

Biyogaz Enerjisi Üretimi ve Eskişehir İli İçin Uygulama

Figen Öçal

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım 2013

Biogas Energy Production and Application for Eskişehir

Figen Öçal

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

November 2013

Biyogaz Enerjisi Üretimi ve Eskişehir İli İçin Uygulama

Figen Öçal

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hayriye Sevil Ergür

Kasım 2013

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Figen Öçal'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Biyogaz Enerjisi Üretimi ve Eskişehir İli İçin Uygulama” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hayriye Sevil Ergür

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hayriye Sevil Ergür

Üye : Prof. Dr. Yaşar Pancar

Üye : Doç. Dr. Necati Mahir

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut Tekkalmaz

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan Gaşan

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte artan enerji gereksinimi, tüm dünyada enerji politikalarını yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu enerji kaynakları, güneş, jeotermal, rüzgar ve biyogaz gibi enerji kaynaklarıdır. Ülkemiz, alternatif enerji kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada, biyogaz enerjisi üretimi ve Eskişehir ilindeki biyogaz enerjisinin potansiyeli ile Eskişehir ilindeki bu potansiyelin uygulaması üzerinde durulmuştur. Eskişehir ilindeki büyükbaş hayvan sayısı belirlenerek değerlendirilebilecek biyogaz potansiyeli ortaya konmuştur. Eskişehir ilçelerinde büyükbaş hayvan sayıları toplamı 118937'dir. Eskişehir ilçelerindeki büyükbaş hayvan barınaklarında oluşan atıklar toplanarak biyogaz tesislerine taşınmış ve hammadde olarak değerlendirilmiştir. Eskişehir ili büyükbaş hayvan atığından üretilen biyogaz, enerji üretiminde kullanıldığında, Eskişehir ilinde günde elde edilebilecek elektrik enerjisi 276454,23 kWh olduğu bulunmuştur. Yine üretilen biyogaz enerjisinin tamamını tüp gaz olarak değerlendirmek istediğimizde, yılda yaklaşık 715643 adet büyük tüp gaz (12 kilogramlık) ihtiyacının karşılanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, yenilenebilir enerji, biyogaz potansiyeli, biyogaz üretimi.

SUMMARY

Worldwide energy policies focused on the new and renewable energy technologies on account of energy demand with technological developments. These are solar energy, geothermal, wind and biogas energy sources. Our Country is rich in alternative energy resources.

This study determined the number of bovine animal in the province of Eskişehir for evaluation of biogas potential. Total number of bovine animal in Eskişehir is 118937. Wastes of bovine animal collected from shelters in districts of Eskişehir and moved to biogas plants to evaluate as raw material. Biogas produced from the faeces of bovine animals in Eskişehir province, is used in energy production, 276454,23 kWh of electrical energy per day was found to be achievable. Again, if we want to evaluate the biogas energy of all bottled gas, that met the bottled gaz (12 kilograms) need of about 715643 pieces in Eskişehir province.

Keywords: Biyogas, renewable energy, biogas potential, biogas production.

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hayriye Sevil Ergür'e,

Çalışmamın gerçekleşmesi için gerekli ortamı sağlayan, anlayış ve yardımını esirgemeyen, desteğini her an yanımda hissettiğim, bilgi ve tecrübelerini büyük bir özveri ile benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Yaşar Pancar'a,

Bu seviyelere gelmemde büyük emek ve katkıları olan tüm hocalarıma,

Bugüne değin, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan, başarımda çok büyük payları bulunan annem Ayşe Öçal, babam Süleyman Öçal, ablalarım SMMM Filiz Öçal, Sınıf Öğretmeni Emine Öçal Atasever ve kardeşim Sınıf Öğretmeni Merve Öçal'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ	3
2.1 Dünya Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü	3
2.2 Türkiye’deki Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü	5
2.3 Fosil Yakıt Kullanımının Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	6
2.4 Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları	7
3. BİYOGAZ	10
3.1 Biyogaz Üretiminin Tarihsel Gelişimi	10
3.2 Biyogazın Tanımı	12
3.3 Biyogazın Özellikleri	13
3.4 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Karakteristikleri	14
3.4.1 Bitkisel atıklar	14
3.4.2 Hayvansal atıklar	15
3.4.3 Kentsel ve endüstriyel atıklar	15
3.5 Biyogazın Oluşum Aşamaları	16
3.5.1 Fermantasyon ve hidroliz	17
3.5.2. Asetik asidin oluşumu	17
3.5.3. Metanın oluşumu	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Başlıca Reaktörler	21
3.6.1 Kesikli reaktör	22
3.6.2 Sürekli karıştırılmalı tank reaktörü (CSTR)	22
3.6.3 Havasız temas reaktörü	23
3.6.4 Pistonlu reaktör	24
3.6.5 Anaerobik filtre reaktör	24
3.6.6 Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör	25
3.6.7 Film reaktörü	26
3.6.8 İki kademeli havasız arıtma sistemleri	27
3.7 Biyogazın Değerlendirilmesi	27
3.7.1 Biyogazın ısıtmada kullanımı	28
3.7.2 Biyogazın aydınlatmada kullanımı	29
3.7.3 Biyogazın motorlarda kullanımı	30
3.8 Biyogaz Tesisinin Yararları ve Mahsurları	31
3.9 Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Üretim Potansiyeli	33
3.9.1 Dünyada biyogaz üretim potansiyeli	33
3.9.2 Türkiye’de biyogaz üretim potansiyeli	38
4. MATERYAL VE METOD	44
4.1 Eskişehir İli Tanıtımı	44
4.1.1 Eskişehir’in coğrafi konumu	44
4.1.2 Eskişehir’in genel tanıtımı	45
4.2 Eskişehir İli Biyogaz Potansiyeli	47
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
5.1 Eskişehir İli Hayvan Potansiyelinin Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Eşdeğeri	51
5.2 Eskişehir İli Kişi Başı Toplam Günlük Gaz İhtiyacı	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3. Eskişehir İli Hayvan Potansiyelinin Elektrik Enerjisi Eşdeğeri Olarak Satışından Elde Edilebilecek Gelir	54
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
7. ÖNERİLER	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Biyogazın LPG ocaklarında yakılması	14
3.2. Bitkisel atıklar	14
3.3. Hayvansal atıklar	15
3.4. Organik içerikli şehir atıkları ve endüstriyel atıklar	16
3.5. Biyogaz üretiminin akış şeması	19
3.6. Modern bir biyogaz tesisi	20
3.7. Kesikli reaktör	22
3.8. Sürekli karıştırmalı tank reaktörü	23
3.9. Pistonlu reaktör	24
3.10. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör	25
3.11. Genleşmiş yataklı reaktör (solda) ve akışkan yataklı reaktör (sağda)	26
3.12. Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri	29
3.13. Biyogaz ile çalışan aydınlatıcı	29
3.14. Biyogazın araçlarda kullanımı	30
3.15. Güney Hindistan'da işletilen 1 m ³ 'lük bir biyogaz sistemi	34
3.16. İlkel yöntemle işletilen biyogaz sistemi	34
3.17. Toprak altı biyogaz sisteminin kesiti	35
3.18. Danimarka'da büyük hacimli biyogaz tesisi	35
3.19. Almanya'da bir biyogaz tesisi	36
3.20. Aydın'ın Pamukören Beldesi'nde işletilen 50 m ³ kapasiteli biyogaz sistemi	39
3.21. Kocaeli İzaydaş biyogaz üretim tesisi	40
3.22. Türkiye'de elektrik enerjisi ve biyogaz kurulu kapasite karşılaştırılması	41
4.1. Eskişehir İl haritası	44
4.2. Lületaşından ürünler	45
4.3. Boraks kristali	46
4.4. Seyitgazi yakınlarında Frigler'den kalma Yazılıkaya Anıtı	46
4.5. Eskişehir İli'nde Tesis 1 (Alpu Merkezli) ve Tesis 2' deki (Seyitgazi Merkezli) büyükbaş hayvan yüzdesi	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünya enerji tüketimi	3
2.2. Dünyadaki enerji üretimi	4
2.3. Türkiye'nin 2000-2030 yılları arasında birincil enerji üretimi	5
2.4. Türkiye'nin 2000-2030 yılları arasında birincil enerji tüketimi	6
3.1. Biyogazın bileşimi	12
3.2. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları	16
3.3. Tek ve iki kademeli sistemlerin karşılaştırılması	27
3.4. Bazı ülkelerde biyogazın motorlu taşıtta kullanılabilmesi için biyogazdan istenen özellikler	30
3.5. Avrupa Birliği Ülkelerinin 2004-2007 yılları arasındaki biyogaz üretim miktarları (KTEP), (EurObserv'ER, 2008).....	37
3.6. Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi (TÜİK, 2011)	42
3.7. Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi (TÜİK, 2011)	43
4.1. Eskişehir ilçelerinde büyükbaş hayvan sayıları	48
4.2. Eskişehir ili için elde edilecek günlük gübre ve biyogaz miktarları	50
5.1. Eskişehir ili hayvan potansiyelinin biyogaz ve elektrik enerjisi eşdeğeri ...	51
5.2. Eskişehir ilindeki kişi başı toplam günlük gaz ihtiyacı	53
5.3. Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. 2009 yılı şirket geneli verileri	54
6.1. Türkiye yıllara göre kişi başına enerji ve elektrik tüketimi	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
NO _x	Azot oksit bileşikleri
CO ₂	Karbondioksit
H ₂ O	Su
CH ₄	Metan
CH ₃ COOH	Asetik asit
H ₂ S	Hidrojen sülfür
CO	Karbon monoksit
N ₂	Azot
H ₂	Hidrojen
O ₂	Oksijen
pH	Bir çözeltilinin asitlik veya bazlık derecesini ifade eden ölçü birimi

Kısaltmalar **Açıklama**

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
S.S.C.B.	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
AB	Avrupa Birliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
UNICEF	Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
MTA	Maden Tetkik ve Arama
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
TL	Türk Lirası
USD	Amerikan Doları
AŞ	Anonim Şirketi
YAÇYR	Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
Mtep	Milyon ton eşdeğer petrol
Btep	Bin ton eşdeğer petrol
Ktep	Kilogram ton eşdeğer petrol
MW	Megawatt
°C	Derece santigrat
kWh	Kilowatt saat
GWs	Gigawatt saat
Mg	Miligram

L	Litre
m	Metre
kcal	Kilokalori
MJ	Megajoule
kg	Kilogram
mg	Miligram
ppm	Milyonda bir parçacık
Nm	Newton metre
Max	Maksimum
Min	Minimum
vd.	Ve diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, günümüzde insan hayatının vazgeçilmez bir parçası ve dünyadaki sürdürülebilir kalkınma çabalarının en önemli araçlarından biridir. Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve bilimsel faaliyetlerin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar olarak nitelendirdiğimiz petrol, kömür ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Ancak bu enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle bu enerji kaynaklarının en uygun şekilde kullanılması ve yeni enerji teknolojilerinin gerekliliği, tüm dünya genelinde açıkça ortaya konulmuştur. Bu durum, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji üretimini, çözümlenmesi gereken en önemli sorun haline getirmiştir (Angın, 2005).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga, biyokütle kaynaklı enerji üretim teknolojileri gelmektedir.

Biyokütleden biyogaz üretim teknolojisi, temelde biyolojik bir olaydır. Bu işlemin kontrollü bir şekilde uygulanması, anaerobik işlem ve enerji üretimi çok uzun yıllar öncesine dayanmaktadır (Ardıç, 2009).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz üretimi, çevresel sorunlar yaratan evsel, endüstriyel ve tarımsal organik atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesinin yanı sıra, enerji üretiminde de kaynak olarak kullanılabilmesi ve yan ürün olan fermente gübrenin tarımsal verimliliğin artışına destek olması açısından da önem taşımaktadır.

Türkiye’de tarım ve hayvancılığın önemli geçim kaynakları arasında yer alması, biyogaz üretiminde kullanılacak hammaddelerin de doğrudan üretildiği anlamına gelmektedir. Endüstriyel faaliyetlerle oluşan atıklar da bunların artışını sağlamaktadır (Sabuncu, 2010).

Türkiye’de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji üretimine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Biyogaz potansiyeli açısından önemli bir kaynağa sahip olan Türkiye’de, bu kaynağın kullanım miktarı istenilen düzeye henüz ulaşmamıştır.

Gelişmemiş ülkelerde yerel imkânlarla yapılan ilkel üretim girişimlerinin yanı sıra, gelişmiş ülkelerde biyogaz teknolojisi endüstriyel anlamda da uygulanmaktadır. Biyokütle enerjisinin sanayileşmiş ülkelerdeki birincil enerji tüketimindeki payı, yaklaşık %3'ün altında olmakla birlikte, bazı ülkeler bu kaynağı önemli ölçüde kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Finlandiya %15, İsveç %9, ABD %4, eski SSCB ülkeleri %3–4 oranında biyokütle enerjisi kullanmaktadır. ABD ve Avrupa ülkelerinde, çeşitli büyüklüklerde, işleyen binlerce biyogaz üretim tesisleri mevcut olup, bu tesislerin sayıları hızla artmaktadır (İlkılıç ve Deviren, 2011).

BÖLÜM 2

ENERJİ

Dünya nüfusunun artması, çeşitli sorunlarla birlikte enerji ihtiyacının karşılanması problemini de ortaya çıkarmıştır. Enerji kullanımı, endüstrileşme ve ekonomik gelişmeyle, enerji tüketimi ise, refah seviyesinin yükselmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bilim adamlarına göre, dünyanın geleceğinin belirlenmesinde, enerjinin büyük bir rolü olacaktır. Dolayısıyla, yeni çağa damgasını vuracak güç, enerji olacaktır (Keçeci, 2006).

2.1. Dünya Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü

Dünyada halen geniş oranda kullanılan enerji kaynaklarının en önemlileri, birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğal gazdır. Bu kaynaklar, halen dünya enerji ihtiyacının %77'sini karşılamaktadır. Dünya enerji konseyi bu oranın 2020 yılında %74 olacağını öngörmektedir (Keçeci, 2006).

Çizelge 2.1. Dünyanın Enerji Tüketimi (Sarıoğlu, 2007)

Milyon Ton Eşdeğer Petrol (Mtep)	1971	2002	2010	2020	2030	2007–2030 Yıllık (%) Artış
Kömür	1407	2389	2763	3193	3601	1,5
Petrol	2413	3676	4308	5074	5766	1,6
Doğalgaz	892	2190	2703	3451	4130	2,3
Nükleer	29	692	778	776	764	0,4
Hydroenerji	104	224	276	321	365	1,8
Yenilenebilir	4	55	101	162	256	5,7
Toplam	5536	10435	12194	14404	16487	1,7

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, günümüzde dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %85’i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. 2030 yılında dünya enerji talebinin yaklaşık %80’inin fosil yakıtlardan karşılanması beklenmektedir. 2030 yılında da birincilik sırasını %35’lik pay ile korumaya devam edecek olan petrol bugün, dünya enerji talebinin %38’ini karşılamaktadır. Nükleer enerji talebinin payı, dünya genelinde ilk sıralardan aşağılara düşerken, hidrolik enerjideki payın genel olarak sabit kalacağı tahmin edilmektedir (Sarioğlu, 2007).

Çizelge 2.2. Dünyanın Enerji Üretimi (Sarioğlu, 2007)

Milyon Ton Eşdeğer Petrol (Mtep)	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004
Petrol	3355	3059	3338	3434	3663	3941	4190
Doğalgaz	1379	1556	1809	1937	2116	2301	2575
Kömür	1795	1975	2216	2165	2240	2302	2855
Nükleer	191	327	454	536	607	646	692
Hidroenerji	451	509	541	572	650	680	694
Yenilenebilir	12	19	25	49	57	76	99
Toplam	7183	7477	8415	8698	9335	9948	11105

Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi 2004 yılı verilerine göre, petrolün dünya enerji üretimindeki yeri, %37,8’lik pay ile ilk sıradadır. Son 20 yılda, dünya genelinde toplam enerji üretimindeki petrol üretim payı %3,5 oranında azalırken, tüketimi %24,88 oranında artmıştır. Bu süreç içerisinde, dünya üretimindeki doğalgazın payı ise, %2,37 oranında artmıştır. Yenilenebilir enerjinin, dünya enerji üretimindeki payı %0,89 olup son 20 yıldaki üretim, yaklaşık 5 kat artmıştır (Sarioğlu, 2007).

2.2. Türkiye’deki Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü

Ülkemizin 70 milyonun üzerinde olan nüfusu her yıl %1,7 oranında büyümektedir. Önümüzdeki 20 yıl içerisinde bu büyümenin %1 oranında artacağı ve nüfusun 83,4 milyon olacağı tahmin edilmektedir. Son 30 yılda ise, Türkiye’de nüfus ile birlikte toplam enerji tüketimi de ortalama %9,6 oranında büyüme göstermiştir. Ülkemiz, dünya nüfusunda %1,2’lik, enerji tüketiminde ise, %0,8’lik bir paya sahiptir. Dolayısıyla, kişi başına düşen enerji tüketimi, dünya ortalamasının dörtte üçüdür. Bu tüketimin %42,7’si petrole, %28,2’si kömüre, %16,1’i doğalgaza aittir (Sarioğlu, 2007).

Çizelge 2.3’te görüldüğü gibi, ülkemizde taşkömürü, linyit, asfaltit, bitümlü şist, ham petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi gibi tükenmeyen kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Kısaca, Türkiye’de jeolojik ve doğal yapıyla ilişkili olarak, hemen her çeşit enerji kaynağı bulunmakla birlikte günümüzde, en çok kullanılan fosil kaynaklarının (liniyit dışında) yeterli rezervleri yoktur ve üretimleri düşüktür (Sarioğlu, 2007).

Çizelge 2.3. Türkiye’nin 2000–2030 Yılları Arasında Birincil Enerji Üretimi (Sarioğlu, 2007)

Enerji Kaynağı Bin Ton Eşdeğer Petrol (Btep)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Kömür	17202	21259	28522	31820	39385	45944	59765
Petrol–Doğalgaz	3408	2127	1735	1516	1604	1455	1893
Biyokütle	6963	6760	6446	6026	5681	5393	7015
Hidroenerji	3763	5845	7520	8873	9454	10445	3587
Jeotermal	432	1380	3760	4860	4860	5400	7024
Nükleer	0	0	3657	9143	18286	29200	37984
Rüzgâr	55	250	620	980	1440	2134	2776

Çizelge 2.3 ve 2.4'te görüldüğü gibi, Türkiye'nin en çok tükettiği birincil enerji kaynağı petrol iken, bunun sadece %2,9'unu üretebilmektedir. Yıllara göre, petrol tüketimi hızlı bir artış gösterirken, üretimi azalmaktadır. Diğer fosil yakıtlarda ise, tüketim oranlarındaki artışa karşılık, üretimin yetersiz kaldığı görülmektedir (Sarioğlu, 2007).

Çizelge 2.4. Türkiye'nin 2000–2030 Yılları Arasında Birincil Enerji Tüketimi (Sarioğlu, 2007)

Kaynaklar (Btep)	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Kömür	20256	30474	50311	83258	129106	296997	363210
Petrol-Doğalgaz	59250	73256	92367	112993	136365	179765	227518
Biyokütle	6963	6760	6446	6026	5681	5393	7015
Hidroenerji	3763	5845	7520	8873	9454	10445	3587
Jeotermal	432	1380	3760	4860	4860	5400	7024
Nükleer	0	0	3657	9143	18286	29200	37984
Rüzgâr	55	250	620	980	1440	2134	2776

2.3. Fosil Yakıt Kullanımının Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Doğal çevre, en önemlisi de enerji alanı, tüm insan faaliyetlerini etkilemektedir. Enerji–çevre sorunlarının oluşmasının temel nedeni, sanayi devriminin başlangıcından itibaren, kullanımı giderek artan ve tükenme pahasına aşırı artışı sürdürülen fosil yakıtlardır (Demiral, 2004). Dünya enerji talebinin halen %77'sini karşılayan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri (sera etkisine bağlı olarak atmosferin ısınması ve iklim değişiklikleri, yağış anormallikleri, kirli sis, asit yağmurları, sağlık problemleri) öncelikle gelişmiş ülkeler olmak üzere, tüm dünyayı temiz enerji kaynakları arayışına itmektedir (Gürleyik, 2006). Temiz enerji kaynaklarına yönelik bu arayışın başlıca nedenleri, artan enerji ihtiyacına karşılık fosil yakıt rezervlerinin azalması, yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulması, yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin anlaşılması, enerjiyi daha bilinçli kullanma gereğinin

hissedilmesi ve enerji/çevre ikileminin çözümü için temiz enerji şartı başlıklarıyla özetlenebilir (Gürleyik, 2006). Karbonlu yakıtların yanması sırasında, yakıtların yapısında değişken oranlarda bulunan azot, havanın oksijeniyle birleşerek NO_x gazlarını oluşturmaktadır. Atmosferdeki azot oksit miktarının artması, hem insan sağlığı hem de bitkiler için zararlıdır. NO_x teneffüs edildiğinde aside dönüşerek akciğerleri tahriş eder, bronşları doldurur, akciğerlerin havadan oksijen alma yeteneğini yitirmesine ve böylece kana daha az oksijen iletilmesine yol açar (Demiral, 2004). Havaya bırakılan asit nitelikli azot oksit ve kükürt oksit gazlarının, havada oldukça uzun süre kalması sonucunda, nem ve partikül içeriğine sahip toprak alkalilerle birleşerek, nitrik asit ve sülfürik asit damlaları şeklinde asit yağmurları oluşur. Asit ve sülfat yağışı, toprağın niteliklerini etkiler, bitkilerin doğrudan ve dolaylı olarak, olumsuz yönde etkilenmesine neden olur, ormanları öldürür ve tatlı su göllerine ulaştığında buradaki ekosistemi ve çevresel dengeleri bozar (Demiral, 2004).

Sera gazları olarak bildiğimiz gazlar; su buharı, karbon dioksit, metan, nitroz oksit, kloro–floro karbondur. Dünya yüzeyine ulaşan ışınlar, yeryüzüne çarptıktan sonra ısı enerjisi olarak geri döner. Burada oluşan ısı, CO₂ kızıl ötesi ışınlar şeklinde soğurulmakta ve dünyanın yüzeyine geri yansıtılmaktadır. Böylece, dünya sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Demiral, 2004).

2.4. Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu, yenilenebilir enerji kavramını, sürekli olarak yenilenen ve doğal süreçlerden elde edilen enerji olarak tanımlamıştır. Güneş, rüzgâr biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik güç, okyanus kaynakları ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen enerjisi tanım içerisinde yer almaktadır. (Uğur, 2005).

Çok eski çağlardan beri, yenilenebilir enerji kaynaklarından, su pompalamada, tahılları öğütmede, ürünleri kurutmada, su ısıtmada ve kayıkların hareket etmesinde yararlanılmaktadır. Buharlı makinelerin keşfi ile başlayan sanayileşme, önce Avrupa daha sonra Amerika’da yenilenebilir enerji kullanımının aşamalı olarak azalmasına neden olmuştur. Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı, 1973 petrol krizine

kadar iki yüzyıl boyunca sorunsuz devam etmiştir. Enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik ortamı yaratan bu kriz, bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı yoğun bir ilginin oluşmasını sağlamış ve başta Avrupa ülkeleri ve ABD olmak üzere, bu konuda araştırmalara başlamıştır. 1980'lerin ortalarında petrol fiyatlarının düşmesiyle bu kaynaklara olan ilgi tekrar azalmış olmakla birlikte, petrol krizi sonucu gündeme gelen “enerji güvenliği” ve “enerjinin çeşitlendirilmesi” konulu çalışmalar, enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. 1990'lı yıllarda, fosil kaynaklara dayalı enerji üretim ve tüketiminin, doğal kaynaklarımızı yerel, bölgesel ve küresel seviyede, doğrudan ve/veya dolaylı yönden olumsuz etkilediğinin anlaşılmasını sağlayan çevre bilinci, atmosferi kirleten ve emisyonu izin vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının yeniden desteklenmesine yol açmıştır (Uğur, 2005).

Ülkemizde 10.05.2005 tarihinde kabul edilen 5346 nolu Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanununun birinci bölümünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik enerjisi üretim amaçlı kullanım alanlarının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması hedeflenmiştir. Bunların gerçekleştirilmesi için, imalat sektörünün geliştirilmesi gereklidir (Gül, 2006).

5346 nolu kanun; yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esasları kapsar. Bu kanunun ikinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynak alanlarının belirlenmesi, korunması, kullanılması ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ile ilgili maddeler bulunmaktadır (Gül, 2006).

OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü–Organization for Economic Co-operation and Development–OECD–) ülkeleri içerisinde geçtiğimiz on yıllık dönemde, enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke Türkiye'dir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2009 yılına ilişkin çalışmalarının sonuçlarına göre, petrol ve doğal gazın neredeyse tamamı, kömürün ise %20'si ithal edilmektedir (Çankaya, Kılıç, 2011). 2010 yılı içinde işletmeye alınan toplam kurulu gücü 3.490 MW olan santrallerin 1.206 MW'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından meydana

gelmektedir. Bunların; 436 MW'ı rüzgâr, 736 MW'ı hidrolik, 17 MW'ı jeotermal, 17 MW'ı ise çöp gazı ve biyogaz kaynaklı elektrik üretim santralleridir. 2023 yılına kadar Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payını arttırmak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payını, en az %30 düzeyine çıkarmayı amaçlamaktadır (Çankaya, Kılıç, 2011).

BÖLÜM 3

BİYOĞAZ

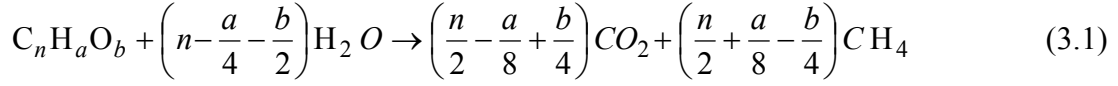
3.1. Biyogaz Üretiminin Tarihsel Gelişimi

İlk anaerobik çürütme tesisi, 1859 yılında Hindistan'ın Bombay şehrinde yapılmıştır. Aralık 1881 ve Ocak 1882 yılında M. Louis Mearns, havasız bir kap içerisindeki partiküler organik maddenin, anaerobik olarak sınıflandırılabilirliğini gösteren çalışmasını Fransız dergisi Cosmos'da yayınlamıştır. Pasteur'ün öğrencilerinden Gayon, 1883–1884 yılında hayvan gübresi ile anaerobik çürütme deneyleri yapmıştır. Pasteur, 35°C'de toplanan gaz hacminin büyüklüğünü görünce, gübrenin anaerobik fermentasyonu ile elde edilen gazın, ısıtma ve aydınlatmada kullanılabilirliği sonucuna varmıştır. Atık sudaki organik maddenin sınıflandırılması konusundaki diğer çalışmalar, W.D. Scott–Moncrieff tarafından, 1890–1892 yıllarında İngiltere'de yapılmıştır. 10 kişinin atığı, içi taşlarla dolu bir yataktan geçirilerek arıtılmıştır. Bu sistem, dünyadaki ilk anaerobik filtre olarak bilinir. 1894 yılında ABD'nin Massachusetts Eyaleti Sağlık Kurulu tarafından yayınlanan bir raporda, atık suyun hidrolitik ve bakteriyolojik etkiye maruz kalması için, bir süre bekletilmesinin avantajları belirtilmiştir. Ayrıca, bu bekleme sırasında organik maddenin bir bölümünün, zararsız gazlara dönüşerek, kısmen çözünür hale geldiği vurgulanmıştır. Donald Cameron, 1895 yılında İngiltere'de (Exeter), Mearns'ın tanklarına benzeyen tanklar tasarlamış ve ön filtreden geçirerek 60.000 gallon/gün ($\approx 230 \text{ m}^3/\text{gün}$) debideki atık suyu arıtmıştır. Cameron, mikroorganizmaların bulaştığı (septik) tanklar adını verdiği bu tankları, mühendislik açısından da geliştirmiş ve bu sistemin patentini almıştır. Benzer sistemler, 1894 yılında Urbana (ABD) ve 1897 yılında da, Illinois (ABD)'de kurulmuştur. İlk endüstriyel boyutta, yaklaşık 10 m^3 hacminde tarımsal biyogaz üretim tesisi, Cezayir'de Isman ve Ducellier tarafından 1837 yılında kurulmuş ve katı atıkla işletilmiştir. Sistemin geliştirilmesi, ikinci dünya savaşı sırasında durdurulmuştur (Türker, 2008).

Anaerobik (oksijensiz ortamda) bozunma sırasında açığa çıkan metanın değerini ilk fark eden Cameron'dur. Cameron, çıkan metanın bir kısmını ısıtma amacıyla kullanmıştır. Yine 1897 yılında Bombay (Hindistan)'da atık tankları, gaz kolektörleri ile donatılmış ve çıkan gaz, çeşitli gaz motorlarını çalıştırmak amacıyla kullanılmıştır. Atığı arıtmaya yardımcı olan mikroorganizmaların bulunduğu tanklı sistemlere karşı ABD' de olumsuz tavırlar gelişmeye başlamıştır. Bunun sebebi ise, Cameron'un aldığı patente ödenen miktarlardır. Ayrıca, Herry W. Clark (Lawrence, Massachussets) 1899 yılında, septik tankları terk eden sıvının, siyah renkli, rahatsız edici ve hala bozunmamış madde içerdiğini fark etti. Bunun sonucunda Clark, atığın ayrı bir tankta kendi kendini fermente etmesi gerektiğini söylemiştir (Türker, 2008).

Almanya'da 1927'de Essen–Relinghausen'de ilk çamur ısıtma sisteminin monte edildiği arıtma tesisi kurulmuştur. Tankın ısıtılması, çıkan gazın yakılmasını pratik hale getirmiştir. Üretilen gazın toplanması ve yakılması konusundaki çalışmalar 1914 yılında Emschergenossenschaft tarafından yapılmıştır. 1923 yılında metan gazı endüstriyel boyutta toplanmış ve belediye gaz sistemine verilmiştir. 1930'larda Almanya' da pek çok şehir, metan gazını motor yakıtı olarak kullanmak üzere sıkıştırma tesisi kurmuştur (Türker, 2008). Rudolfs, 1927 yılında, çamurun birim miktarı başına üretilen gazın sıcaklıktan bağımsız olduğunu fakat sıcaklığın bozunma hızını arttırdığını göstermiştir. Fair ve Moore, 1930'ların başlarında anaerobik arıtma için iki ayrı optimum sıcaklık olduğunu göstermişlerdir. Bunlardan birisi, ne soğuğu ne sığağı seven (mesofilik) organizmaların bulunduğu (28–33°C) bölge, diğeri ise, sığağı karşı dayanıklı (termofilik) organizmaların bulunduğu (55–60°C) bölgedir. 1930'ların sonuna doğru, pratikte kullanabilmek için gerekli olan pH, aşı gibi temel bilgiler iyice anlaşılmıştır. Ayrı tankta ısıtılarak bozunma yerleşik bir sistem haline gelmiştir (Türker, 2008). A.M. Buswell ve arkadaşlarının 1920 ve 1930'larda yaptıkları çalışmalar, anaerobik arıtma mikrobiyolojisi ve kimyasının anlaşılmasına çok katkıda bulunmuştur. Uçucu organik asitlerin, bozunma sırasında ara ürün olarak önemli olduğunu vurgulamışlardır. 1948 yılında Buswell ve Sollo, yeni kullanılmaya başlanan 14°C yöntemiyle, asetikasitin dekarboksilasyonu ile metan gazının oluştuğunu göstermişler ve böylece, Söhngen'in orijinal tezini doğrulamışlardır. Jaris, radio izleyici kullanarak, oluşan metanın %70'inin asetattan geldiğini göstermiştir. Buswell ve Mueller (1952) kaplama

malzemesinin doğal yapısındaki biyogaz miktarındaki metan/CO₂ oranını belirlediğini ve biyolojik bozunmanın şu denklemle verilebileceğini göstermişlerdir:



1950'lerde meydana gelen en önemli iki gelişme, anaerobik (havasız) temas işleminin gelişmesi ve çürütücülerin karıştırılmasıdır. Karıştırma yöntemiyle, yüksek hızlı çürütücüler ortaya çıkmış ve bakteri ile atığın teması artmıştır. Stander, reaktörü terk eden akım ile bakterinin reaktöre geri döndürülmesi işleminin, reaktörde alıkonma süresini azalttığını deneysel olarak göstermiş ve daha sonra endüstriyel alanda uygulamıştır. Schroepfer ve arkadaşları 1955'de, reaktör çıkışına, aktif çamurdan çökeltme tankı ilave etmişler ve hidrolik alıkonma süresinin yirmi günden bir güne gerilediğini göstermişlerdir. Son yirmi yıldaki gelişmelerin en önemlilerinden biri ise, yukarı akışlı anaerobik çamur yatak (upflow anaerobic sludge blanket, UASB) reaktörlerinin geliştirilmesidir. Günümüzde, bu tip reaktörler anaerobik arıtmada en yaygın olarak kullanılmaktadır (Türker, 2008).

3.2. Biyogaz Tanımı

Biyogaz; oksijensiz ortamlarda, bitkisel ve hayvansal atıklar gibi organik atıkların fermentasyonu sonucu oluşan, bileşiminde %60–70 metan, %30–40 karbondioksit ile az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot içeren renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır (Aslanlı, 2009). Genel olarak biyogazın bileşenleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Biyogaz Bileşimi (Sabuncu, 2010)

Bileşenler	Miktar (%)
Metan (CH ₄)	55–75
Karbondioksit (CO ₂)	30–45
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	1–2
Azot (N ₂)	0–1
Hidrojen (H ₂)	0–1
Karbon monoksit (CO)	Eser Miktarda
Oksijen (O ₂)	Eser Miktarda

Günümüzde, biyogaz üretimi için hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel atıkların organik özellik taşıyan bileşenlerinden yararlanılmaktadır. Bu atıkların oksijensiz ortamda, belli koşullar altında, farklı mikroorganizma gruplarının yardımıyla biyogaza dönüşümü sağlanmakta; geriye kalan kısım ise, verimli bir gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Aslanlı, 2009).

3.3. Biyogaz Özellikleri

Organik atıkların, oksijensiz ortamda fermentasyonu sonucu ortaya çıkan biyogaz; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yoğunluğu $1,21 \text{ kg/m}^3$, yanma sıcaklığı 700°C , alev sıcaklığı ise 870°C olan bir gaz karışımıdır. Biyogaz, ancak -164°C 'de sıvı hale gelebilen ve kolayca bozunmayan sabit bir yapıya sahiptir (Aslanlı, 2009).

Biyogazın içerdiği gazların bileşimi; reaktörde beslenen maddenin özelliklerine, sıcaklığa, hammaddenin su içeriğine, reaktöre yükleme hızına, sistemin işletim şartlarına ve reaktördeki bakteriyel faaliyetlere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler, biyogazdan elde edilebilecek enerji miktarını da etkilemektedir. Biyogazın yakıt değeri, karışımın en önemli bileşeni olan metan gazıyla doğrudan ilişkilidir. Metan gazının ısı değeri ortalama 8900 kcal/m^3 'tür. Biyogazın ısı değeri, yaklaşık $4700\text{--}5700 \text{ kcal/m}^3$ ($17\text{--}25 \text{ MJ/m}^3$) aralığında olup, bileşimindeki metan oranına bağlı olarak değişmektedir. %50'den daha az metan içeren biyogaz bileşimlerinde, verimli bir yanma sağlanamamaktadır (Aslanlı, 2009).

Normal şartlar altında 1 m^3 biyogazın etkin ısı değeri;

- ✓ 0,66 lt motorin
- ✓ 0,75 lt benzin
- ✓ $0,25 \text{ m}^3$ propan
- ✓ $0,2 \text{ m}^3$ bütan
- ✓ 0,85 kg kömür
- ✓ 0,62 lt gazyağı
- ✓ 1,46 kg odun kömürü
- ✓ 3,47 kg odun

- ✓ 12,3 kg tezek
- ✓ 4,70kWh elektrik enerjisinin sağladığı ısıya eşittir (Buğutekin, 2007).



Şekil 3.1. Biyogazın LPG Ocaklarında Yakılması (Buğutekin, 2007)

LPG tip gazlarda olduğu üzere, biyogaz alevinin rengi de mavidir. Normal ev tipi sobalarda yakıldığı zaman %60 verim sağlanmaktadır (Buğutekin, 2007).

3.4. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Karakteristikleri

Biyogaz üretiminde özellikle nemi yüksek, katı organik atıkların sıkça kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca, organik madde yoğunluğu yüksek olan atık sularda da, çeşitli yöntemlerle biyogaz üretimi amaçlanmaktadır (Ardıç, 2003).

3.4.1. Bitkisel atıklar

Bitkisel atıklar, ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen gibi bitkilerin, işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan artıklardır (Buğutekin, 2007).



Şekil 3.2. Bitkisel Atıklar (Buğutekin, 2007)

Bitkisel atıkların (buğday sapı, mısır sapı) kullanıldığı biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında, yapılan işlemin kontrol edilmesi, büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kırsal kesimlerde bitkisel atıklardan biyogaz üretimi genellikle önerilmemektedir (Buğutekin, 2007).

3.4.2. Hayvansal atıklar

Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, tavuk, domuz gibi hayvanların dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır (Aslanlı, 2009).



Şekil 3.3. Hayvansal Atıklar (www.eie.gov.tr)

3.4.3. Kentsel ve endüstriyel atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt, deri, tekstil, şeker, gıda endüstrisi atıkları, özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından bırakılan atıklar, biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, belediyelerin atık su arıtım tesislerinde, anaerobik fermentasyonun kullanımı, diğer uygulamalara göre çok daha karmaşıktır. Çünkü, belediye atıkları, toksik maddeler ve ağır metaller içermektedir (Aslanlı, 2009).



Şekil 3.4. Organik İçerikli Şehir Atıkları ve Endüstriyel Atıklar (Buğutekin, 2007)

Çizelge 3.2. Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları (Buğutekin, 2007)

Kaynak	Biyogaz Verimi (Litre/kg)	Metan Oranı (Hacim, %)
Sığır Gübresi	90–310	65
Kanathlı Gübresi	310–620	60
Domuz Gübresi	340–550	65–70
Buğday Samanı	200–300	50–60
Çavdar Samanı	200–300	59
Arpa Samanı	290–310	59
Mısır Sapları ve Artıkları	380–460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280–550	70
Sebze Artıkları	330–360	Değişken
Ziraat Artıkları	310–430	60–70
Yerfıstığı Kabuğu	365	–
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210–290	58
Algler	420–500	63
Atık Su Çamuru	310–800	65–80

3.5. Biyogaz Oluşum Aşamaları

Organik maddelerin değerlendirilmesi ve kullanılabilir başka ürünlere dönüşüm teknolojileri arasında, biyoteknolojinin önemli bir yer aldığı bilinmektedir. Biyoteknolojik yöntemlerin başında ise, özellikle katı atıkların değerlendirilmesi ve metan gazı üretiminde yaygın olarak kullanılan anaerobik işlem gelmektedir (Ardıç, 2003).

Anaerobik işlem, büyük ve karmaşık yapıları organik moleküllerin, oksijensiz ortamda, mikroorganizmalar yardımıyla başka ürünlere dönüştürülmesidir. Bir

anaerobik işlemde, farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının ortamda bulunması, karmaşık yapılu organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için gereklidir. Bu mikroorganizma grupları; hidroliz bakterileri (yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddeleri, düşük molekül ağırlıklı çözünmüş organik maddelere dönüştüren bakteriler), asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakterilerdir. Her mikroorganizma grubu, kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmakta ve ardından başka grup bakterilerin besin maddelerine çevirmektedir. Basit yapılu herhangi bir organik madde, hiçbir mikroorganizma tarafından, tek başına metana dönüştürülemez (Ardıç, 2003). Biyogaz üretiminin sağlandığı, organik maddelerin anaerobik fermentasyonunun gerçekleştiği üç temel aşamada, aynı isimlerle bilinen üç değişik bakteri grubu etkilidir. Anaerobik fermentasyonun üç temel aşaması aşağıdaki gibi sıralanır (Öztuncay, 2009).

- ✓ Fermentasyon ve hidroliz
- ✓ Asetik asidin oluşumu
- ✓ Metanın oluşumu

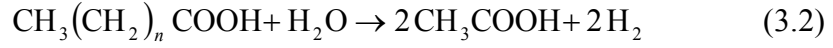
3.5.1. Fermentasyon ve Hidroliz

Bu aşamada, fermente edici ve su ile birlikte reaksiyona girebilen (hidrolitik) bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları, organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları ($(C_6H_{10}O_5)_n$), proteinleri ($6C + 2NH_3 + 3H_2O$) ve yağları ($(C_{55}H_{98}O_6)$) parçalayarak, CO_2 , asetik asit ve bileşimin büyük bir kısmını da çözülebilir, uçucu organik maddelere dönüştürürler. Son gruptaki organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle bu aşama, $[CH_3(CH_2)_nCOOH]$ uçucu yağ asitlerinin oluşum aşaması olarak da adlandırılır (Gülen and Arslan, 2005).

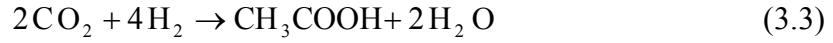
3.5.2. Asetik asit oluşumu

Asetik asidin oluşum aşamasında, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (aset oluşturan) bakteri grupları

devreye girmekte ve bir kısım asetogenik bakteriler, uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir (www.eie.gov.tr).



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

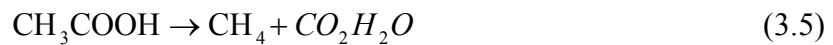


3.5.3. Metan oluşumu

Anaerobik (oksijensiz ortamda) fermentasyonun son aşamasında, metan oluşturan bakteri grupları devreye girmektedir. Böylece, metan oluşturan bir kısım bakteriler, CO_2 ve H_2 'yi kullanarak metan (CH_4) ve suyu (H_2O) açığa çıkarırlar (Öztuncay, 2009).



Metan oluşturan diğer bakteri grupları ise, ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asit yardımıyla CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadır. (Öztuncay, 2009).



Ancak bu aşamada, birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından daha azdır. Metanın %30'u birinci, %70'i ikinci yolla üretilmektedir (Öztuncay, 2009).

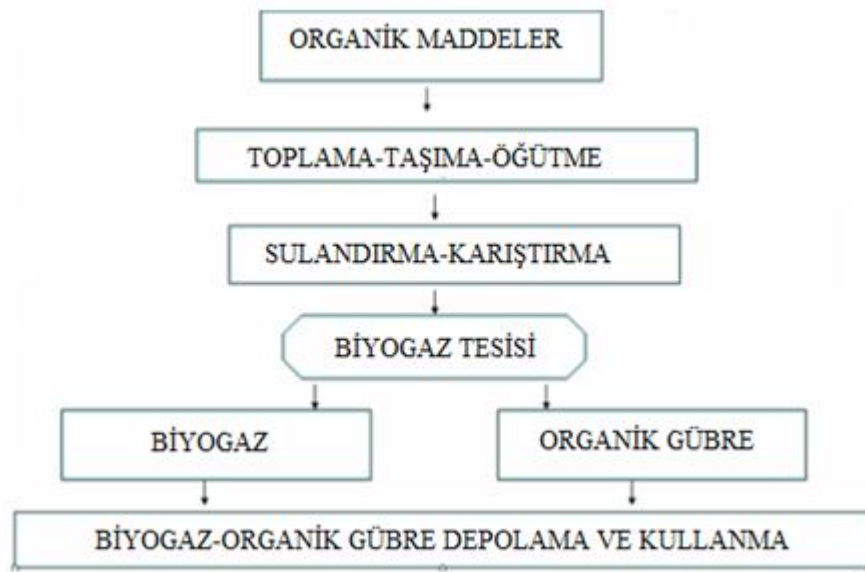
Anaerobik fermentasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermentasyon ortamının sıcaklığına göre, sakrofilik, mezofilik ve termofilik olmak üzere, üç gruba ayrılır. Bunlar;

1– Sakrofilik Bakteriler: Optimum faaliyet sıcaklığı: 5– 25 °C

2– Mezofilik Bakteriler: Optimum faaliyet sıcaklığı: 25– 38 °C

3– Termofilik Bakteriler: Optimum sıcaklık: 50– 60°C' dir (Gülen ve Arslan, 2005).

Sakrofilik bakteriler, deniz ve göl diplerindeki tortular ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Bu bakteri gruplarından mezofilik bakteriler sığır gübresinde bulunmasına karşın, 1. ve 3. grupta yer alan sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içinde yaşamamaktadır (www.eie.gov.tr).



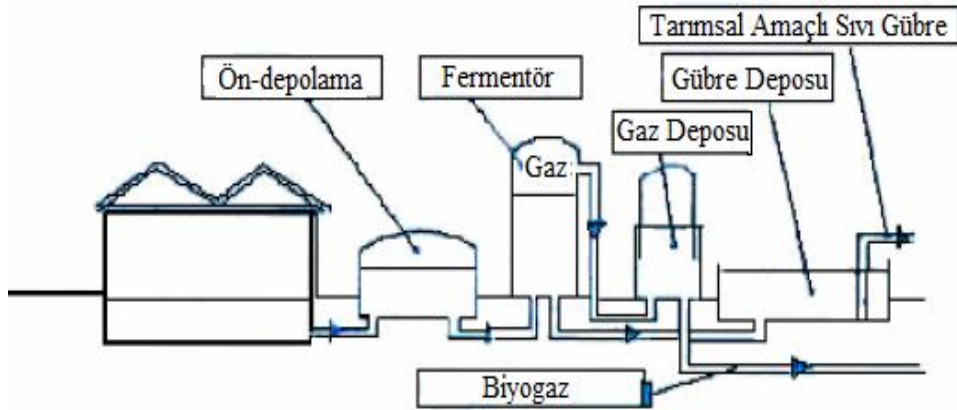
Şekil 3.5. Biyogaz Üretiminin Akış Şeması (Gülen ve Arslan, 2005)

Anaerobik (havasız) fermentasyon, fermentörün yeni materyal ile beslenme biçimine göre çeşitlenir. Bu açıdan, anaerobik fermentasyonu üç grupta incelemek mümkündür. Sürekli fermentasyon biçiminde, organik madde fermentöre her gün belirli miktarlarda verilen ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal, günlük olarak fermentörden alınır. Bu fermentasyon türünde, gaz üretimi sürekli olur. Beslemeli kesikli fermentasyonda ise, fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulur ve geri kalan hacim fermentasyon süresine bölünerek, günlük miktarlarla tamamlanır. Belirli fermentasyon süresi sonunda, fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulur. Ancak, kesikli fermentasyonda, fermentör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulur ve fermentasyon süresi sonunda, fermentör boşaltılarak yeniden doldurulur (Gülen ve Arslan, 2005).

Modern bir biyogaz tesisinde, tesis elemanları üç temel elemandan oluşur (Gülen ve Arslan, 2005). Bunlar; fermentör (organik maddenin doldurulduğu depo), gaz deposu ve gübre (organik madde) deposudur.

Fermentör (Organik Maddenin Doldurulduğu Depo): Hava almayacak şekilde, karıştırıcı yerleştirilerek tasarlanan bu deponun içerisinde, bir ısıtıcı mutlaka yer almalıdır. Ayrıca, hava almayan fermentör üzerine, organik madde giriş ve çıkış ağzı yerleştirilmelidir. Biyogazın üretilmesi için, fermentör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı, 35°C'den az olmamalıdır. Fermentör sıcaklığı azaldıkça, bakteri aktivitesi azalmakta dolayısıyla, gaz üretimi düşmektedir (Gülen ve Arslan, 2005).

Gaz Deposu: Büyük kapasiteli tesislerde oluşan biyogazı, bir yerde toplamak ve gaz basıncının sabit kalmasını sağlamak için kullanılan depo kısmıdır. Fermentör üzerinden alınan gaz, bir boru ile bu depoya taşınarak, buradan kullanıma gönderilir. Kullanım fazlası depoda kalır. Şekil 3.6'da bir biyogaz tesisi görülmektedir (Gülen ve Arslan, 2005).



Şekil 3.6. Modern Bir Biyogaz Tesisi (Gülen ve Arslan, 2005)

Gübre (Organik Madde) Deposu: Biyogaz üretiminde karbon–azot oranı önemli bir faktördür. Bu oran 20:1–30:1 arasında olabilir. Örneğin, gaz üretimi için ideal sığırgübresi 25:1 oranındadır. Organik maddenin, kuru madde içerisine kolay karışmasını sağlamak amacıyla, fermentöre alınacak başlangıç maddesi, % 8–10 arasında olmalıdır. Örneğin %10 kuru madde içeren sığırgübresinde, ideal yoğunluğu sağlamak için, gübre

içerisine bire bir oranında su karıştırmak yeterlidir. Bu madde yani bulamaç halindeki gübre fermentasyon süresi sonunda fermentörden aynı şekilde çıkacaktır. Akışkan bir bulamaç halindeki bu gübrenin depolanması için, havuz şeklinde yapılmış bir gübre deposuna ihtiyaç vardır (Gülen ve Arslan, 2005).

Biyogaz üretim sisteminde, söz konusu üç temel elemanın yanı sıra, hammadde depolama tankı, gaz boruları ve bağlantı ekipmanları, ısıtma sistemleri, pompalar, karıştırıcılar, ısı transfer elemanları, ayırma ve filtrasyon elemanları da kullanılmaktadır (Gülen ve Arslan, 2005).

Biyogaz üretiminde karıştırıcıların,

- ✓ Metan gazı oluşturan (metanojen) bakterilerin ürettiği, metabolizmanın enzimle katalizlenen reaksiyonlarında oluşan maddelerin (metabolitlerin) dağıtılması,
- ✓ Taze hammaddenin bakteri popülasyonuna homojen olarak karışması,
- ✓ Çökelmelere ve farklı bölgelerdeki dağılıma (heterojeniteye) engel olunması,
- ✓ Sıcaklık dağılımının homojen olması,
- ✓ Bakteri popülasyonlarının fermentör içinde iyice dağılması,
- ✓ Fermentör içinde, heterojen ölü bölgelerin oluşmasını engellemek şeklinde çok önemli görevleri vardır (Gülen ve Arslan, 2005).

Özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz tesislerinde, mezofilik ve termofilik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamaması, ısı transfer elemanları açısından çok büyük önem taşır (Gülen ve Arslan, 2005).

3.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Başlıca Reaktörler

Anaerobik arıtmada, ekonomik bir süreç tasarlayabilmek için, çalışma koşullarına uygun reaktörü seçmek önemlidir. Anaerobik arıtmada kullanılan başlıca reaktör türleri;

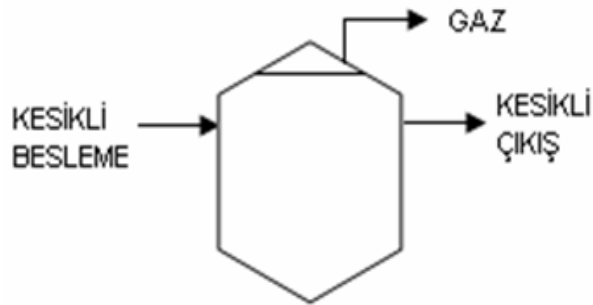
1. Kesikli Reaktör
2. Tam Karıştırmalı Reaktör
3. Havasız Temas Reaktörü
4. Piston Akımlı Reaktör
5. Anaerobik Filtre Reaktör

6. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktörü
7. Film Reaktörleri
8. İki Kademeli Havasız Arıtma Sistemleri şeklindedir (Selimoğlu, 2008).

3.6.1. Kesikli reaktör

En basit ve dünyada en yaygın olarak kullanılan anaerobik sindirim reaktörü, kesikli reaktördür. Başka bir kaynaktan veya kullanılmakta olan bir anaerobik sindirim reaktöründen alınan aşuya besleme yapılır. Gaz üretimi duruncaya veya ihmal edilebilir duruma gelinceye kadar, fermentasyona devam edilir. Bu tip üretim yaygın olarak, eve ait yerlerde veya çiftliklerde kullanılır (Ekinci, 2007).

Kesikli sindirim reaktörlerinin üstünlüğü yüksek katı yoğunluklarda çalışabilmesidir. En büyük dezavantajı ise, fermentasyon sırasında bakteri sayısındaki değişimden dolayı, oldukça kararsız çalışması ve kontrol edilememesidir. Bakteri sayısındaki bu dengesizlik, reaktörün çalışmamasına, ürün gazının içeriğinde ve miktarında değişikliklere neden olabilir (Ekinci, 2007).

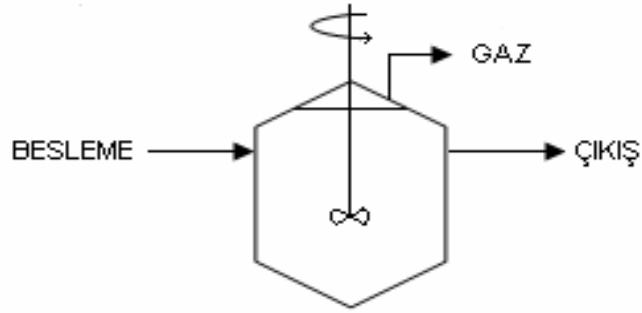


Şekil 3.7. Kesikli Reaktör (Ekinci, 2007)

3.6.2. Sürekli karıştırmalı tank reaktörü

Sürekli karıştırmalı tank reaktörü, atık su arıtma ünitelerinde genel olarak kullanılan anaerobik sindirim reaktörüdür. Reaktöre besleme verilir ve eşit hacimde atık reaktörden dışarı atılır. Bu reaktörde, katı ve sıvı alıkonulma (bekletme) süreleri

eşittir. Yükleme hızı arttıkça alıkoyulma süresi düşer, reaksiyona uğramamış katılar ve mikroorganizmalar, sürünerek reaktörden dışarı çıkar (Şekil 3.8). Başlangıçtaki hidroliz reaksiyonlarında azalma görülür ve yavaş büyüyen bakteriler de kullanılmadan atılmış olur. Yükleme hızının artması, bakteri oluşumunda dengesizliğe, uçucu asitlerin birikmesine ve reaktörün durmasına yol açabilir.



Şekil 3.8. Sürekli Karıştırılmalı Tank Reaktörü (Selimoğlu, 2008)

Bu reaktörün diğer bir dezavantajı ise, tam karıştırmanın büyük hacimlerde zor gerçekleşmesidir. Tam karıştırılmalı reaktörde karıştırma yapılarak, bakterilerin besi maddeleri ile homojen etkileşimi ve katı maddelerin askıda kalmaları sağlanır. Karıştırma yardımıyla ısıtma verimliliği artar. Reaktörün çizimsel gösterimi Şekil 3.8’de verilmiştir (Selimoğlu, 2008).

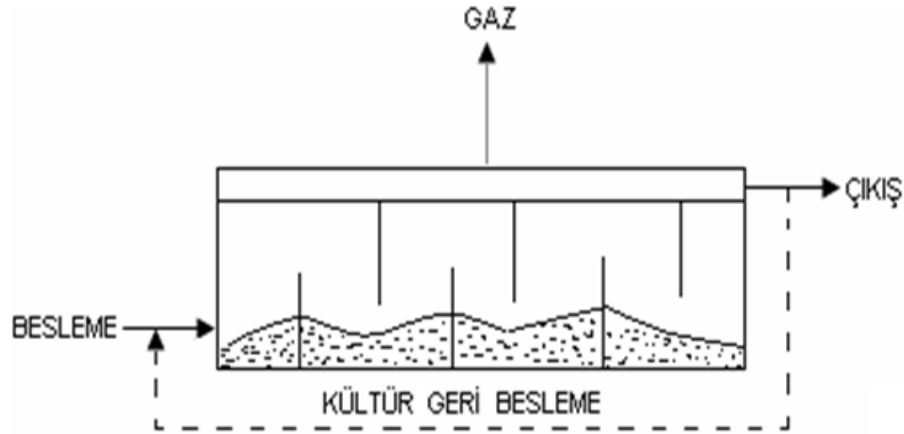
3.6.3. Havasız temas reaktörü

Havasız aktif çamur sisteminin, tam karıştırılmalı klasik reaktörden tek farkı, çöktürme tankı ve geri devir düzeni ilave edilmiş olmasıdır. Çöktürme tankı ve geri devir düzeni yardımıyla, çamur yaşı artırılarak sistemin arıtma veriminin yükseltilmesi ve hacminin azaltılması sağlanmıştır. Uygulama aşamasında, bu sistemlerde karşılaşılan en önemli sorun, anaerobik çamurların çöktürülmesindeki zorluklardır. Çöktürme verimini artırmak için vakumlu gaz ayırıcı, plakalı çökelticiler gibi sistemler kullanılmaktadır. Buna rağmen sistemde, askıda katı madde şeklindeki çamur yoğunluğunun 12000 mg/l’yi aşması halinde, çökeltmede ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Selimoğlu, 2008).

3.6.4. Pistonlu reaktör

Anaerobik (oksijensiz ortam) arıtmada kullanılan ve karıştırma elemanı olmayan bu tür bir pistonlu reaktör oldukça uzundur. Besleme, bir baştan diğer başa kadar taşınır ve buradan dışarı atılır. Gaz üretimi sırasında, az miktarda dikey karıştırma gerçekleşir. Böylece faz ayrışması da sağlanır. Mekanik karıştırmanın olmamasından dolayı, çöktürülen katıların bekletilme süresi, sıvı kısımdan daha fazladır. Çıkışa doğru metan üretimi artarken, girişte hammadde hidrolizi (suyla ayrıştırma) ve asit üretimi gerçekleşir. Ancak işletmede mevcut katı geri beslemesi veya girişteki besleme ile aşı sağlanmamış ise, mikroorganizmalar işlevini yerine getiremeden sistemden çıkabilir (Selimoğlu, 2008).

Mikroorganizmaların işlevini yerine getirmeleri için bir diğer yöntem ise, dikey setler yerleştirilerek oluşturulan ölü bölgelerde mikroorganizmaların barınmasını sağlamaktır. Reaktördeki bu setlerin, süreçteki kararlılığının artması, daha yüksek dönüşüm veriminin sağlanması ve düşük maliyet gibi üstünlükleri vardır. Pistonlu reaktörün şematik gösterimi Şekil 3.9'da verilmiştir (Selimoğlu, 2008).



Şekil 3.9. Pistonlu Reaktör (Selimoğlu, 2008)

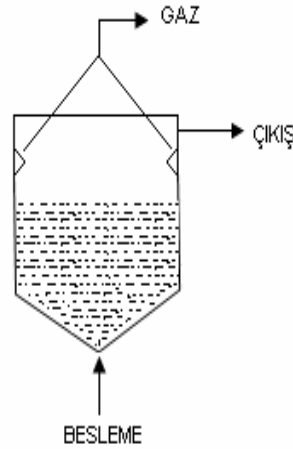
3.6.5. Anaerobik (Oksijensiz ortam) filtre reaktör

Anaerobik filtre, içerisindeki kırma taş veya plastik dolgu maddesi bulunan ve tabandan beslenen düşey akışlı bir reaktördür. Dolgu malzemesi, bakterilerin tutunması için geniş bir yüzey sağlar. Havasız filtrelerle, çok yüksek miktarlarda biyokütle

birikimi elde edilebilir. Kimyasal reaksiyonları yavaşlatan çeşitli maddeler (inhibitörler) karşısında biyokütle kaybı sınırlı olup, sistemin yeni durumlara uyumu daha kolaydır (Selimoğlu, 2008). Buna karşılık, anaerobik (hava almayan) filtrelerde, biyofilm oluşumunun zaman alması, yüksek oranda askıda katı madde içeren atıklar nedeniyle kısa sürede tıkanması ve sentetik dolgu malzemesinin pahalı oluşu gibi olumsuzluklar da dikkate alınmalıdır (Selimoğlu, 2008).

3.6.6. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörde (YAÇYR), yukarı yönde akan atık suyun, kalınlığı (yoğunluğu) çok fazla olan aktif bir çamurun içerisinden geçirilerek, suyun arıtılması süreci gerçekleşir. YAÇYR'nin şematik gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir.



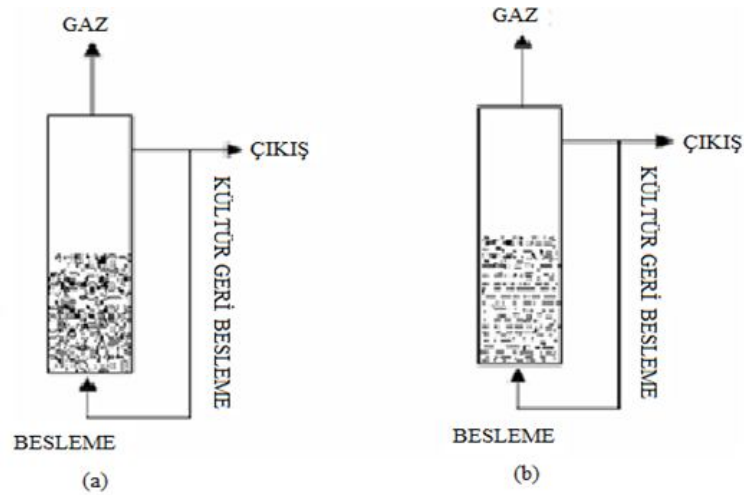
Şekil 3.10. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktör (Selimoğlu, 2008)

Bu yoğun ve granüler yapıdaki çamurun çökme özelliği çok iyidir. Bundan dolayı, reaktörün tabanında veya tabanına yakın kısımlarda bir çamur yatağı oluşur. Yoğunluğu daha az olan parçacıkların yayıldığı bu tabakaya “çamur örtüsü” veya “çamur battaniyesi” adı verilir. YAÇYR, yüksek organik yüklü atık suların arıtımında başarıyla kullanılan havasız bir sistemdir (Selimoğlu, 2008). Yukarı yönlü hidrolik akış ve oluşan gaz kabarcıklarının yukarı doğru yükselmesiyle, sistem kendiliğinden karıştırılır. Atık su, reaktörün altından girer ve tüm reaktör boyunca, yukarı doğru

ilerleyerek sistemi terk eder. Bu sırada çöken maddeler üst kısımda toplanır. Reaktörün üzerinde, gaz–katı ayırıcı düzenek vardır. Bu düzenek, sakin bir çökeltme ortamı oluşturarak çamur parçacıklarının çamur örtüsü üzerine çökmesini sağlar. Ancak, hafif parçacıklar sistemden kaçabilirler. Bu kaçıışı önlemek için, bekletme süresini yeteri kadar yüksek tutmakta yarar vardır. Hidrolik bekletme süresi düşük olsa bile, metan bakterilerinin (metan gazı oluşturan bakteriler) oluşturduğu tabaka çok daha yoğundur (Selimoğlu, 2008).

3.6.7. Film reaktörü

Genleşmiş veya akışkan yataklı ve havasız filtre reaktörleri gibi film reaktörlerin üzerinde bakterilerin tutunduğu katı bir ortam oluşur. Bu durum, bakterilerin etkinlik göstermeden reaktörden dışarı çıkmasını önler. Mikroorganizmaların kararlı bir şekilde birleşmesine yardımcı olur. Havasız filtre reaktörü; çakıl, kaya, odun kömürü veya plastik araçlarla doldurulmuş filtre yatağı içerir. Bu araçlar rastgele seçilmiş veya yönlendirilmiş olabilir. Akış aşağı veya yukarı doğru olabilir (Selimoğlu, 2008). Genleşmiş yataklı ve akışkan yataklı reaktörler Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Genleşmiş Yataklı Reaktör (Solda) ve Akışkan Yataklı Reaktör (Sağda)
(Selimoğlu, 2008)

Bu tip reaktörler, çözünebilir atıkların metan gazı oluşturan dönüşümlerinin yüksek hızda olmasını sağlar. Havasız filtre, çift fazlı sistemlerin metan fazı için

kullanılabilir. Askıda, yüksek miktarda katı parçacık içeren beslemeler, sistemi engelleyeceği için uygun değildir (Selimoğlu, 2008).

3.6.8. İki kademeli havasız arıtma sistemleri

İki kademeli havasız arıtma sistemlerinde asit ve metan üretimleri iki ayrı reaktörde gerçekleştirilir. Son yıllarda, iki kademeli sistemler tek kademelilere göre, çok daha fazla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde organik yükün %50'ye yakın oranda artırılması mümkündür. Asit reaktörünün, metan reaktörü ile aynı mekanizmaya sahip bir sistem olması gerekmez. İki kademeli havasız arıtma kullanılarak, toplam hacimde %30–40 oranında bir küçülme sağlanabilmektedir (Selimoğlu, 2008). Havasız reaktörlerin tek veya iki kademeli işletme hallerinin karşılaştırması Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tek ve İki Kademeli Sistemlerin Karşılaştırılması (Selimoğlu, 2008)

	Tek Kademeli	İki Kademeli
Yararları	Yatırım maliyeti daha düşük. İşletme ve denetim kolaylığı var.	Hızlı işletmeye alma, sürecin daha kararlı olması, yüksek verim ve katı organik maddelerde iyi parçalanma.
Mahsurları	Uzun sürede işletmeye alma. Kararsız süreç değişimine duyarlı olma.	Yüksek yatırım maliyeti, denetim zorluğu, pH denetim gerekliliği.

3.7. Biyogaz Değerlendirmesi

Hayvansal ve bitkisel organik atık maddeler, ya doğrudan doğruya yakılmakta ya da tarımda gübre olarak kullanılmaktadır. Bu tür atıkların özellikle, yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygındır. Hayvansal atıkların bu şekilde değerlendirilmesi, bu atıklardan optimum verimin alınmasını sağlayamadığı gibi, yakılmak suretiyle kül haline getirilen hayvansal atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Bir sığırdan yıllık 3,6 ton gübre elde edildiği ve biyogaz

üretiminde kullanılması durumunda, yıllık 120 m³ biyogaz ve organik gübre oluştuğu düşünüldüğünde, kaybın ne kadar büyük olduğu görülebilir (Aslanlı, 2009).

Biyogaz üretiminin temel amacı çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi elde etmektir. Ancak, en az bunun kadar önemli diğer amaçları da, organik atıkların kontrollü koşullarda depolanmasını sağlamak, arıtma etkisiyle organik atıklardan kaynaklanan koku sorununu büyük ölçüde çözmek ve tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırmaktır (Buğutekin, 2007). Genel bir perspektifle baktığımızda; biyogaz ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağı olan atık geri kazanımı sağlanan bir üretim yöntemidir (Aslanlı, 2009).

Biyogazın evsel amaçla kullanımında verim %80'e ulaşmaktadır. Bu amaçla AB ülkelerinde geliştirilmiş birçok sistem bulunmaktadır. Günümüzde biyogaz büyük oranda elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Gaz motorunun soğutma suyu üreticinin ısıtılması için kullanılarak sistemin enerji bilançosu iyileştirilmektedir. Özellikle Almanya, Danimarka, Hollanda, İsveç ve benzeri ülkelerde yaygındır (Buğutekin, 2007).

Biyogazın elektrik üretiminde genelde izlenen iki yöntem bulunmaktadır. Birincisinde işletmenin gereksinim duyduğu miktarda enerji üretilmektedir. Bu sistemde gazın depolanabileceği yeterli büyüklükte deponun bulunması gerekir. İkinci sistemde ise üretilen tüm biyogaz elektrik enerjisi için kullanılır. İşletmenin ihtiyacı dışında kalan elektrik enerjisi satılır (Buğutekin, 2007).

3.7.1. Biyogazın ısıtmada 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 şofbenlerde de biyogaz kullanım örnekleri Şekil 3.12'de verilmiştir (Öztuncay, 2009).

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 (Öztuncay, 2009).



Şekil 3.12. Biyogazın Isıtmada Kullanım Şekilleri (Öztuncay, 2009)

3.7.2. Biyogazın aydınlatmada kullanımı

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini artırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır (Öztuncay, 2009).



Şekil 3.13. Biyogazla Çalışan Aydınlatıcı (Öztuncay, 2009)

3.7.3. Biyogazın motorlarda kullanımı

Biyogaz, hem binek taşıtlarda hem de ağır vasıtalarda yakıt olarak kullanılabilir. Biyogazın motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için, biyogaz içerisindeki metan oranının %96–97'ye kadar yükseltilmesi ve içeriğindeki H_2S 'in 17 ppm'in altına düşürülmesi gerekmektedir. İçeriğinde %97 metan bulunduran 1 m³ biyogaz, yaklaşık olarak 1 litre benzine eşdeğer enerjiye sahiptir. Bazı ülkelerin biyogaz standartları Çizelge 3.4'te verilmiştir (Eyidoğan, 2008).

Çizelge 3.4. Bazı Ülkelerde Biyogazın Motorlu Taşıtlarda Kullanılabilmesi İçin Biyogazdan İstenen Özellikler (Eyidoğan, 2008).

	Fransa	İsviçre	İsveç
Alt Isıl Değer (MJ/Nm ³)	38–46	–	45.5
Çiğ Noktası Sıcaklığı (°C)	En düşük dış ortam sıcaklığından 5 °C daha düşük		
Su İçeriği (max) (mg/Nm ³)	100	5	32
Metan (min) (% hacim)	97	96	97
CO ₂ (max) (% hacim)	2	–	3
Oksijen (max) (% hacim)	3.5	0.5	1
CO ₂ + O ₂ + N ₂ (max) (% hacim)	3	3	3
H ₂ S (max) (ppm)	5	4	17

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda (Şekil 3.14) hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi, içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranda (%18–20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir (Öztuncay, 2009).



Şekil 3.14. Biyogazın Araçlarda Kullanımı (Öztuncay, 2009)

Biyogazın nitrojen oksit emisyonunun çok düşük olması nedeniyle birçok ülkede, otobüslerde ve diğer taşıma araçlarında dizel motorlara alternatif enerji kaynağı ve çevre dostu olarak bilinir. Biyogaz kullanılan motorların gürültü seviyesinin, dizel kullanılan motorların gürültü seviyesinden çok daha düşük olması, biyogazın tercih edilmesindeki en önemli avantajlardan birisidir. Ayrıca, biyogaz egzoz gazının emisyonu, dizel motorların egzoz gazının emisyonundan daha düşüktür (Buğutekin, 2007)

3.8. Biyogaz Tesislerinin Yararları ve Mahsurları

Biyogaz tesislerinin yararlarını şu şekilde sıralayabiliriz; (Sabuncu, 2010)

- ✓ Atıklar genel olarak doğal bozulmaya bırakılırlar. Böylece gerçekleşen kontrolsüz bozunma; toprak, su ve havanın büyük ölçüde kirlenmesine neden olur. Atıkları, enerji hammaddesi olarak kullanmak için biyogaz üretimi gerekir.
- ✓ Biyogaz üretimi ile doğal halde atmosfere kendiliğinden salınan ve sera gazı etkisine neden olan emisyonların azalması sağlanır. Böylece Kyoto Protokolü sera gazı emisyonları şartlarının yerine getirilmesine destek olur.
- ✓ İstenmeyen kokuların depolama alanlarından, atmosfere yayılması önlenir.
- ✓ Hammadde olarak kullanılan atıkların, normal şartlarda değerlendirilmesi için gerekli olan düzenli depolama ve bertaraf alanları ile arazi ve teknoloji maliyetleri azalır. Sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ilkeleri ile atık malzemelerden enerji elde edilir.
- ✓ Biyogaz üretimi sonucu elde edilen ısı ve elektriğin kullanımı ile fosil kaynaklı enerji ihtiyacı azalır. Isı ve elektriğin satışı ise, ekonomiyi güçlendirir.
- ✓ Biyogaz üretimi sonucu oluşan fermente atıklardan katı olanlar, arazide gübre ve toprak şartlandırıcısı şeklinde, sıvı atıklar ise sulamada kullanılabilir. Böylece, gübre ve sulama için yapılan harcamalar azalır, mineral gübre kullanımına gerek kalmaz. Yüzeysel ve yeraltı sularında oluşan nitrat kirliliği azalır. Oluşan fermente atıkların satılması halinde, maliyet azalır.
- ✓ Diğer biyolojik yöntemler ile karşılaştırıldığında, daha yüksek organik yükleme oranlarına sahip olan anaerobik arıtmada, daha az çamur oluşur.

- ✓ Tesis çıkışında fermente atıklardaki hastalık üreten organizma miktarında önemli azalma ve/veya komple işlem kaybı sağlanır.
- ✓ Atık bertarafında daha sağlıklı ve hijyenik şartlar sağlanır.
- ✓ Geri dönüşüm sektöründe uzmanlık ve iş gücünün yaratılması sağlanır.
- ✓ Atıkların değerlendirilmesiyle, bölgenin/şehrin görüntüsü ve prestiji değişir.
 - ✓ Tarlalarda kullanılabilen küçük ölçekli biyogaz tesisleri ile yeterli verimi alamayan ve kâr elde edemeyen çiftçilere, biyogaz üretimiyle ek gelir sağlanır.
 - ✓ Tarlalar, ortak biyogaz tesisleri ile büyük ölçekli işletmeler haline gelebilir.

Yukarıda tanımlanan pek çok avantajın yanı sıra, biyogaz tesislerinin bazı dezavantajları da söz konusudur (Sabuncu, 2010). Bunlar sırasıyla,

- ✓ Tesis işletimi sırasında oluşan biyogaz, yanıcı ve patlayıcıdır. Sistem işletim şartlarının çok dikkatli seçilmesi ve kontrolünün düzenli yapılması gerekir.
- ✓ Atıklarda bulunması muhtemel, hastalık üreten (patojen) bakteriler nedeniyle, atıkların taşınma ve depolanma süresince hijyen koşullarına dikkat edilmelidir.
- ✓ Seçilen atık türüne göre, su tüketimi fazla olabilir.
- ✓ Fermantasyon sonrası oluşan çürütülmüş atığın, gübre olarak kullanılması durumunda, su ve toprakta kirliliğe neden olmaması için, azot içeriğine dikkat edilmelidir.
- ✓ Görsel kirliliğe ve gürültü kirliliğine neden olmamak için, tesisin tasarım ve işletimi, uygun şekilde ve doğru ekipmanlar kullanılarak yapılmalıdır.
- ✓ Biyogaz tesislerinin ilk yatırım maliyetleri ve atıkların depolama alanlarından uzaklaştırılması işlemi için gerekli maliyet, bazı bölgeler ve atık türleri için daha yüksek olabilir. Bu nedenle, tesiste kullanılacak atık türü ve yer seçimi uygun şekilde yapılmalıdır.
- ✓ Biyogaz tesislerinin tasarımı ve işletimi için teknik bilgi gereklidir.
- ✓ Biyogaz tesislerinin kontrolü zorunludur.
- ✓ Özellikle çiftlik ölçekli biyogaz tesislerinde ek maliyet ve iş gücü gereklidir.

3.9. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Üretim Potansiyeli

3.9.1. Dünyada biyogaz üretim potansiyeli

Varlığının bilinmesi ve kullanılması milattan öncesine dayanan biyogaz teknolojisi, en eski teknolojilerden birisidir. Biyogaz, Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında sıcak su temininde kullanılmaya başlamıştır. M.S. 23–79 yılları arasında yaşayan Plinius, bataklıkların üzerinde titreyerek yanan alevlerden bahsetmektedir. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont, yanıcı gazların organik maddelerin bozunmasıyla ortaya çıktığını açıklamıştır. 1682 yılında Robert Boyle, hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesiyle gaz üretimi olduğunu belirtmiştir. Kont Alessandro Volta 1776’da, bozunan organik madde miktarı ile üretilen yanıcı gaz miktarı arasında bir ilişki olduğunu ifade etmiştir. Sir Humphry Davy 1808’de, büyükbaş hayvan atığının anaerobik fermentasyonu ile metan üretimini ispatlamıştır. İlk modern biyogaz sistemi 1859’da Bombay’da işletilmeye başlamış ve 1895’de İngiltere’de atık su arıtma sistemlerinden elde edilen biyogaz, sokakların ışıklandırılmasında kullanılmıştır (Güç, 2010).

Biyogaz teknolojisinin 1930’lu yıllardaki gelişimi, bu teknolojinin mikrobiyolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Buswell ve arkadaşları (1930), biyogaz üretiminin artışında etkili anaerobik bakteriler ve bu bakterilerin uygun yaşam şartlarını belirlemişlerdir. Önceleri biyogaz üretiminde anaerobik havuzlar kullanılırken, 1920’li yıllardan sonra, verimde artış sağlayan düzenekler üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Biyogaz sistemine kapalı tanklar, karıştırıcı paletler ve bakterilere uygun sıcaklığı oluşturmak için ısıtma sistemleri eklenmiştir. 2. Dünya Savaşı döneminde vergilerin artması ve savaş hali gibi sebeplerden dolayı, biyogaz sistemleri unutulmaya yüz tutmuştur. Bu dönemlerde gelişmiş ülkelerin yüz çevirmesine karşın, gelişmekte olan Çin ve Hindistan gibi ülkelerde, biyogaz tesislerinin sayısında önemli artışlar olmuştur (Güç, 2010).

Nüfusun %70–80’i kırsal kesimde yaşayan bu ülkelerde, bölgesel enerji ihtiyacının karşılanmasında biyogaz, önemli bir kaynak oluşturmuştur. Büyükbaş hayvan atıklarının temel hammadde olarak kullanıldığı küçük ölçekli biyogaz sistemleri, özellikle yemek pişirme için gerekli gazın temin edilmesinde (Şekil 3.15) kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Güney Hindistan'da İşletilen 1m³'lük Bir Biyogaz Sistemi (Güç, 2010)

1980'li yıllarda Hindistan'da, "Ulusal Biyogaz Kalkınma Programı" ile kurulan biyogaz sisteminin sayısı, 2,7 milyonu bulmuştur. Ancak bu sistemlerin ilkel yöntemlerle işletilmesi ve bakımsızlık gibi sebeplerden dolayı, yarısına yakını verimli çalışmamıştır (Güç, 2010).



Şekil 3.16. İlkel Yöntemle İşletilen Biyogaz Sistemi (Güç, 2010)

Avrupa'nın kuzey ve batı bölgelerinde tesis sayısı ve yapılan yatırımlar doğu ve güney bölgelerine oranla daha fazladır. Birçok ülkede devlet, biyogaz tesisleri için düşük faizli kredi desteği sağlamak ve vergi oranlarının düşürülmesinde ciddi çalışmalar yaparak teşvik paketleri sunmaktadır. Yapılan bu iyileştirmeler, bölgesel enerji ihtiyacının karşılanmasında, uzun vadede devletin yükünü hafifletmekte ve üretilen fazla enerjinin şebekeye aktarılarak üreticinin gelir elde etmesini sağlamaktadır (Güç, 2010). Almanya'da yenilenebilir enerjiler için düzenlenen yatırım teşvik sistemi sayesinde, birçok biyogaz tesisleri (Şekil 3.19) kurulmuştur.



Şekil 3.19. Almanya'da Bir Biyogaz Tesisi (www.biyogaz.web.tr)

“Avrupa Birliği Biyoyakıtlar Raporu’na göre, 2006 yılında AB ülkelerinde üretilen toplam biyogaz miktarı yaklaşık 4898,9 Ktep (16.973 GWs)’dir. Bu miktar 2007 yılında 5903,5 Ktep (19.944 GWs) olmuştur (Çizelge 3.5). Yatırımcıların ürettikleri fazla enerjiyi, şebekeye satma avantajı da sunan bu tesislerin tercih edilme oranı her geçen gün daha da artmaktadır. Üretilen biyogaz, şebekeye elektrik enerjisi olarak ya da doğalgaz şirketlerine gaz şeklinde satılabilmektedir (Güç, 2010).

Çizelge 3.5. Avrupa Birliği Ülkelerinin 2004–2007 Yılları Arasındaki Biyogaz Üretim Miktarları Kilogram Ton Eşdeğer Petrol (Ktep), (EurObserv'ER, 2008) (Güç, 2010)

ÜLKELER	2004	2005	2006	2007
Almanya	1294,7	1594,4	1665,3	2383,1
İngiltere	1504	1600	1498,5	1624,2
İtalya	335,7	376,5	383,2	406,2
İspanya	295,1	316,9	319,7	329,9
Fransa	207	209	298,1	309,2
Hollanda	149,8	140,1	141,1	174
Avusturya	45,4	45,4	118,1	139,1
Danimarka	89,3	92,3	92,9	97,9
Belçika	73,8	73,8	77,6	78,6
Çek Cumhuriyeti	50,2	55,8	63,4	78,5
Polonya	45,4	50,7	62,4	62,6
Yunanistan	36	36	29,8	47,8
Finlandiya	26,5	26,5	36,4	36,7
İrlanda	29,9	34,8	32,3	33,5
İsveç	35,3	29,8	27,2	27,2
Macaristan	3,5	3,8	12,2	20,2
Portekiz			9,2	15,4
Slovenya	6,6	6,18	8,4	11,9
Lüksemburg	5	6,7	9,2	10
Slovakya	5,9	5,9	7,6	8,6
Estonya			4,2	4,2
Litvanya			2	4,5
Kıbrıs			0	0,2
TOPLAM	4238,1	4704,58	4898,9	5903,5

Almanya’da sadece hayvan atığı ile işletilen tesis sayısı 2200 civarındadır. Bu sayı, Avrupa ülkeleri içerisindeki en yüksek orandır. Almanya’yı 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya’da hayvan atığı kullanılan biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve 139 tesisten 2200 tesise kadar çıkmıştır (Güç, 2010).

3.9.2. Türkiye’de biyogaz üretim potansiyeli

Türkiye, biyogaz ile ilgili ilk çalışmalara 1957 yılında, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü ile başlamıştır. 1960’lı yıllarda biyogazla ilgili çalışmalar yoğunlaşmış ve bazı Devlet Üretim Çiftlikleri’nde pilot tesisler kurulmuştur. 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, 5 adedi Eskişehir Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü’nde, 2 adedi Eskişehir’in köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere, toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 sonrasında, teknik bilgi ve finans yönünden UNICEF’in desteklediği, DPT tarafından yürütülen çalışmalar başlatılmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı gibi kurumlar yanında MTA, TOPRAK–SU gibi kuruluşlar da bu çalışmalara katılmışlardır. Doğu illerinden başlayarak, biyogaz tesislerini kırsal kesimde yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmalar ilk olarak, Muş–Alpaslan Devlet Üretim Çiftliği’nde 35 m³’lük bir tesisin kurulmasıyla başlatılmıştır. Çeşitli Devlet Üretim Çiftlikleri’nde, farklı iklim koşullarında, pilot tesisler kurularak test edilmiştir. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk, TOPRAK–SU işletimine verilmiş, devletin köylülere sağladığı 1600 USD limitli, 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m boyutlarında biyogaz sistemleri kurulmuştur. 1984–1987 yılları arasında Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü tarafından, Ankara ve Erzurum’da da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Ancak, projeler arasında iletişim kopukluğu ve yetişmiş personel eksikliğinden dolayı iyi sonuçlar alınamamıştır (Güç, 2010).

Enerji ihtiyacının artması ile birlikte konvansiyonel enerji maliyetindeki artışlara paralel olarak, biyogaz teknolojisine olan ilgi yeniden artmıştır. Kentsel atık su arıtma tesis projelerinde, tesiste oluşacak arıtma çamurunun anaerobik şartlandırmasına yönelik, biyogaz üretim sistemleri de projeye dâhil edilmektedir. Böylece, üretilen biyogaz enerjisi, tesis için gerekli enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü

karşılatabilmekte ve dışa bağımlılığın azalmasında önemli rol oynamaktadır (Güç, 2010).

2000’li yıllarda özellikle AR–GE çalışmaları kapsamında biyogaz yeniden cazip bir araştırma alanı haline gelmiştir. Buna paralel olarak, biyogaz ile ilgili önemli araştırma ve yatırımlar yapılarak, başarılı ve verimli sistemler oluşturulmuştur. Biyogaz sistemlerinin ekonomik, verimli ve başarılı bir şekilde işletilmesinde, Üniversite–Sanayi işbirliğinin önemli rolü vardır. Konu ile ilgili, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü ile ÖR–KOOP (Nazilli ve Çevresi Tarımsal Kalkınma Kooperatifi) arasında yapılan bir protokol dâhilinde, Aydın’ a bağlı Kuyucak ilçesinin Pamukören Beldesi’nde bulunan, yaklaşık 70 büyükbaş hayvana sahip bir çiftlikte 50 m³ kapasiteli (Şekil 3.20) bir biyogaz sistemi kurulmuştur. Bu sistemde 60 kW gücünde bir kojenerasyon ünitesi işletilmektedir. TÜBİTAK–MAM ve üniversiteler gibi teknik donanımına sahip kurum ve kuruluşların öncülüğünde, büyük yatırımlar yapılarak büyük hacimli biyogaz sistemleri kurulmuştur. Ayrıca, bu sistemlerin yüksek verimde işletilebilmesi için, fiziksel, biyokimyasal ve mekanik gelişmeler üzerine, önemli çalışmalar yapılmaktadır (Güç, 2010).



Şekil 3.20. Aydın’ın Pamukören Beldesi’nde İşletilen 50 m³ Kapasiteli Biyogaz Sistemi (Güç, 2010)

21 Ocak 2004 tarihinde, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kurumunda, biyogazın ülkemizdeki durumu ve geleceği hakkında değerlendirmeler yapılmış, atılması gereken adımlar tartışılmıştır. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı ile Çevre ve Orman Bakanlığı gibi enerji ve çevre konularında yetkili bakanlıklar tarafından, biyogazın enerji temininde kullanılması ve çevrenin korunması açısından önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır (Güç, 2010).

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, TÜBİTAK–MAM ve araştırmacı kurum olarak dört üniversite tarafından 2007’de başlatılan “Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemlerinde Kullanımı” projesi çerçevesinde İZAYDAŞ sahasında biyogaz ve enerji üretim tesisi kurulmuştur. Şekil 3.21’de gösterilen Kocaeli–İzaydaş biyogaz üretim tesisinde fermantasyonun yapıldığı 2 adet 19,5 m çapında 8 m yüksekliğinde her biri 2400 m³ hacimli iki adet betonarme reaktör ve bir adet 1000 m³’lük gübre deposu bulunmaktadır.

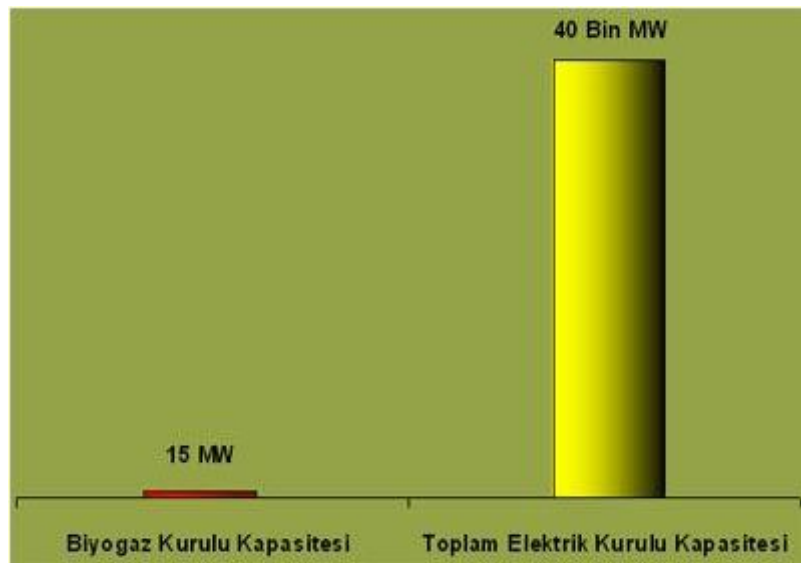


Şekil 3.21. Kocaeli İzaydaş Biyogaz Üretim Tesisi (<http://biyogaz.mam.gov.tr/>)

İzaydaş Biyogaz Tesisi'nde çim, hal atığı, işkembe içi atığı, tavuk ve büyükbaş gübresi kullanılarak anaerobik çürütme sonucu biyogaz elde edilecek ve gaz motoru ile elektrik enerjisine dönüştürülecektir.

2002 yılından itibaren yerel yönetimler de bu konuya ilgi duymaya başlamışlardır. Türkiye'de biyogaz tesislerinin kurulması için uluslararası firmaların da ilgisi yüksektir. Yapılan çeşitli değerlendirmelerde, Türkiye biyogaz potansiyeli 2,5–4,0 milyar m³ (yaklaşık 25 milyon kWh) olarak belirtilmiştir (Güç, 2010).

Türkiye'de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji elde etmeye yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir Belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamıştır (Yıldız vd., 2009). Türkiye'de 2007 yılı itibariyle, esas olarak kendi elektrik enerji ihtiyacını karşılamak üzere, elektrik üreticisiyle yani, devletle birlikte çalışarak (otoprodüktör) gerçekleştirilen ve yapımı tamamlanan biyokütle ve atık yakıt kaynaklı, bileşik ısı ve güç üretim (kojenerasyon) tesisleri kurulmuştur. Söz konusu tesisler, 4 MW gücünde (7 GWh/yıl kapasiteli) Kemberburgaz (İstanbul) çöp gazı santrali, 5,2 MW gücünde (37 GWh/yıl kapasiteli) Köseköy (İzmit) çöp gazı santrali, 0,8 MW gücünde (6 GWh/yıl kapasiteli) Adana çöp gazı santrali ve 3,2 MW gücünde (22 GWh/yıl kapasiteli) Belka (Ankara) çöp gazı santralidir (Yıldız vd., 2009).



Şekil 3.22. Türkiye'de Elektrik Enerjisi ve Biyogaz Kurulu Kapasite Karşılaştırması (Güç, 2010)

Türkiye biyogaz potansiyeli açısından önemli bir kaynağa sahip olmasına rağmen, henüz bu kaynağın kullanım miktarı istenilen düzeyde değildir. Ülkemizde kurulu elektrik kapasitesi 40 bin MW iken, biyogazdan üretilen elektrik miktarının sadece 15 MW olduğu Şekil 3.22'de verilmiştir (Güç, 2010). Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi verilen Çizelge 3.6'da 1991–2003 ve 2007–2009 yılları arasında, büyükbaş hayvan sayısının toplamda azaldığı, 2004–2007 arasında biraz arttığı, 2010 yılında ise, genel bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.6. Türkiye'deki Büyükbaş Hayvan Sayısının Yıllara Göre Değişimi (TÜİK, 2011) (www.tuik.gov.tr)

Yıllar	Sığır–Kültür	Sığır–Melez	Sığır–Yerli	Manda	TOPLAM
1991	1253865	4033375	6685683	366150	12339073
1992	1337410	4131507	6481990	352410	12303317
1993	1442000	4342000	6126000	316000	12226000
1994	1512000	4543000	5846000	305000	12206000
1995	1702000	4776000	5311000	255000	12044000
1996	1795000	4909000	5182000	235000	12121000
1997	1715000	4690000	4780000	194000	11379000
1998	1733000	4695000	4603000	176000	11207000
1999	1782000	4826000	4446000	165000	11219000
2000	1806000	4738000	4217000	146000	10907000
2001	1854000	4620000	4074000	138000	10686000
2002	1859786	4357549	3586163	121077	9924575
2003	1940506	4284890	3562706	113356	9901458
2004	2109393	4395090	3564863	103900	10173246
2005	2354957	4537998	3633485	104965	10631405
2006	2771818	4694197	3405349	100516	10971880
2007	3295678	4465350	3275725	84705	11121458
2008	3554585	4454647	2850710	86297	10946239
2009	3723583	4406041	2594334	87207	10811165
2010	4197890	4707188	2464722	84726	11454526

2010 yılı sonunda, bir önceki yıla göre %5,9 artış gösteren toplam büyükbaş hayvan sayısı 11454526'ya ulaşmıştır. Burada, kültür ırkı hayvanlarının yıllara göre artış gösterirken, yerli ırkların azaldığı görülmektedir. Çizelge 3.7'de, yerli koyun ve keçi sayısı bakımından yıllara göre, ciddi bir azalma görülmekte ve acil önlemler alınmaması durumunda, bu azalmanın artarak devam edeceği tahmin edilmektedir (Karakuş, 2011).

Çizelge 3.7. Türkiye'deki Büyükbaş Hayvan Sayısının Yıllara Göre Değişimi (TÜİK, 2011) (www.tuik.gov.tr)

Yıllar	Koyun-Yerli	Koyun-Merinos	Keçi-Kıl	Keçi-Tiftik
1991	39590493	841847	9579256	1184942
1992	38575828	840110	9439600	1014340
1993	36709000	832000	9192000	941000
1994	34823000	823000	8767000	797000
1995	32985000	806000	8397000	714000
1996	32234000	838000	8242000	709000
1997	29376000	862000	7761000	615000
1998	28560000	875000	7523000	534000
1999	29425000	831000	7284000	490000
2000	27719000	773000	6828000	373000
2001	26213000	759000	6676000	346000
2002	24473826	699880	6519332	260762
2003	24689169	742370	6516088	255587
2004	24438459	762696	6379900	230037
2005	24551972	752353	6284498	232966
2006	24801481	815431	6433744	209550
2007	24491211	971082	6095292	191066
2008	22955941	1018650	5435393	158168
2009	20721925	1027583	4981299	146986
2010	22003299	1086392	6140627	152606

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilen bu çalışmada, Eskişehir ilinin büyükbaş hayvan potansiyeli dikkate alınarak, biyogaz üretim olanakları araştırılmış ve maliyet analizi yapılmıştır. Eskişehir ilinin biyogaz üretim potansiyelini hesaplamak için, öncelikle il genelinde büyükbaş hayvan sayısı belirlenmiştir. Eskişehir ili kapsamında büyükbaş hayvansal atık potansiyeli için Alpu, Beylikova, Çifteler, Günyüzü, Mihaliççık, Sivrihisar, Seyitgazi, Odunpazarı, Tepebaşı, İnönü, Mahmudiye, Sarıcakaya ilçelerindeki büyükbaş hayvan sayılarının toplamı referans alınmıştır.

4.1. Eskişehir İli Tanıtımı

4.1.1. Eskişehir'in coğrafi konumu

13.652 km² yüzölçümüne sahip Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında, 29–32 derece doğu boylamı ile 39–40 derece kuzey enlemleri arasında yer almaktadır.



Şekil 4.1. Eskişehir İl Haritası (<http://www.eskisehir.gov.tr/>)

Kuzeyinde Bolu, doğusunda Ankara, güneyinde Konya ve Afyonkarahisar, batısında Kütahya ve Bilecik illeri bulunmaktadır (Okcu vd., 2010). Eskişehir'in Türkiye'deki konumu ve komşu olduğu çevre il ve ilçeler Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.1.2. Eskişehir'in genel tanıtımı

Ortasından Porsuk Çayı geçen, bünyesinde Eskişehir Osmangazi ve Anadolu Üniversitesi olmak üzere, iki üniversite birden barındıran Eskişehir, tam anlamıyla bir öğrenci kentidir.

Eskişehir'in ilçelerinden Odunpazarı 365764, Tepebaşı 296704, Alpu 12757, Beylikova 6557, Çifteler 16392, Günyüzü 6716, Han 2187, İnönü 7230, Mahmudiye 8654, Mihalgazi 3699, Mihalicçık 10028, Sarıcakaya 5353, Seyitgazi 15783, Sivrihisar 23423 kişilik nüfusa sahip olduğu, TÜİK 2011 yılı verilerine göre belirlenmiştir. Buradan, Eskişehir ili toplam nüfusu 781247'dir (www.tuik.gov.tr).



Şekil 4.2. Lületaşından Ürünler (<http://www.odunpazari.bel.tr>)

Eskişehir, met helvası, nuga helvası, haşhaşlı çöreği, kalabak suyu, çiböreği ve lületaşı ile meşhurdur. Şekil 4.2'de verilen işlenebilir lületaşı, Türkiye'de sadece Eskişehir'de çıkarıldığı için Eskişehir taşı olarak da bilinir.

Tarihinde pek çok medeniyeti barındıran Eskişehir gelişen şehircilik anlayışı ve uygulamalarının yanı sıra iki üniversitesi, kültürel alt yapısı ile sanat yapıları, havacılık merkezi, planlı sanayisi, yer altı zenginlikleri ve sosyal yaşam seçenekleriyle kenti gelişmiş Avrupa kentleri seviyesine yaklaştırmıştır (<http://www.eskisehir-bld.gov.tr>).

Bölge, bor madeni (Şekil 4.3) yönünden de önemli rezervlere sahip olup, Kırka'da bulunan Tinkal madeni, işlenerek %33 oranında Borik Oksid (B₂O₃) elde edilmektedir. Perlit, Manyezit, Kalsedon, Krom, Toryum ve Torit, Eskişehir'de bulunan diğer önemli madenlerdir.



Şekil 4.3. Boraks Kristali (<http://www.mam.gov.tr/>)

Eskişehir, yerleşim yeri olarak, sıcak su kaynaklarının tam üzerinde bulunmaktadır. Şehir merkezinde, "Sıcak Sular" olarak isimlendiren bölgede, doğal termal kaynaklar bulunmakta, çok sayıda hamam hizmet vermektedir. Eskişehir'de geçmiş yüzyıllardan, günümüze kadar çok değişik uygarlıklar varlığını sürdürmüştür. Seyitgazi Yakınlarında Frigler Döneminden Kalma Yazılıkaya Anıtı (Şekil 4.4) çok sayıda turistini ilgisini çekmektedir. Üzerinde kurulmuş olan medeniyetlerden bazıları; Frigya, Bizans, Anadolu Selçukluları ve Osmanlı İmparatorluğu'dur.

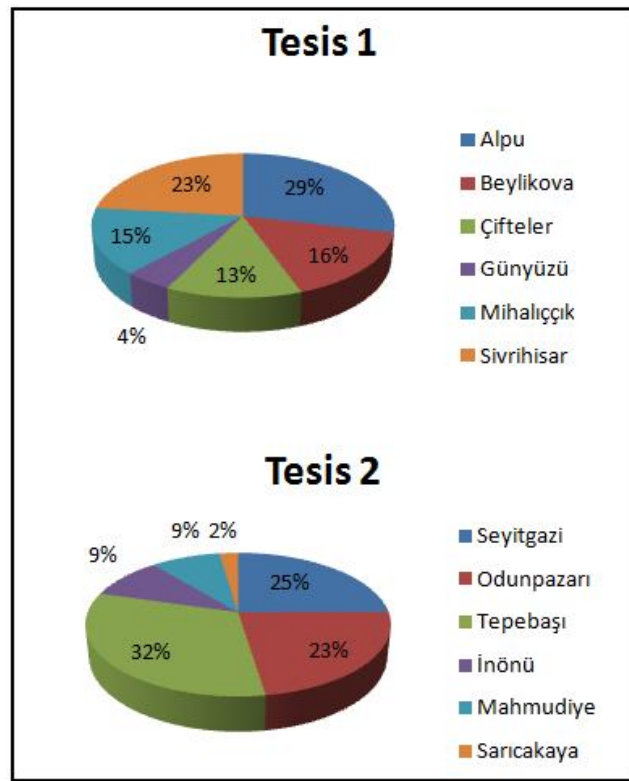


Şekil 4.4. Seyitgazi Yakınlarında Frigler Döneminden Kalma Yazılıkaya Anıtı

(<http://www.eskisehir-bld.gov.tr>)

4.2. Eskişehir İli Biyogaz Potansiyeli

Eskişehir ilinin biyogaz potansiyelini belirlemek için öncelikle Eskişehir İli genelinde büyükbaş hayvan sayısı belirlenmiştir. Eskişehir Tarım İl Müdürlüğü verilerine göre, Eskişehir ilindeki Tesis 1 (Alpu Merkezli) ve Tesis 2’de (Seyitgazi Merkezli) büyükbaş hayvan sayısının ilçelere göre yüzdelik dağılımı, Şekil 4.5’de gösterilmiştir (Ergür ve Okumuş, 2010).



Şekil 4.5. Eskişehir İlinde Tesis 1 (Alpu Merkezli) ve Tesis 2’deki (Seyitgazi Merkezli) Büyükbaş Hayvan Yüzdesi (Ergür ve Okumuş, 2010)

2009 yılı Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Eskişehir Tarım İl Müdürlüğü verileri kullanılarak, Eskişehir iline bağlı ilçelerdeki büyükbaş hayvan sayısının 118937 adet olduğu Çizelge 4.1’de verilmiştir. Eskişehir’in ilçelerinin dağılımı dikkate alındığında, taşıma maliyetlerinin azaltılması ve daha ucuz biyogaz elde etmek için, bu ilçeleri iki basamakta toplamak daha ekonomik olacaktır.

Çizelge 4.1. Eskişehir İlçelerinde Büyükbaş Hayvan Sayıları (Ergür ve Okumuş, 2010)

Tesis 1				
Büyükbaş				
İlçe Adı	Sığır	Buzağı	Manda	Toplam
Alpu	10589	5293	5	15887
Beylikova	6019	2724	0	8743
Çifteler	5580	1537	0	7117
Günyüzü	1459	1056	0	2515
Mihalıççık	5888	2382	0	8270
Sivrihisar	8617	4236	0	12853
Ara Toplam	38152	17228	5	55385
Tesis 2				
Büyükbaş				
İlçe Adı	Sığır	Buzağı	Manda	Toplam
Seyitgazi	13920	1872	12	15804
Odunpazarı	10246	4106	66	14418
Tepebaşı	13471	6787	47	20305
İnönü	4080	1800	120	6000
Mahmudiye	4860	672	0	5532
Sarıcakaya	976	517	0	1493
Ara Toplam	47553	15754	245	63552
Genel Toplam	85705	32982	250	118937

Burada oluşturulan tesislerde, Eskişehir il sınırları içerisindeki bölgesel yoğunluk referans alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Seyitgazi ve Alpu ilçelerinde oluşturulan her iki tesis, Eskişehir ilinin tamamı açısından düşünüldüğünde, en uygun çözüm olarak değerlendirilebilir (Ergür ve Okumuş, 2010).

Hayvansal atıklarla ilgili istatistikler

- Büyükbaş hayvanlardan 5,47 ton/yıl gübre,
- 1 ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m³ biyogaz,
- 1 m³ biyogazdan 4,7 kWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Ergür ve Okumuş, 2010).

Eskişehir ili için yapılan hesaplamalarda,

Büyükbaş hayvanlardan elde edilen gübre;

$$(118937 \times 5,47) = 650585,39 \text{ (ton/yıl) olacaktır.}$$

Ayrıca, üretilecek biyogaz miktarı;

$$(650585,39) \times (33) = 21469317,87 \text{ (m}^3\text{/yıl) olacaktır.}$$

Elde edilen biyogazın tümünü elektrik enerjisine dönüştürdüğümüzde, üretilen elektrik enerjisi;

$$(21469317,87) \times (4,7) = 100905793,98 \text{ (kWh/yıl) olacaktır.}$$

Eskişehir ilçelerinde Tesis 1 ve Tesis 2 için toplam büyükbaş hayvan sayısı 118937 olarak bulunmuştur. Büyükbaş hayvanlardan 5,47 ton/yıl gübre elde edildiği varsayımı yapılarak, Eskişehir İli için yıllık toplam elde edilebilecek gübre miktarı 650585,39 ton/yıl olarak bulunmuştur. Yine 1 ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m³ biyogaz elde edildiği varsayımı ile Eskişehir İli'nde üretilebilecek biyogaz miktarının 21469317,87 m³/yıl olacağı görülmüştür.

Çizelge 4.2'de Eskişehir İli için elde edilebilecek yıllık gübre miktarları ve yıllık biyogaz miktarı verilmiştir.

Çizelge 4.2. Eskişehir İli İçin Elde Edilecek Yıllık Gübre ve Biyogaz Miktarları

İlçe Adı	Hayvan Sayısı	Elde Edilen Gübre (ton/yıl)	Elde Edilen Biyogaz (m ³ /yıl)
Tesis 1			
Alpu	15887	86901,89	2867762,37
Beylikova	8743	47824,21	1578198,93
Çifteler	7117	38929,99	1284689,67
Günyüzü	2515	13757,05	453982,65
Mihalıççık	8270	45236,90	1492817,70
Sivrihisar	12853	70305,91	2320095,03
Ara Toplam	55385	302955,95	9997546,35
Tesis 2			
Seyitgazi	15804	86447,88	2852780,04
Odunpazarı	14418	78866,46	2602593,18
Tepebaşı	20305	111068,35	3665255,55
İnönü	6000	32820,00	1083060,00
Mahmudiye	5532	30260,04	998581,32
Sarıcakaya	1493	8166,71	269501,43
Ara Toplam	63552	347629,44	11471771,52
Genel Toplam	118937	650585,39	21469317,87

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Eskişehir İli Hayvan Potansiyelinin Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Eşdeğeri

1m³ biyogazın elektrik enerjisi cinsinden değeri 4,70 kWh enerjidir (Ergür ve Okumuş, 2010).

Çizelge 5.1. Eskişehir İli Hayvan Potansiyelinin Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Eşdeğeri

	Üretilen Biyogaz (m ³ /yıl)	Üretilen Enerji (kWh)
Tesis 1 (İlçe Adı)		
Alpu	2867762,37	1538,64
Beylikova	1578198,93	846,75
Çifteler	1284689,67	689,27
Günyüzü	453982,65	243,58
Mihalıççık	1492817,70	800,94
Sivrihisar	2320095,03	1244,79
Ara Toplam	9997546,35	5363,98
Tesis 2 (İlçe Adı)		
Seyitgazi	2852780,04	1530,60
Odunpazarı	2602593,18	1396,37
Tepebaşı	3665255,55	1966,52
İnönü	1083060,00	581,09
Mahmudiye	998581,32	535,77
Sarıcakaya	269501,43	144,59
Ara Toplam	11471771,52	6154,95
Genel Toplam	21469317,87	11518,93

4 kişilik bir ailenin asgari yaşam standardına göre, 230 kWh aylık enerji tüketimi olduğu kabul edilmiştir (EMO İstanbul Şubesi Haber Bülteni, 2009). Dolayısıyla 4 kişilik bir ailenin saatteki enerji tüketimi; 0,3194 kWh olacaktır.

Eskişehir ili hayvan potansiyeli göz önüne alınarak yapılan bu çalışmada, Tesis 1 ve Tesis 2'den elde edilen toplam biyogaz 21469317,87 m³/yıldır. Bu değer aynı zamanda 2450,84 m³/saat biyogaza eşittir. 1m³ biyogazın elektrik enerjisi cinsinden değerini 4,70 kWh/m³ enerji aldığımızda, biyogazdan üretilen enerji 11518,93 kWh olacaktır.

4 kişilik bir ailenin saatteki enerji tüketimi; 0,3194 kWh olarak kabul edilmiştir. Böylece, Eskişehir ilinde saatte üretilen 11518, 93 kWh'lik enerjiden 4 kişilik 36064 hanenin elektrik enerjisi karşılanabilecektir.

1kg LPG için üst kalorifik değer, 11800 kcal/kg'dır. Ayrıca, 1m³ biogaz 4700 kcal/m³ olduğu için 2,5 m³ biyogaz 1 kg LPG eşdeğerinde enerji üretmektedir (www.eie.gov.tr). LPG ile tüp gazın enerjileri birbirine eşit kabul edildiğinde, (<http://www.tarimsal.com/>) Tesis 1 ve Tesis 2'den elde edilen toplam 21469317,87 m³/yıl biyogaz, 8587727,15 kg LPG/yıl biyogaza eşit olacaktır. Elde edilen 8587727,15 kg LPG/yıl biyogazın tamamıyla 12 kg'lık tüp gaz doldurmak istenirse, yılda yaklaşık 715643 adet tüp gaz/yıl elde edilmiş olacaktır.

Tarımsal ürünlerin biyogaz üretiminde kullanılmasıyla yılda yaklaşık 715643 adet büyük tüp gaz (12 kilogramlık) üretilmiş olacaktır. Dolayısıyla Eskişehir ilinin yıllık 715643 adet büyük tüp gaz ihtiyacı biyogazdan karşılanabilecektir.

5.2. Eskişehir İli Kişi Başı Toplam Günlük Gaz İhtiyacı

Tesis civarındaki ilçelerin nüfus yoğunluğuna bakılarak günlük harcanan gaz miktarı 816009,55 m³/gün olarak görülmektedir. Bu hesaplamada kişi başı günlük gaz ihtiyacı 1,107 m³/gün olarak alınmıştır (Ergür ve Okumuş, 2010). Çizelge 5.2'de Eskişehir ilindeki kişi başı toplam günlük gaz ihtiyacı verilmiştir.

Eskişehir ili için Tesis 1 ve Tesis 2'den elde edilen yıllık biyogaz miktarı 21469317,87 m³/yıl biyogaz olup, bu değer 58820,05 m³/gün biyogaza eşittir. Eskişehir

ilindeki tesislerden günlük elde edilebilecek biyogaz miktarı 58820,05 m³/gün biyogaz olup, bu değer Eskişehir ilinde günlük harcanan gaz miktarı 816009,55 m³/günün %7,2'sine tekabül etmektedir. Bu değer ise tesislerden elde edilen biyogazın Eskişehir ilinin günlük gaz ihtiyacının %7,2'sini karşılayabileceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 5.2. Eskişehir İlindeki Kişi Başı Toplam Günlük Gaz İhtiyacı (Ergür ve Okumuş, 2010)

Tesis 1 (İlçe Adı)	Nüfus (2009)	Toplam Günlük Gaz İhtiyacı (m ³)
Alpu	13919	15408,33
Beylikova	7154	7919,48
Çifteler	16882	18688,37
Günyüzü	7697	8520,58
Mihalıççık	11186	12382,90
Sivrihisar	24939	27607,47
Ara Toplam	81777	90527,14
Tesis 2 (İlçe Adı)	Nüfus (2009)	Toplam Günlük Gaz İhtiyacı (m ³)
Seyitgazi	17262	19109,03
Odunpazarı	343371	380111,70
Tepebaşı	272411	301558,98
İnönü	7565	8374,46
Mahmudiye	9225	10212,08
Sarıcakaya	5525	6116,18
Ara Toplam	655359	725482,41
Genel Toplam	737136	816009,55

5.3. Eskişehir İli Hayvan Potansiyelinin Elektrik Enerjisi Eşdeğeri Olarak Satışından Elde Edilen Gelir

Eskişehir, Bilecik, Kütahya, Afyon ve Uşak illerine elektrik, Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından verilmektedir. Çizelge 5.3’de Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.’nin 2009 yılı şirket geneli satışlar TL/kWh tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.3. Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. 2009 Yılı Şirket Verileri (<http://www.osmangaziedas.com.tr/>)

Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.		
2009 Yılı Şirket Geneli Satışlar (TL/kWh)		
	kWh	TL
Ocak	351328015,350	62868421,36
Şubat	321350918,996	57482051,43
Mart	346829364,742	62199449,17
Nisan	356886936,553	61752499,21
Mayıs	370065509,569	62756235,37
Haziran	400327979,058	69304025,39
Temmuz	445590097,719	75178796,25
Ağustos	444063132,783	75193800,47
Eylül	464337751,409	80854958,17
Ekim	435034446,941	79244515,81
Kasım	420587419,058	79063460,65
Aralık	489784110,596	86184406,32
Toplam	4846185682,774	852082619,60

Çizelge 5.3.’deki veriler dikkate alınarak, 2009 yılında Eskişehir ilinde yıllık ortalama elektrik satışı 0,175930 TL/kWh’a yapılmıştır. Eskişehir ilinde biyogazdan saatte üretilen 11518,93 kWh (276454,23 kWh/gün) enerji satılmak istenirse, Eskişehir’deki hayvan potansiyeli için günlük biyogaz geliri (0,175930 x 276454,23) 48636,60 TL/gün’dür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada biyogaz enerjisi üretimi ve Eskişehir ilinde yapılabilecek uygulamalar üzerinde durulmuştur.

2010 itibariyle 74 milyon nüfusa sahip olan Türkiye’de kişi başına enerji tüketiminin %1,37 artışla 1482 Ktep, elektrik tüketiminin ise %8,56 artışla 2347 kWh olduğu hesaplanmıştır (Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2011)

Çizelge 6.1. Türkiye’de Yıllara Göre Kişi Başı Enerji ve Elektrik Tüketimi (Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2011)

	2008	2009	2010	2009–2010 (Değişim)
Nüfus	71 000 000	73 000 000	74 000 000	+ %1,37
Enerji Tüketimi (Ktep)	1496 Ktep	1463 Ktep	1482 Ktep	+ %1,29
Elektrik Tüketimi (Net)	2278 kWh	2162 kWh	2347 kWh	+ %8,56
Elektrik Tüketimi (Brüt)	2791 kWh	2685 kWh	2865 kWh	+ %6,70

Gelişme düzeyi ile elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimindeki payı arasında bir ilişki bulunmaktadır. 2011 yılında elektrik tüketimimiz bir önceki yıla (210,4 milyar kWh) göre %8,98 artarak 229,3 milyar kWh, elektrik üretimimiz ise bir önceki yıla göre (211,21 milyar kWh) %8,14 artarak 228,41 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik talebinin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın Haziran 2011’de hazırladığı son elektrik talep tahmini rakamlarına göre; 2020 yılında talebin Yüksek Talep Senaryosunda (ortalama %7,5 artış öngörülen) 433,9, Düşük Talep Senaryosunda (ortalama %6,5 artış) ise, 398,16 milyar kWh düzeyine ulaşacağı gösterilmektedir (Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2011).

Eskişehir ilçelerinde büyükbaş hayvan sayıları toplamı 118937’dir. Hayvan potansiyelinin biyogaz üretiminde kullanılmasından günde elde edilebilecek elektrik enerjisi (100905793,98/365) 276454,23 kWh/gün’dür. Eskişehir ilinde biyogazdan üretilen enerji geliri Eskişehir’deki hayvan potansiyeli için 48636,60 TL/gün’dür.

Tarımsal ürünlerin biyogaz üretiminde kullanılmasıyla Eskişehir ilinde yılda yaklaşık 715643 adet büyük tüp gaz (12 kilogramlık) ihtiyacı, biyogazdan karşılanmış olacaktır. Yapılan çalışmada enerji tasarrufu açısından tasarruf sağlanacağı görülse de biyogaz üretimi enerji sorununa çözüm olarak düşünülmemelidir. Bunun için sadece köylerimizde yemek pişirmede tüp gaz kullanımı yerine biyogaz enerjisinden yararlanmanın tasarruf sağladığı görülecektir.

BÖLÜM 7

ÖNERİLER

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeyinin yükselmesi gibi etkenler, sadece Türkiye’de değil, dünyada da enerji tüketimini artırmıştır. Bu durum, fosil enerji kaynaklarının da hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Dünya enerji sektöründe krize bağlı olarak gelişen arz kısıtlamaları, çevresel etki ve çevreci baskıların eklenmesi, farklı türde enerji kaynaklarını gündeme getirerek, temiz, çevre dostu ve yeşil enerji olarak adlandırılan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmıştır.

Biyogazın parayla ölçülemeyecek bir yararı da, çevre sağlığına katkı sağlamasıdır. Gübrelerin biyogaz tesisinde kullanılmasıyla, koku yok olmakta, hastalığa yol açabilecek mikroplar etkisiz hale gelmektedir. Diğer taraftan, biyogaz üretim reaktörlerinde kullanılan gübre ile hem enerji elde edilmekte, hem de tarımda katı atıklardan yararlanılmaktadır. Katı atık gübrenin, kimyasal özellikleri olumlu yönde değişmektedir.

Bitkisel ve hayvansal atıklar açısından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bu kaynaklardan en uygun koşullarda enerji üretiminin geliştirilmesi ve uygulamaya konulması gereklidir.

Eskişehir ilinde kimyasal gübre kullanımıyla, topraktaki tuz oranının artışı önleneyeğinden toprak verimliliği artacaktır. Ancak, çiftçimiz bilinçsizce, toprağın verimini artırmak için çok fazla gübre, yani tuz kullanmaktadır. Bu durum, toprağı tamamen güçsüzleştirerek, verimin azalmasına neden olmaktadır. Özetle, yapılan bu çalışmadan yararlanarak, bu tür uygulamaların ülke genelinde yaygınlaştırılması, Türkiye ekonomisine çok büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Angın, D., 2005, “Aspir (*Charthamus Tinctorius L.*) Tohumu Pres KÜşpesinin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 1 s.
- Ardıç, İ., 2003, “Termal, Kimyasal ve Termokimyasal Önişlemlerin Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, 4, 10 s.
- Ardıç, İ., 2009, “İnek Gübresinden Biyogaz Üretim Verimine Termal, Kimyasal ve Termokimyasal Önişlemlerin Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, 1 s.
- Aslanlı, Ş., 2009, “Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi Üzerine Çeşitli Bor Bileşiklerinin Etkinliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 4–6, 27 s.
- Buğutekin, A., 2007, “Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 14, 19-20, 35-36 s.
- Çankaya, Kılıç, F., 2011, “Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye’deki Yeri”, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı: 617, 97 s.
- Demiral, İ., 2004, “Gıda Sanayi Atıklarından Biyoyakıt Eldesi”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 10-11 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ekinci, S., M., 2007, “Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 18–23 s.

Elektrik Üretim Sektörü Raporu, 2011, Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 9–10 s.

EMO İstanbul Şubesi Haber Bülteni, 2009, “Yaşam Kalitenizi Düşürmeden Elektrik Faturanızı Yarı Yarıya Düşürebilirsiniz”, Sayı:45.

Ergür, S. H., Okumuş, F., 2010, “Cost and Potential Analysis of Biogas in Eskişehir”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 15, Sayı:2, 155–159 s.

Eyidoğan, M., 2008, “Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı”, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 49, Sayı: 584, 21-22 s.

Güç, A., 2010, “Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretimi ve Uşak İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, 5–10 s.

Gül, N., 2006, “Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 3-4 s.

Gülen, J., Arslan, H., 2005, “Biogas”, Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma Dergisi, Sayı:2005/4, 123–126 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gürleyik, E., 2006, “Fosil Kaynakların Yağlı Tohumlar ile Birlikte Pirolyzi ve Ürünlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 21 s.

<http://biyogaz.mam.gov.tr>

<http://www.eskisehir-bld.gov.tr>

<http://www.eskisehir.gov.tr>

<http://www.mam.gov.tr>

<http://www.odunpazari.bel.tr>

<http://www.osmangaziedas.com.tr>

<http://www.tarimsal.com>

İlkılıç, C., Deviren, H., 2011, “Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Fırat Üniversitesi, Elazığ, 144 s.

Karakuş, K., 2011, “Türkiye’nin Canlı Hayvan ve Kırmızı Et İthaline Genel Bir Bakış”, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1, 76 s.

Keçeci, A., 2006, “Haşhaş (*Papaver Somniferum L.*) Yağ Endüstrisi Yan Ürünüden Sıvı Yakıt Üretiminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 3-4 s.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzaydaş, Teknik Tanıtım Kitapçığı, 23 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Okcu, H., Çelik, A., Çalışkan, N., Yıldırım, V., 2010, “İstatistiklerle Eskişehir 2009”, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Yayını, Eskişehir, 2 s.
- Öztuncay, M., K., 2009, “Türkiye’de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği ve Ekonomikliği”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 10-11, 15-16 s.
- Sabuncu, Ö., C., 2010, “Biyogaz Üretiminin Teknik, Ekonomik ve Çevresel Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 1, 6, 34-36 s.
- Sarıoğlu, N., 2007, “Mısır Saplarının Hızlı ve Katalitik Pirolyzi ile Ürünlerinin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 4-5,8-9 s.
- Selimoğlu, G., 2008, “Büyükbaş Hayvan Dışkılarından Biyogaz Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 18-25 s.
- Türker, M., 2008, “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi”, ÇEVKOR, Çevre Eğitim Merkezi Yayınları, 1. Baskı, İzmir, 11-13 s.
- Uğur, A., 2005, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 425, 62-63 s.
- Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Sezer, K., Yağmur, K., 2009, “Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi - İstanbul Örneği”, TÜRKAY, Türkiye’ de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 4 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

www.biyogaz.web.tr

www.eie.gov.tr

www.tuik.gov.tr