolik ve %0.1 jeotermal ve rüzgar santralleridir. Türkiye'de kurulu gücün yıllar itibarıyla Gelişimi Çizelge 8.4'de verilmiştir. (Öztürk M. 2005)

Çizelge 8.4 Türkiye kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi (MW) (Öztürk M. 2005)

Yıllar	Termik	Hidrolik	Jeotermal+Rüzgar	Toplam	Yıllık Artış(%)
1965	985.4	505.1		1490.5	3.8
1970	1509.5	725.4		2234.9	8.4
1975	2407.0	1779.6		4186.6	13.4
1980	2987.9	2130.8		5118.7	4.1
1985	5229.3	3874.8	15	9119.1	12.2
1990	9535.8	6764.3	15	16315.1	12.3
1995	11074.0	9862.8	15	20951.8	5.1
1999	15555.9	10537.2	23.7	26116.8	22.9

Çizelge 8.4 incelendiği zaman özellikle 1970-1975, 1985-1990 ve 1995-1999 yılları arasında enerji üretiminde ciddi artışlar söz konusudur. Ancak bu artışlar özellikle ana kaynağı termik santrallerdir. 1965 yılında termik santrallerden enerji üretimi 985.4 MW iken, bu değer 1999 yılında 15 555.9 MW çıkmıştır. Artış oranı %1500 dır. (Öztürk M. 2005)

Amerika ve Avrupa ülkelerinde kurulu güç ve kişi başına düşen elektrik enerjisi miktarı Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5 Amerika ve Avrupa birliği ülkelerinde kurulu güç ve kişi başına düşen enerji miktarı (Öztürk M. 2005)

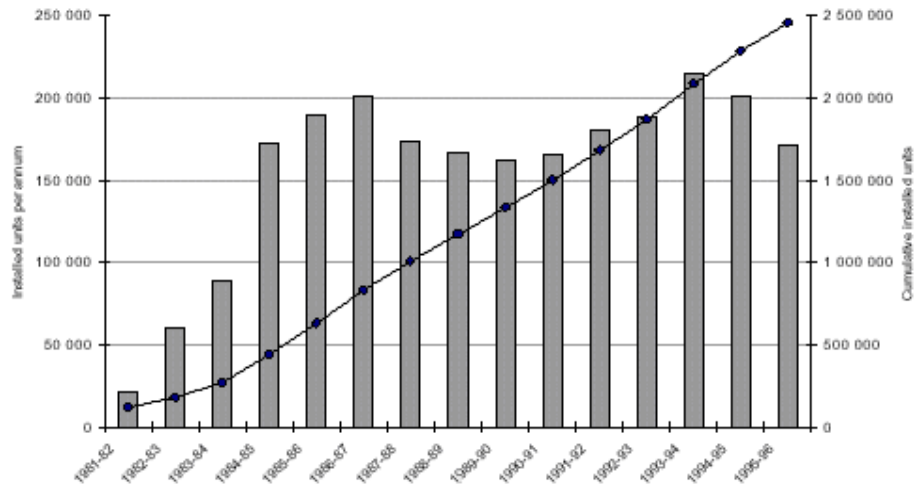
Ülkeler	Kurulu Güç (GW)	Kişi Başına(kWh/kişi)
A.B.D	784.78	14.405
Almanya	113.63	6382
Avusturya	17.45	7231
Belçika	15.40	8397
Danimarka	12.54	6842
Fransa	112.59	7779
Hollanda	20.21	6677
İngiltere	72.65	5517
İspanya	50.02	5434
İsveç	33.03	15964
İtalya	72.51	5398
Japonya	222.39	8373
Kanada	109.95	17900
Portekiz	9.78	4240
Türkiye	23.35	1811
Yunanistan	10.02	4682
Avrupa Birliği	561.64	-

Çizelge 8.5 incelendiği zaman kişi başına elektrik enerjisi tüketimi en düşük olan ülkenin Türkiye olduğu görülmektedir. Türkiye’nin sadece iki enerji üretim kaynağı söz konusudur. Bunlar hidrolik ve termik santrallerdir. Türkiye’de alternatif enerji kaynağı yok denecek mertebededir.

Dünya’da birincil enerji tüketim kaynağı %15 lik oranla biokütledir. Bu miktar gelişmekte olan ülkelerde %38 düzeyindedir. Özellikle biyoenerji gelişmekte olan ülkelerde kırsal bölgelerde enerji temin amacıyla kullanılmaktadır. Hindistan’da kırsal bölgelerde yemek pişirme enerjisi toplam enerjinin %80’ini oluşturmaktadır.

Çin’de konut tipi biyo reaktörlerde yılda 2 milyar m³ biyogaz üretilmektedir. Yani bir aile yılda 200-300 m³ biyogaz üretmektedir. Yine Çin’de 25 milyon insan biyogaz tesislerinden elde edilen gazları 8-10 ay yemek pişirme amacı ile kullanmaktadırlar. İyileştirilmiş ucuz biyogaz sobalar ve lambalar geliştirilmiştir. Bunlar her eve dağıtılmıştır. Lambalar ve yakıcılar 2 cm su basıncı gibi düşük basınçta çalışabilme özelliğine sahiptir. 800 biyogaz tesisinde 7800 kWh kapasiteli elektrik enerjisi üretim tesisi bulunmaktadır. Bu enerji 17000 aile tarafından kullanılmaktadır. (Öztürk M. 2005)

Hindistan’da ulusal bazda biyogaz tesisleri 1981 yılında gelişmeye başladı. Bu gün büyük çiftliklerde de biyogaz tesisi kurulmaktadır. Hindistan’daki biyogaz tesisindeki gelişmeler Şekil 8.1’de verilmiştir.



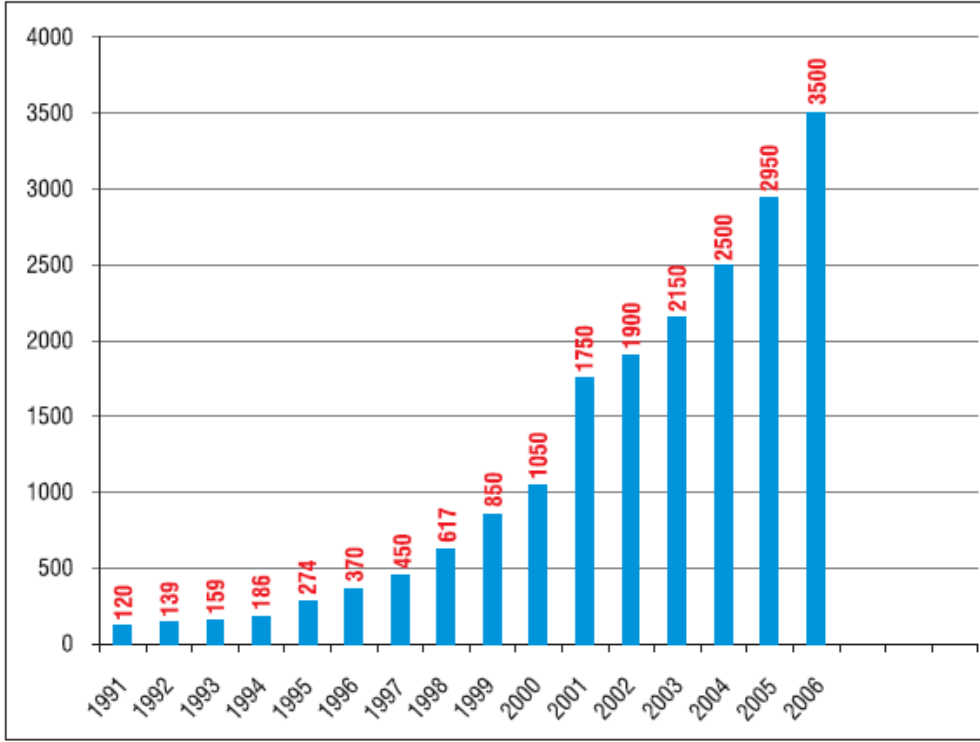
Şekil 8.1 Hindistan’da biyogaz tesis sayısındaki gelişmeler (Öztürk M. 2005)

9-ALMANYA BİYOGAZ SEKTÖRÜNE BAKIŞ

Federal Almanya hükümeti 2004 senesinde Avrupa Birliği(AB) direktifini (EU 2001/71) “Yenilenebilir Enerjiler Yasası” (EEG) adı altında yürürlüğe koyarak, 2010 yılına dek yenilenebilir enerjilerin toplam enerji arzındaki payını iki katına çıkarmak istemektedir.

Bu kanunda Biyogazdan enerji kazanılmasına oldukça önem verilmektedir. Biyo kütleden kazanılan bu enerji cinsinin en büyük avantajı CO₂ azaltıcı olmasından dolayı karbondioksit gazlarının atmosfere salınmasının önlenmesidir. Ayrıca biyogaz üretim zincirinde bulunan gübrenin nitelikleri düzeltilerek koku emisyonlarının azaltılması sağlanmaktadır. Fermantasyon tekniği ile enerji kazanılma yeni olmamakla birlikte 1990’ların başından itibaren çok hızlı bir gelişmeye tanık olunmuştur. Bu gelişmedeki en büyük rolü yukarıda bahsedilen kanun (EEG) üstlenmektedir. Şekilde de görüleceği gibi 1991’de 120 adet olan biyogaz tesis sayısı yüzde 2800 artış göstererek 2006 senesinde 3500 tesis ve 1.100 Megawatt’lık elektrik ve ısı gücü ile rekor düzeye ulaşmıştır. Sadece 2006 senesinde 1 milyar EUR civarında bu sektörde yatırım yapılmıştır. Bu sayılar bir taraftan tarım ve hayvancılık sektörü içerisindeki, diğer taraftan da biyogaz teknolojisinin ve yenilenebilir enerji alanındaki gelişmenin önemini göstermektedir. Bu alandaki hiçbir sektör böyle bir başarı çizgisi gösterememiştir. Biyogaz sektörü takriben 10.000 kişiyi çeşitli branşlarda istihdam ettirmektedir (Planlama, mühendislik, inşaat, işletmecilik v.b.).

Biyogaz bugüne kadar sadece Kojenerasyon sistemlerinde yakılarak elektrik ve ısı üretimi için kullanılmaktaydı. Enerji sektörünün ilgisi gittikçe yükselmekte ve Biyometanı kimyasal ve fiziksel çevrimlerden sonra doğalgaz kalitesine getirip mevcut doğalgaz sistemine besleme yapma isteği artmaktadır. Bu da haliyle fosil doğalgaza alternatif sürdürülebilir gaz arzını ve güvenliğini sağlamaktadır. (Karakuz S. 2007)



Şekil 9.1 Almanya'daki biyogaz tesislerinin gelişimi (Karakuz S. 2007)

Şekil 9.2'de görüldüğü gibi Almanya biyogaz üretiminden 2006'da kazanılan 5 milyar kWh elektriği 2020 senesinde 76 milyar kWh'a çıkartmayı hedeflemektedir. Bu da toplam elektrik üretiminde yüzde 17'lik bir paya tekabül etmektedir. Bütün bu avantajların devamındaki sonuç olarak gelen diğer bir faktör ise CO₂ emisyonlarının azalması nedeniyle çevreye olumlu katkı sağlanmasıdır. Bu sektördeki yeni gelişim ise, Enerji çiftçisi diye adlandırılan tarım sektöründeki yatırımcı ve işletmecilerin benzerleri olarak piyasaya yeni aktörlerin ortaya çıkmasıdır. Bunlar klasik anlamdaki enerji üretim şirketleri, belediyeler gibi kuruluşlardır. (Karakuz S. 2007)

9.1.Hangi Hammaddelerden Biyogaz Üretilmektedir?

Biyogaz hammadde sorunu olmayan bir sektördür. Biyogaz üretimi için organik hammaddeler (substrate) temel alınmaktadır. Tarımsal alanlardaki tesisler çoğunlukla hayvan dışkısını ana hammadde olarak almaktadır. Almanya'da biyogaz tesislerinin takriben yüzde 60'ı ana hammadde olarak inek/sığır gübresi, yüzde 15'i ise domuz gübresi, geri kalan kısım da kanatlı hayvan gübresi ve diğer hammaddeleri kullanmaktadır. Biyogaz üretimi için hayvan gübresi yanında diğer organik hammaddelerin kullanılması gerekmektedir. Tarımsal

hammadde olarak, yonca, mısır silaj ve tahıl kullanılmaktadır. Genelde biyogaz hammaddelerini 4 kategoriye ayırabiliriz:

	2006	2020
Tesis sayısı	3.500	---
Elektrik gücü	1.100 MW	9.500 MW
Güç artışı (2005'e göre)	+70%	---
Tesis yatırımı	1 milyar euro	7.6 milyar euro
Elektrik üretimi	> 5 milyar kWh ^(a)	76 milyar kWh ^(a)
Toplam elektrik üretimindeki pay	> % 1	% 17
İstihdam	10.000	85.000
CO ₂ Emisyon azalımı	> 5 milyon ton/sene	103 milyon ton/sene

(a) - Elektrik üretimi yanında bir o kadar da termik (isi) üretimi vardır.

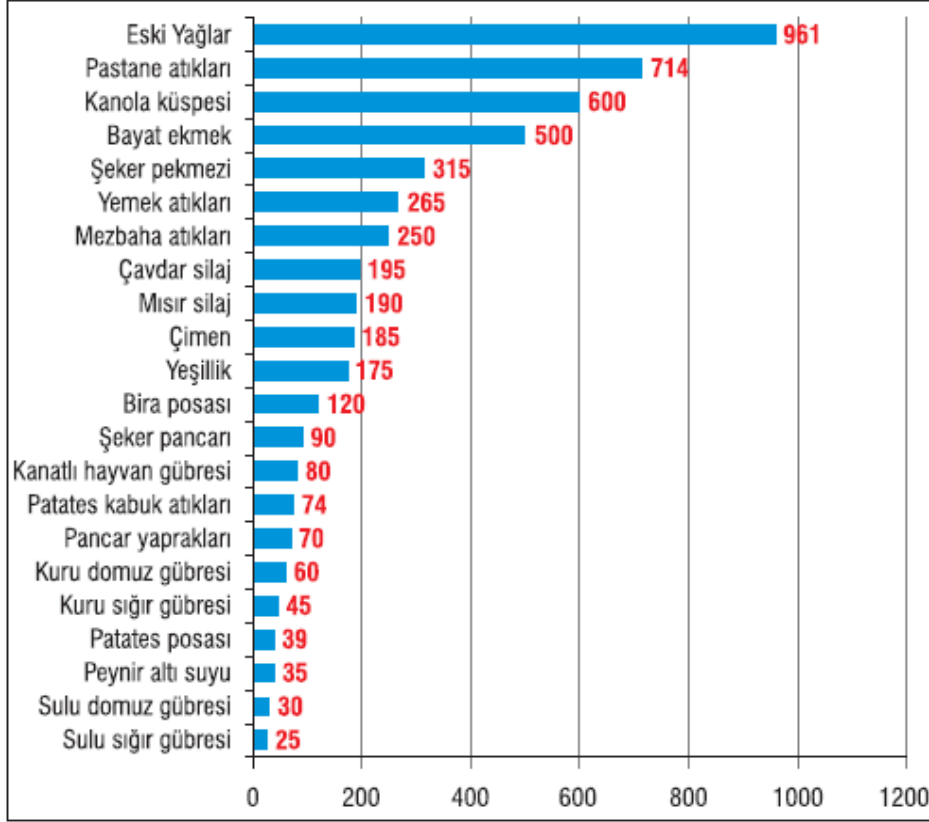
Şekil 9.2 Alman biyogaz sektörünün bugünkü durumu ve gelecek prognozu (Karakuz S.2007)

Bitkisel atıklar: İnce kıyılmış sap, saman, mısır silaj, şeker pancarı atıkları, kuspe atıkları,

Hayvansal atıklar: İnek, domuz, kanatlı hayvanlar gübresi

Gıda sektörü atıkları: Yulaf posası(Bira sektörü), Bisküvi ve çikolata, Peynir altı suyu, Zeytin yağı değirmen suyu, Zeytin küspesi, Meyve posası (Meşrubat sektörü), Meyve ve sebze atıkları, biyolojik mutfak atıkları, mezbaha atıkları

Endüstri atıkları: Arıtma çamuru, gliserin Biyogaz üretiminde önemli olan noktalardan birisi, fermantasyonda biyolojik bakterilerin üremesini ve çalışmasını engelleyecek maddelerin girmesini önlemektir. Örneğin dezenfekte ve sterilizasyon maddelerinin önlenmesi gerekmektedir. Fermanterde fazla amonyum konsantrasyonu da metan verimini düşürmektedir. Bu sebepten dolayı tavuk ve domuz gübresini sulandırmak veya nitrojen içeriği az olan maddeler ile karıştırmak gerekmektedir. (Karakuz S. 2007)



Şekil 9.3 Hammaddelere göre biyogaz hasılatı (m³ Biyogaz/ton hammadde)
(Bu değerler tesisin teknoloji sistemine, işi değerine, pH-değerlerine bağlıdır) (Karakuz S.2007)

9.2.Hukuki Çevre Şartları

Biyogaz üretiminde göz ardı edilmemesi gereken en büyük ve önemli nokta, biyogaz üretiminin, doğalgaz ve LPG kadar tehlikeli ve patlayıcı olmasıdır. Bu sebepten dolayı işletme lisanslarının çevre ve yapılaşma kanunlarıyla uyumlu olması önem taşıdığı gibi, can güvenliği şartlarının da uygulanması gerekmektedir. Almanya’da bu sektörde hem AB Yönetmelikleri hem de ulusal yönetmelik ve kanunlar uygulanmaktadır.

Örneğin; Biyogaz işletmesi biyolojik çöp olarak bitkisel kökenli mutfak atıklarını kullanacak olursa, Almanya Biyo çöpleri Yönetmeliği devreye girer; eğer hayvansal içerikli hammadde kullanılacak olursa, AB-Hijyen Yönetmeliği uygulanır. Burada insanların tüketimi için elverişli olmayan hayvansal yan ürünler üç kategoride toplanmaktadır. İşleme ve değerlendirme yöntemleri şunlardır: (Karakuz S. 2007)

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

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

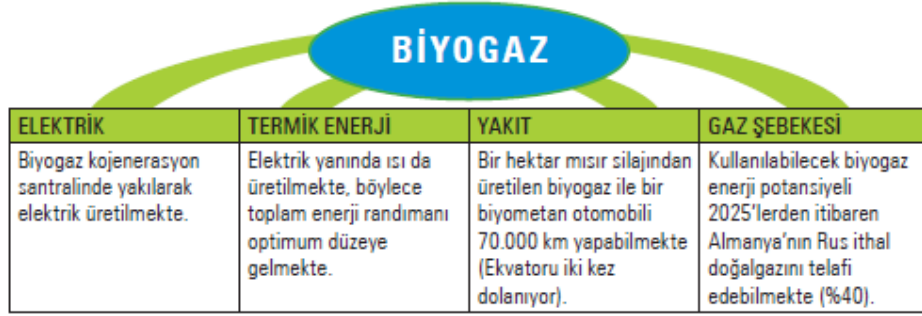
Kategori 3: Riski az salgın ve hijyenik hayvansal materyaller: yenilebilen hayvansal ürünler ve kesim yan ürünleri (Deri, kan, yumurta kabuğu, kil, yun v.b.), kullanma tarihi geçmiş gıda ürünleri: Bu materyaller AB-Hijyen (EU Hygiene V) Yönetmeliği'ne göre hijyenleştirilmesi (70 derecede, 60 dakika) gerekmektedir. Biyogaz tesislerinin kritik teknik noktalarının elektronik olarak kontrol edebilme metodlarına ve teknolojilere sahip olması gerekmektedir. Almanya'da yapılan son bir araştırmaya göre, 11 milyon hektar olan ekim alanlarının yüzde 30'luk kısmı biyogaz hammaddesi için kullanıldığında, bunun karşılığında 400 TWh (Terrawatt) gücünde enerji elde edildiği belirlenmiştir. Bu rakam Rusya'dan yapılan doğalgaz ithalatını 2020'ye kadar yüzde 100 üstlenebilmektedir. Bunun % 50'si elektrik ve ısı olarak % 50'si arabalarda biyometan (LPG yerine) olarak kullanıldığında, benzin ve motorin tasarrufunda 20 milyon tona ulaşılmaktadır.

Türkiye'nin 2006'da 26,1 milyar US-Dolar olan enerji ithalatını (petrol, petrol ürünleri, doğalgaz, LPG, kömür) göz önüne alırsak ve bu rakamın her sene yüzde 10 civarlarında artacağını varsayarsak, Türkiye'nin ivedi bir şekilde ülke çıkarlarına uygun 50 yıllık vizyon programını hayata geçirmesi, ulusal, politik ve ekonomik çıkarlar açısından çok büyük önem taşımaktadır. Öte yandan 02 Şubat 2007'de açıklanan 4. İklim Değerlendirme Raporu (IPCC-Report) tüm ülkelerin çevresel önlemleri acilen alması gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu rapora göre küresel ısınma ciddi boyutlara gelmiştir. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'nu "Kalkınamayız" diye sebep göstererek imzalamaması gelecek kuşaklara yapılan en büyük haksızlık ve sorumsuzluk olacaktır. (Karakuz S. 2007)

9.4. Biyogaz Hangi Potansiyele Sahiptir?

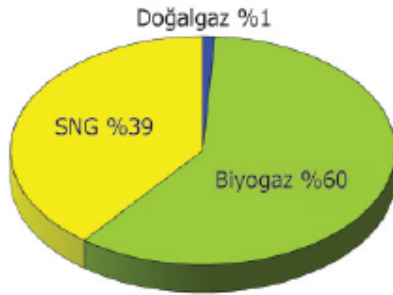
Almanya'nın Leipzig kentinde bulunan Enerji ve Çevre Enstitüsü'nün Ocak 2007'de açıkladığı bir araştırmaya göre, AB'nin doğalgaz tüketiminin tümünün AB içinde üretilen biyogaz/biyometan tarafından üstlenebileceği saptamıştır. 2020 senesine kadar Almanya'nın doğalgaz tüketiminin yarısını biyogaz ile telafi edeceği beklenmektedir. Biyogaz özellikle oto yakıtları bağlamında yüksek potansiyele sahiptir. Bir hektardan alınan enerji bitkisi ile 10.000 litre Biyogaz/Biyometan elde edilmektedir. Buna karşın sentetik yakıtlar diye adlandırılan

ikinci nesil yakıtlar (Btl = Biomass to Liquid) hektar başına sadece 3.101 Litre hasılat vermektedir. (Karakuz S. 2007)



AVRUPA TAHMİNİ:

AB ülkelerinin 2005 doğalgaz tüketimi takriben 4.712 TWh tir. AB'nin bu tüketiminin yüzde 99'u 2020 yılına kadar biyometan ile telafi edilebilecek.



TÜRKİYE TAHMİNİ:

Türkiye gerek yüzölçümü gerekse tarım ülkesi olması dolayısıyla büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin 2005'teki doğalgaz tüketimi takriben=274 TWh,

Türkiye'nin alan potansiyeli:

Yüzölçümü: 77.945.200 hektar
Ekim alanı: 26.423.422 hektar
Ekim alanlarının yüzde 20'sinde enerji bitkisi ekilirse:
5.284.684 hektar x 40.000 kWh/hektar = **211,4 TWh** enerji elde edilebilmekte.
Hayvan atıklarının biyogaz potansiyeli:
12.728.462 GV x 0,3 kW/GV x 8000 saat max. üretim = **30,5 TWh**

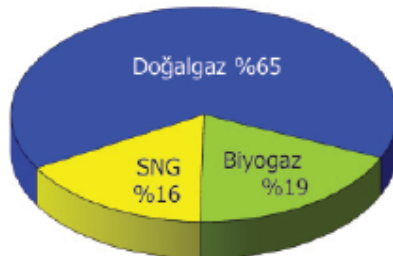
Toplam Biyogaz'dan Enerji kazanımı = **241,9 TWh**



Bu hesaplama gösteriyor ki, Türkiye 2005 doğalgaz ithalatının takriben yüzde 88'ini ulusal kaynaklardan karşılayabilme gücüne sahip.

ALMANYA TAHMİNİ:

Almanya'nın 2005 doğalgaz tüketimi takriben 859 TWh tir. Almanya'nın hedefi 2020 senesine kadar bu rakamın yüzde 35 - 40'ını biyometandan karşılamaktır. SNG - Synthetic Natural Gas



Çizelge 9.1 Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve taşkömürü eşdeğeri (*) (www.eie.gov.tr)

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (Ton/Yıl)	Biyogaz Miktarı (m ³ /Yıl)	Taş Kömürü 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-Hindi	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

TOPLAM BİYOGAZ MİKTARI: 3,27 milyar m³/yıl (*) Fermantör içi sıcaklığın 18 °C olması ve Optimum fermantör sıcaklığında çalışması durumunda bu potansiyelin 2,2-3,3 milyar m³/yıl arasında olması teorik olarak mümkün görünmektedir

Uygulama Resimleri



Şekil 9.4 3150 Büyükbaş hayvan kapasiteli bir uygulama tesisi (www.detesenergy.com)



Şekil 9.5 200 Büyükbaş hayvan kapasiteli bir uygulama tesisi (www.detesenergy.com)

10. BİYOGAZ TESİSLERİNİN EKONOMİK ANALİZLERİ

10.1. Enerji Maliyeti

Elektrik enerjisi maliyeti ile müşteriye satış fiyatı arasında fark vardır. Satış fiyatı üretim maliyetine ilave olarak taşıma ve dağıtım masraflarını içine aldığı gibi bir miktar kar içerebilir. Elektrik satış fiyatının doğru olarak belirlenebilmesi için maliyetinin doğru olarak hesaplanması gerekir. Ayrıca alternatif elektrik enerjisi santrali alternatifi seçimi için yapılan ekonomik değerlendirme ve mukayesesinde elektrik enerjisi maliyeti en önemli kriterdir.

10.1.1. Enerji Üretim Maliyeti Hesabı

Elektrik enerjisi üretim maliyetini hesaplayabilmek için santrale yapılan masrafların bilinmesi gerekir. Genellikle bu masraflar sırasıyla santral yeri masrafları, santralin inşaat masrafları, işletme başladıktan sonra ki yakıt masrafları, işletme ve bakım masraflarıdır. Belirli bir süre içinde bu masrafların tamamı aynı sürede üretilen elektrik enerjisi miktarına bölünerek, üretilen birim enerji başına maliyet hesaplanabilir. Santralin her yıl yaklaşık aynı elektriği ürettiğini düşünürsek birim elektrik enerjisi yıllık toplam masrafların yıllık enerji üretimine oranı olarak; (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

$$g = (C_k + C_m + C_f) / E \quad (10.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada C_k , yıllık sabit sermaye C_m yıllık işletme ve bakım masraflarını C_f yıllık yakıt masraflarını, C_T yıllık toplam masrafları, E ise yıllık elektrik enerjisi üretimini göstermektedir. (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

Elektrik enerjisi her zaman bu kadar kolay elde edilemeyeceği bilinmelidir. Zorlukların başında paranın zaman içindeki değerinin hesaba katılması gerekir. Santralin inşaat süresince yapılan masraflar değişik tarihlerde yapılmaktadır. Ayrıca yıllık işletme ve bakım masrafları yıllık yakıt masrafı ile yıllık elektrik enerjisi üretimi yıldan yıla değişmektedir. Bu durumda birim enerji üretim maliyeti şimdiki değer metodu ve yıllık değer metodu ile birlikte kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir. Yıllık elektrik enerjisi üretimi zamanın fonksiyonu ise eşdeğer birim enerji üretim maliyeti;

$$g = \sum C_T(t) (1+r)^{-t} / \sum E(t) (1+r)^{-t} \quad (10.2)$$

Olmaktadır. Burada $C_T(t)$ zamanla değişen yıllık toplam masrafları, r iskonto oranını, faiz oranı i , inşaat süresini k , santralin ömrünü n göstermektedir.

Elektrik enerjisi maliyetinin hesabında santralin inşaatı süresince yapılan masraflar ve bunun yıllık masraflara intikalinde kullanılan metotlar önemlidir. Bu maksatla seçilen metotlara göre değişik sonuçlar almak mümkündür. Genellikle yıllık sermaye masraflarının hesabında iki metot kullanmak mümkündür. (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

10.1.1.1. Sabit Yıllık Sermaye Masrafı

Amortisman Katsayısı (a/p) kullanılarak sabit bir yıllık sermaye masrafı bulunabilir. Santralin inşaatı süresince , eskalasyon ve faiz yükleride dahil olmak üzere yapılan toplam yatırımın üretime başlama tarihindeki değeri I_k ile gösterilirse santralin n yıllık ömrü boyunca sabit yıllık sermaye maliyeti, (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

$$C_k = I_k (i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)) \text{ olmaktadır.} \quad (10.3)$$

Her yıl eşit olarak ödenecek C_k miktarının faiz ve ana para kısmı ;

$$C_k = b_t + f_t \quad (10.4)$$

b_t =yıllık ana para ödemesi

f_t = yıllık faiz ödemesi
burada

$$f_t = I_k i(1+i)^{t-1} - C_k ((1+i)^{t-1} - 1) \quad (10.5)$$

$$b_t = I_k (1+i)^{t-1} - (C_k(1+i)^{t-1} - 1) / i \text{ olarak tanımlanır.} \quad (10.6)$$

10.1.1.2. Lineer Azalan Yıllık Sermaye Maliyeti

Bu metotla hesaplanacak yıllık sermaye masrafı santralin üretime başlama tarihindeki I_k yatırım bedelinin santral ömrüne bölünerek elde edilecek sabit bir ana para ödemesi ile yıllık faiz miktarının toplamıdır. Ana para her yıl eşit miktarda azaldığı için yıllık faiz tutarı da eşit olarak azalacaktır. Dolayısıyla lineer azalan bir yıllık geri ödeme veya yıllık sermaye masrafı elde edilir. yıllık sabit ana para ve zamanın fonksiyonu olarak yıllık faiz ödemesi

$$b_a = I_k/n \quad , \quad f_t = I_k ((1-(t-1)/n) i) \quad (10.7)$$

şeklinde ifade edilir. (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

Toplam yıllık ödeme zamana bağılı olarak

$$C_k(t) = I_k \left((1-(t-1)/n)^i + 1/n \right) \quad (10.8)$$

olarak bulunur.

Direk inşaat bedeli I_d bugün için her yıl için yapılan masraflar malzeme ve teçhizat ve işçilik bedelleri artacağı için buna eskalasyon yükü diyelim.

$Y(k)$ = Yıllık harcama miktarını gösteriyorsa ; eskale edilmiş yıllık harcama miktarı

$$Y_e(k) = Y(k)(1+e)^k \quad (10.9)$$

ile hesaplanır.

İnşaat süresi içinde herhangi bir t yılının başında kredi olarak kullanılan $Y_e(t)$ miktarı için ,inşaatın bitiminde geri ödenmesi gereken borç faiz yükü de dahil olmak üzere ;

$$T(k) = Y_e(k) [(1+k)^{n+1-k}] \quad (10.10)$$

formülü ile hesaplanır. (Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. 1995)

10.2. Örnek Biyogaz Tesislerinin Ekonomik Analizleri

Aşağıda tabloda ekonomik analizleri yapılan üç farklı biyogaz tesisi için kWh başına TL cinsinden elektrik üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Bu üç tesisten birincisinde 1500 büyükbaş hayvan, ikincisinde 10000 tavuk ve 2000 büyükbaş hayvan, üçüncüsü ise 3150 büyükbaş hayvandan oluşmaktadır. Her yıl geri ödenecek sermaye olarak yıllık sabit yıllık sermaye masrafı kullanılmış bu sebepten dolayı her yıl yapılacak geri ödeme sabittir. Hesaplamalar sırasında bazı kabuller yapılmıştır. Eskalasyon faiz oranı %3 alınmış, yıllık enflasyon faiz oranı ise %6 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bazı değerler ise değişmez sabittir. Bunlarda tesis ömrü 12 yıl olması ve tesisin kurulumu ve çalışması için gerekli sürenin 2 yıl kadar olmasıdır. Üç tesiste de reaktör olarak tam karışımli reaktör seçilmiştir. Üç tesisinde bugünkü tesis bedeli 2009 yılı fiyatları olup sırayla 1500 büyükbaş hayvan ile kurulan tesis için 750.000 TL, 10000 tavuk ve 2000 büyükbaş hayvan ile kurulan tesis için 1.100.000 TL, 3150 büyükbaş hayvandan oluşan tesis için 1.300.000 TL dir.

10.2.1. 1500 Büyük Baş Hayvan ile Kurulan Bir Biyogaz Tesisi Ekonomik Analizi

Çizelge 10.1 Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması

Yıl	Eskalasyon periyodu	Harcama dağılımı	Eskalasyonsuz harcama periyodu	Eskale edilmiş harcama planı
2008	1	50	375000	386250
2009	2	50	375000	397837,5
TOPLAM		100	750000	784087,5

Yıl	Faiz periyodu	Eskale edilmiş harcama	Eskale edilmiş harcama+faiz	Faiz yükü
2008	2	386250	433990,5	47740,5
2009	1	397837,5	421707,75	23870,25
TOPLAM		784087,5	855698,25	71610,75

Yıl	t	Borç	Yıllık faiz ödemesi	Yıllık ana para ödemesi	Toplam yıllık ödeme
2010	1	855698,25	51341,895	50723,25031	102065,1453
2011	2	804974,9997	48298,49998	53766,64532	102065,1453
2012	3	751208,3544	45072,50126	56992,64404	102065,1453
2013	4	694215,7103	41652,94262	60412,20269	102065,1453
2014	5	633803,5076	38028,21046	64036,93485	102065,1453
2015	6	569766,5728	34185,99437	67879,15094	102065,1453
2016	7	501887,4219	30113,24531	71951,9	102065,1453
2017	8	429935,5219	25796,13131	76269,01399	102065,1453
2018	9	353666,5079	21219,99047	80845,15483	102065,1453
2019	10	272821,353	16369,28118	85695,86412	102065,1453
2020	11	187125,4889	11227,52933	90837,61597	102065,1453
2021	12	90510,60055	5777,272376	96287,87293	102065,1453
TOPLAM		0	369083,4937	855698,25	1224781,744

n	e	i	Id	Ck(TL)	E(kWh)/yıl	g(k) TL
12	0,03	0,06	750000	102065,145	1058500	0,096424

	1 m ³ metan gazı	: 34384 kJ	
	750 m ³ metan gazı	: 25 Milyon kJ/gün	
	25 Milyon kJ/gün	: 300kJ/sn	
		: 300 kW	
(Elkr.)	Gaz motoru verimi	: % 40	
(Isı)	Gaz motoru verimi	: % 45	
	Günlük ürt.elek. Enerjisi	: 2900 kWh	
	Günlük ürt.ısı. Enerjisi	: 3200 kWh	
	Tesisin kullanacağı elektrik enerjisi sarfiyatı	: 600 kWh	
	Tesisin üreteceği net elektrik enerjisi miktarı	: 2900-600 = 2300 kWh	
	Elektrik brim fiyatı	: 0,17 TL/ kWh	
	Günlük değer	: 2300 kWh * 0,17 TL/ kWh	
		: 400 TL/Gün	
	Aylık Değer	: 12000 TL/Ay	
	Yıllık Değer	: 144000 TL/Yıl	(Kazanç)
	Yıllık işletme masrafları	: 25000 TL/Yıl	
	Yıllık elektrik. Ürt.net kazanç	: 17000 TL/Yıl	

10.2.2. 10000 Tavuk ve 2000 Büyük Baş Hayvan ile Kurulan Bir Biyogaz Tesisinin Ekonomik Analizi

Çizelge 10.2 Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması

Yıl	Eskalasyon periyodu	Harcama dağılımı	Eskalasyonsuz harcama periyodu	Eskale edilmiş harcama planı
2008	1	50	550000	566500
2009	2	50	550000	583495
	TOPLAM	100	1100000	1149995

Yıl	Faiz periyodu	Eskale edilmiş harcama	Eskale edilmiş harcama+faiz	Faiz yükü
2008	2	566500	636519,4	70019,4
2009	1	583495	618504,7	35009,7
	TOPLAM	1149995	1255024,1	105029,1

Yıl	t	Borç	Yıllık faiz ödemesi	Yıllık ana para ödemesi	Toplam yıllık ödeme
2010	1	1255024,1	75301,446	74394,10045	149695,5464
2011	2	1180630	70837,79997	78857,74648	149695,5464
2012	3	1101772,253	66106,33518	83589,21126	149695,5464
2013	4	1018183,042	61090,98251	88604,56394	149695,5464
2014	5	929578,4779	55774,70867	93920,83778	149695,5464
2015	6	835657,6401	50139,45841	99556,08804	149695,5464
2016	7	736101,552	44166,09312	105529,4533	149695,5464
2017	8	630572,0987	37834,32592	111861,2205	149695,5464
2018	9	518710,8782	31122,65269	118572,8938	149695,5464
2019	10	400137,9844	24008,27907	125687,2674	149695,5464
2020	11	274450,7171	16467,04302	133228,5034	149695,5464
2021	12	132748,8808	8473,332818	141222,2136	149695,5464
	TOPLAM	0	541322,4574	1255024,1	1796346,557

n	e	i	ld	Ck(TL)	E(kWh)/yıl	g(k) TL
12	0,03	0,06	1100000	149695,546	1576000	0,094984

1 m ³ metan gazı	: 34384 kJ	
1068 m ³ metan gazı	: 37 Milyon kJ/gün	
37 Milyon kJ/gün	: 450kJ/sn	
	: 450 kW	
(Elkr.) Gaz motoru verimi	: % 40	
(Isı) Gaz motoru verimi	: % 45	
Günlük ürt.elek. Enerjisi	: 4320 kWh	
Günlük ürt.ısı. Enerjisi	: 4900 kWh	
Tesisin kullanacağı elektrik enerjisi sarfiyatı		: 900 kWh
Tesisin üreteceği net elektrik enerjisi miktarı		: 4320-900 = 3420 kWh
Elektrik brim fiyatı	: 0,17 TL/ kWh	
Günlük değer	: 3420 kWh * 0,17 TL/ kWh	
	: 582 TL/Gün	
Aylık Değer	: 17500 TL/Ay	
Yıllık Değer	: 210000 TL/Yıl	(Kazanç)
Yıllık işletme masrafları	: 35000 TL/Yıl	
Yıllık elektrik. Ürt.net kazanç	: 25000 TL/Yıl	

10.2.3. 3150 Büyük Baş Hayvan ile Kurulan Bir Biyogaz Tesisinin Ekonomik Analizi

Çizelge 10.3 Faiz eskalasyon ve toplam yıllık ödemelerin hesaplanması

Yıl	Eskalasyon periyodu	Harcama dağılımı	Eskalasyonsuz harcama periyodu	Eskale edilmiş harcama planı
2008	1	50	650000	669500
2009	2	50	650000	689585
	TOPLAM	100	1300000	1359085

Yıl	Faiz periyodu	Eskale edilmiş harcama	Eskale edilmiş harcama+faiz	Faiz yükü
2008	2	669500	752250,2	82750,2
2009	1	689585	730960,1	41375,1
	TOPLAM	1359085	1483210,3	124125,3

Yıl	t	Borç	Yıllık faiz ödemesi	Yıllık ana para ödemesi	Toplam yıllık ödeme
2010	1	1483210,3	88992,618	87920,30053	176912,9185
2011	2	1395289,999	83717,39997	93195,51856	176912,9185
2012	3	1302094,481	78125,66885	98787,24968	176912,9185
2013	4	1203307,231	72198,43387	104714,4847	176912,9185
2014	5	1098592,747	65915,56479	110997,3537	176912,9185
2015	6	987595,3928	59255,72357	117657,195	176912,9185
2016	7	869938,1979	52196,29187	124716,6267	176912,9185
2017	8	745221,5712	44713,29427	132199,6243	176912,9185
2018	9	613021,947	36781,31682	140131,6017	176912,9185
2019	10	472890,3452	28373,42071	148539,4978	176912,9185
2020	11	324350,8474	19461,05085	157451,8677	176912,9185
2021	12	156885,041	10013,93878	166898,9797	176912,9185
	TOPLAM	0	639744,7224	1483210,3	2122955,022

n	e	i	Id	Ck(TL)	E(kWh)/yıl	g(k) TL
12	0,03	0,06	1300000	176912,919	1576000	0,112254

	1 m ³ metan gazı	: 34384 kJ	
	1570 m ³ metan gazı	: 54 Milyon kJ/gün	
	37 Milyon kJ/gün	: 625kJ/sn	
		: 625 Kw	
(Elkr.)	Gaz motoru verimi	: % 40	
(Isı)	Gaz motoru verimi	: % 45	
	Günlük ürt.elek. Enerjisi	: 6000 kWh	
	Günlük ürt.ısı. Enerjisi	: 6750 kWh	
	Tesisin kullanacağı elektrik enerjisi sarfiyatı	: 1250 kWh	
	Tesisin üreteceği net elektrik enerjisi miktarı	: 6000-1250 = 4750 kWh	
	Elektrik brim fiyatı	: 0,17 TL/ kWh	
	Günlük değer	: 4750 kWh * 0,17 TL/ kWh	
		: 807 TL/Gün	
	Aylık Değer	: 24210 TL/Ay	
	Yıllık Değer	: 290520 TL/Yıl	(Kazanç)
	Yıllık işletme masrafları	: 45000 TL/Yıl	
	Yıllık elektrik. Ürt.net kazanç	: 68000 TL/Yıl	

11.TÜRKİYE’NİN BİYOGAZ POTANSİYELİ

7. Bölüm ve 8. Bölümlerde bahsedilen biyogaz potansiyeli bu bölümde tekrar irdelenecektir. Türkiye’nin yüzölçümü 770.000 km² ve nüfusu 70 milyondur. Türkiye’de büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı Çizelge 11.1’ de tekrar verilmiştir. Ayrıca Türkiye’nin değişik bölgelerinde onlarca tavuk çiftlikleri bulunmaktadır.

Çizelge 11.1 Türkiye’de bulunan büyükbaş ve küçükbaş hayvan potansiyeli (Öztürk M. 2005)

Yıllar	Sığır (x10 ³)	Koyun (x10 ³)	Keçi (x10 ³)	Toplam (x10 ³)
1991	11973	40433	10764	63170
1995	11789	33791	9111	54691
1998	11031	29435	8057	48523

Türkiye’de tavukçuluk Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde yaygınlaşmıştır. Özellikle Ankara, Balıkesir, Bolu, Bursa, Elazığ, Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Yozgat ve Çukurova’da piliç eti; Afyon, Balıkesir, Bursa, Çorum, İzmir, Konya ve Manisa’da yumurta üretimi yaygın olarak sürdürülmektedir. 1997 yılı Tarım Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de 9987 adet ticari tavuk işletmesi vardır.

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. (Öztürk M. 2005)

Bugün ülkemizde hayvan varlığı yaklaşık 85 milyona ulaşmaktadır. Hayvanları ayırmaksızın kaba bir tahmin yapıldığında, yıllık gübre üretiminin 150 milyon civarında olduğu görülür. Bu miktar gübrenin yarısı biyogaz üretiminde kullanılacak olursa, yıllık biyogaz üretimi 200 trilyon metreküptür. (Öztürk M. 2005)

Ülkemizde halen 1/3 oranında yakıt tezekten elde edilmektedir; bu da ülke ekonomisinde fevkalade zararlı sonuçlar meydana getirmektedir. Ancak yakıt kıtlığı çiftçimizi bu yola zorunlu olarak kaydırmıştır. Biyogaz tesisleri ile bu konuya çok yönlü bir çare bulunabilecektir. Hem yakıt konusuna yardımcı, hem de tarımın önemli bir girdisi olan

gübrenin değerlendirilmesi yönünden yardımcı olacaktır. Biyogaz üretimi maddi yararları dışında daha iyi yaşam standartlarına kavuşturmuş da olacaktır. (Öztürk M. 2005)

Geleceğin enerji üretimi için ümitle bakılan biyogaz için bu üniteleri Türkiye'ye uygulayacak olursak alınan sonuç şöyledir:

- Türkiye'de büyükbaş ve küçükbaş 85 milyon hayvan vardır.
- Ortalama bin hayvan günde 4 ton dışkı üretir.
- Türkiye'de üretilen hayvan dışkısı miktarı günde 320 bin ton, yılda 117 milyon tondur.
- Türkiye'deki hayvanların ürettikleri dışkının petrol eşdeğeri 6 milyar litredir.
- Bu miktar 38 milyon varil petrol eder.
- Üretilen dışkının yalnız 1/10 ini enerji olarak değerlendirirsek 4 milyon varil; bu günün fiyatlarıyla 120 milyon dolar demektir.

Çizelge 11.2 Türkiye'de hayvan sayısı, biyogaz potansiyeli ve taşkömürü eşdeğerleri
(www.eie.gov.tr)

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (Ton/Yıl)	Biyogaz Miktarı (m ³ /Yıl)	Taş Kömürü 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

Yukarıdaki çizelgeye bakıldığında Türkiye'nin biyogaz açısından çok büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Fakat bu potansiyelin kullanılabilir olması ve maliyet açısından uygulanabilir olabilmesi için 10. Bölümdeki örneklerden de anlaşıldığı gibi güç en fazla 625 kW olarak seçilmiştir. Gücün daha büyük olamamasının sebebi ise biyogazın hammaddesi olan yaş gübrenin ancak üretildiği yerde kullanılmasıdır. Taşıma maliyetlerinin çok fazla olmasından dolayı biyogaz tesisinin hayvan üretim çiftliğinin yanında olması zorunludur. Çizergedeki biyogaz değerinin elde edilmesi için Türkiye genelinde ortalama 3500 adet biyogaz tesisinin kurulması gerekmektedir. Böylece Türkiye'nin yurtdışı fosil yakıt bağımlılığı minimuma inecek ve yeni iş sahaları açılacaktır.

Bitkisel ve hayvansal atık yağlar da geri kazanılması gereken önemli kaynaklardır. Türkiye'de yaklaşık olarak 300 bin ton/yıl bitkisel ve hayvansal atık yağ oluşmaktadır. 1 litre

atık yağdan 1 litre biyodizel üretilebilmektedir. Türkiye’de oluşan bitkisel ve hayvansal atık biyodizel üretimde kullanılırsa ekonomiye katkısı 300 milyon euro/yıl olacaktır.

Biyogaz üretim teknolojisinin ülkemizde başarılı olabilmesi için daha pek konuda araştırma yapılması gerekmektedir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar belirli bir bilgi birikimi sağlamıştır. Ancak bu yeterli değildir. Yapılması gereken araştırmalarda öncelik verilecek konular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Biyogaz tesislerinin inşaat tiplerinin bölge koşullarına göre geliştirilmesi,
- Ucuz ve yöresel izolasyon materyallerinin saptanması,
- Biyogaz kullanım araçlarının geliştirilmesi,
- Bitkisel atıklardan da biyogaz elde edilmesi olanaklarının saptanması,
- Biyogaz tesislerinden çıkan gübrenin bitkisel üretime ve toprak özelliklerine etkilerinin araştırılması,
- Biyogaz tesislerinden çıkan gübrenin araziye taşınımını ve dağıtımını sağlayıcı mekanizasyonun geliştirilmesi,
- Biyogazın çevre sağlığına olan katkılarının saptanması.
- Biyogaz üretim teknolojisinin kırsal kesimde yaratacağı sosyo-ekonomik etkilerinin araştırılması.

Biyogaz üretimi konusunda yine 1980-86 yılları arasındaki dönemde; TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından her il merkezinde 3 adet, bölge merkezlerinde ise 5 adet biyogaz tesisinin yapılması planlanmış ve bu tesislerin çoğu işletmeye açılmıştır. Diğer taraftan, kendi olanakları ile biyogaz tesisi kurmak isteyen kişi ve kuruluşlara kredi ve teknik yardım olanağı sağlanmıştır.

Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından 1987 yılında yapılan bir anket sonucunda yapımı gerçekleştirilen biyogaz tesislerinin birçoğunun aşağıda özetlenen nedenlerden dolayı işletilemediği tespit edilmiştir.

- Tesis inşaatı konusunda yeterli eğitim sağlanamaması nedeniyle inşaat hataları yapılmıştır.
- Tesis sahipleri teknik bilgi yetersizliği nedeniyle tesisleri işletememişlerdir.
- Tesis işletmecileri danışman bir kuruluş bulamamışlardır.

SONUÇ

Biyogaz enerjisi oldukça avantajlı bir enerji türü olup, hemen hemen hiçbir dezavantajı yoktur. Çünkü biyogaz tesisi kurulduğunda çevreye ve insanlara en ufak zarar ve rahatsızlık vermez.

Ülkemizde hayvansal ve bitkisel atıklar, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Ancak atıkların yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın olarak görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atıklardan hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir.

Gelişmekte olan bir ülke karakterinde Türkiye, yenilenemeyen enerji kaynakları bakımından dışa bağımlıdır. Bu, kalkınmaya ayrılması gereken kaynakların önemli bir bölümünün enerji dış alımına aktarılmasına neden olmaktadır, Ülkemiz, küçümsenmeyecek bir organik gübre, bitkisel ve kentsel atık potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin yeterince değerlendirilebildiği söylenemez, uzun yıllardır tarım yapılması sonucu ülke topraklarının organik madde kapsamı düşmüştür, üretilen hayvan gübrelere büyük bir bölümü tezek olarak yakılmaktadır. Sonuçta yeterli enerji elde edilebildiği gibi, topraklarımız için vazgeçilmez olan organik madde de yok olmaktadır, enerji tasarrufu sağlamak ve enerji üretimine katkıda bulunmak amacıyla biyogaz üretim ve kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. Biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılmasıyla organik materyaller değerlendirilip enerji üretilebileceği gibi, elde edilen biyogübre topraklarda kullanılabilir, ayrıca kırsal kesimde çevre sağlığına olumlu katkıda bulunabilecektir.

Biyogaz üretimi yoluyla hayvan gübresinin değerlendirilmesi çok yönlü yarar sağlamaktadır. Örneğin yapılan hesaplar, 1 ton hayvan gübresinden yaklaşık 80m^3 biyogaz üretilebileceğini, 5-6 büyükbaş hayvanın yıllık gübre veriminin 30 tonu aşabileceğini, bu gübreden 2600m^3 'ten fazla biyogaz sağlanarak, bir ailenin yıllık pişirme ve aydınlatma yakıt ihtiyacını karşılayabileceğini ortaya koymuştur. Ve daha çok faydalarından dolayı ülkemizde yıl itibarı ile üretimi hiçte küçümsenmeyecek miktara ulaşan enerji kaynağından faydalanmak için çiftçimize destek verilerek teşvik edilmeli, çiftçimiz bu konularda aydınlatılmalı ve ekonomik yönden desteklenmelidir. Biyogaz enerjisinin hammaddesi gübre olduğu için herhangi bir yakıt masrafı olmamaktadır. Ayrıca içinden gazı alınmış gübrede toprak için ve

çiftçimiz için çok daha yararlıdır. Bu tür bir yenilenebilir enerji kaynağı çevreye herhangi bir zarar vermediği gibi aksine çok daha faydalıdır. Yanmış metan gazının CO₂ miktarı doğalgazdan çok daha düşük ve kömür santralleri gibi doğaya yabancı gaz salınımında yapmamaktadır.

Biyogaz tesisi için yukarıda yaptığımız hesaplamalardan birim enerji başına maliyet 0,09 TL/kWh, rüzgar enerjisinde bu oran 0,08 TL/kWh dir. Birim enerji maliyeti olarak çok daha düşük olmasına rağmen yılın belli zamanlarında ve sadece rüzgar alan yerlere kurulması negatif özelliğidir. Hidrolik enerji için ise 0,085 TL/kWh dir. Fakat hidrolik enerjide ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması, tesisin kurulumu için 6-10 yıl gibi sürelerin gerekmesi biyogaz gibi çevreyi kirletmemesi fakat oluşan büyük baraj gölü ile iklim değişikliklerine neden olması ve sadece belli nehir yataklarına kurulabilmesi yani araştırma geliştirme çalışmalarının uzun yıllar sürmesi biyogazın önemini arttırmaktadır. Nükleer enerji santrallerinde ise bu oran 0,14-0,18 TL/kWh olan değer çok büyük olmakla kalmaz ayrıca çevre kirliliği açısından ve sızıntı riski açısından insan sağlığını olumsuz etkilediği için son seçenek olmalıdır. (www.uludagsozluk.com)

Biyogaz tesislerinin kurulumu basit ucuz en fazla 2 yıl gibi kısa bir sürede tamamlanıp işleme açılabilir. Ayrıca Türkiye gibi tarım ve hayvancılığın yaygın olarak yapıldığı bir ülkede hemen Türkiye'nin her bölgesine onlarca kurulup hızlı bir şekilde hizmete girebilir ve Türkiyenin doğal gaz ihtiyacının %88 i bu enerji türü ile azaltılıp dış enerji bağımlılığı minimuma indirilebilir. Yeni iş sahaları açılık işsizlik oranı düşürülebilir.

Sonuç olarak; ekonomik darboğazın hat safhaya ulaştığı günümüzde herşeyden tasarruf sağlamak üzere kısıtlamaya gidilmesi yanında enerji kaynaklarının da israf edilmemesi ve eldeki enerji kaynaklarının ucuz yollarla elde edilmesini gündeme getirmektedir. Giderek kötüleşen çevremizin daha da kötüleşmemesi, hatta iyileşmesi yolunda atılacak adımlar içerisinde enerji kaynaklarının çevre dostu olmasının gereği de konunun diğer bir boyutudur.

KAYNAKLAR

ÇİÇEK B.N. , ÖZTÜRK M., ÖZEK N. (2009) “Renewable energy market conditions and barriers in Turkey” Renewable and Sustainable Energy Reviews 13

CHAO-MING L., GUANG-RUEI K., MENG-YU C. (2009) “Potentials of food wastes for power generation and energy conservation in Taiwan” Renewable Energy 34

LLANEZA COALLA H., BLANCO FERNÁNDEZ J.M., MORÍS MORÁN M.A., LÓPEZ BOBO M.R. (2009)“Biogas generation apple pulp” Bioresource Technology 100

SINGH S.P., PRERNA P. (2009) “Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors” Renewable and Sustainable Energy Reviews 13

LOU X.F., NAIR J. (2009) “The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review” Bioresource Technology 100

Prof. Dr. ÖZTÜRK, M. (2005) ,Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

BİGİN, N (2003), Biyogaz Nedir? ,Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara

Prof.Dr.TOPKAYA, B.(2001) “Organik Atıklardan Metan Gazı Üretilmesi” Sunumu , KAKAD Katı Atık Türk Milli Komitesi Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Prof.Dr. YALDIZ, O. “Organik Atıklardan Biyogaz Üretim Tekniği” Makalesi ,Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü-Antalya

KARAKUZ, S. (2007) “Almanya Biyogaz Sektörüne Bakış “ , Biyoyakıt Dünyası Dergisi, Şubat

KARAKUZ, S. (2007) “Enerji Krizleri Açısından Biyogaz “ , Biyoyakıt Dünyası Dergisi, Nisan

Prof. Dr. ŞAHİN, B. ve Aybers N. (1995) “ENERJİ MALİYETİ” Y.T.Ü. yayını, İSTANBUL

Dr. ALÇİÇEK A. ve Arş. Gör. DEMİRULUŞ H. (1994) “Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması” , Ekoloji ve Çevre Dergisi , Ekim-Kasım-Aralık Sayı: 13

İNTERNET KAYNAKLARI

www.eie.gov.tr (Elektrik işleri etüt idaresi genel müdürlüğü resmi sitesi)

www.biyogaz.com.tr

www.solarenerji.com

www.detesenergy.com

www.uludagsozluk.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.04.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1997-2001	Yabancı Dil Ağırlıklı Nevzat Ayaz Lisesi
Lisans	2001-2006	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurumlar

2007-2009	İNTERVALF San. Ve Tic. A.Ş.
-----------	-----------------------------