

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇORUM İLİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HAMDİ ÖBEKCAN**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**ARALIK 2014
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇORUM İLİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEKLİSANS TEZİ

**Hamdi ÖBEKCAN
10210242**

Tezin Savuma Tarihi : 10 Kasım 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

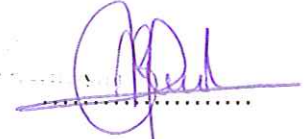
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında

Hamdi Öbekcan Tarafından Hazırlanan

**ÇORUM İLİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 10/11/2014 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ayşe KULEYİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Yrd.Doç. Dr. Lütfü NAMLI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



....../....../2014

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli katkılarını ve manevi desteğini esirgemeyen, yetişmemde ve mesleki gelişimimde büyük katkıları olan kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK'e, tez çalışmamdan önce derslerini aldığım değerli öğretim üyelerine, tüm yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Mualla ÖBEKCAN'a, babam Mustafa ÖBEKCAN'a, kardeşim Mehmet ÖBEKCAN'a, dayım Prof. Dr. İrfan ÇAĞLAR'a, desteklerinden dolayı Hitit Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Prof. Dr. Menderes Suiçmez'e, Yrd. Doç. Dr. S. Oğuzhan KIVRAK'a, Öğr. Gör. F. Engin TOMBUŞ'a, Öğr. Gör. Doğan DEMİRCİ'ye ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

01.12.2014

Hamdi ÖBEKCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR	vii
ÇORUM İLİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI	viii
ÖZET.....	viii
INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL OF ÇORUM PROVINCE	ix
ABSTRACT	ix
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Biyokütle Enerjisi	4
2.2 Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Yöntemleri.....	6
2.2.1 Termokimyasal dönüşüm yöntemleri	7
2.2.2 Biyokimyasal dönüşüm yöntemleri	8
2.2.3 Fizikokimyasal dönüşüm yöntemleri.....	9
2.3 Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz	9
2.4 Biyogaz Üretimi	11
2.5 Biyogaz Üretiminin Aşamaları	13
2.5.1 Hidroliz	14
2.5.2 Asetik asidin oluşumu.....	15
2.5.3 Metanın oluşumu	16
2.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Gübre Miktarının Belirlenmesi	18
2.7 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	20
2.7.1 Besleme sıklığı.....	20
2.7.2 Katı madde içeriği.....	20
2.7.3 Hidrolik bekleme süresi	21
2.7.4 Organik yükleme hızı.....	22
2.7.5 Karıştırma	23
2.7.6 Sıcaklık kontrolü.....	23
2.7.7 pH kontrolü	25
2.7.8 C/N oranı.....	26
2.7.9 Köpük oluşumu ve kontrolü	27
2.7.10 Toksisite	28
2.8 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Kofermantasyon Uygulaması	29
2.9 Biyogaz Sistemlerinin Yararları.....	35
2.10 Biyogaz Sistemlerinin Zararları	43
2.11 Biyogaz Üretiminin Kısıtları.....	46
2.12 Biyogaz Sistemleri	47
2.12 Biyogaz İçindeki Kirleticilerin Arıtılması	50
2.12.1 Kirleticiler.....	50
2.12.2 Su ile yıkama	51
2.12.3 Basınç altında adsorbsiyon	51

2.12.4 Membran ayırma.....	52
2.13 Biyogaz Kullanım ve Uygulama Alanları.....	52
2.14 AB ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Biyogaz Üretimi	57
2.14.1 AB’de yenilenebilir enerji kaynakları ve biyogaz üretimi.....	57
2.14.2 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve biyogaz üretimi	60
3. KAYNAK ÖZETLERİ	64
4. MATERYAL VE YÖNTEM	67
4.1 Materyal	67
4.1.1 Çorum ili tarımsal nüfus dağılımı.....	67
4.1.2 Çorum ili merkez ilçe arazi dağılımı	68
4.1.3 Çorum merkez ilçe tarım arazisi dağılımı.....	68
4.1.4 Çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan sayıları ve hayvan başına işletme sayıları.....	69
4.1.5 Çorum merkez ilçe küçükbaş hayvan sayıları ve hayvan başına işletme sayıları.....	71
4.1.6 Çorum merkez ilçe kanatlı hayvan sayıları ve işletmeleri dağılımı.....	72
4.1.7 Çorum merkez ilçe katı atık miktarı	73
4.1.8 Çorum merkez ilçe elektrik kullanım miktarı.....	74
4.1.9 Çorum merkez ilçe nüfus rakamları.....	75
4.2. Yöntem.....	75
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	79
5.1. 2014 Yılı Çorum Merkez İlçe Hayvansal Organik Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli	79
5.2. 2039 Yılı Tahmini Çorum Merkez İlçe Hayvansal Organik Atık Miktarı Ve Biyogaz Potansiyeli.....	82
5.3 2039 Yılı Çorum Merkez İlçe Çöp Depolama Sahasından Oluşabilecek Biyogaz Hacmi	86
SONUÇ	90
KAYNAKÇA	92
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dünya biyokütle potansiyeli	2
Çizelge 2.1. Biyokütle içerisinde bulunan ana bileşik formları.....	5
Çizelge 2.2. Türkiye’de biyokütle enerjisi tüketiminin yıllara göre değişimi	6
Çizelge 2.3. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı	10
Çizelge 2.4. Doğalgaz ve biyogazın kompozisyonu	12
Çizelge 2.5. Bazı materyallerin metan gazı değerleri	13
Çizelge 2.6. Patates Posasının Anaerobik Çürümesinde Rol Oynayan Hidrolit Enzimler İçin Uygun pH ve Sıcaklık Değerleri	15
Çizelge 2.7. Organik maddenin üç temel ögesinden elde edilecek biyogaz ve metan miktarlarıyla hacimsel ve ağırlık yüzdesi olarak gaz bileşimleri	17
Çizelge 2.8. 1m ³ biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi.....	18
Çizelge 2.9. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin sınır değerleri.....	29
Çizelge 2.10. Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi.....	29
Çizelge 2.11. Atıklardan ortalama biyogaz üretim miktarları	31
Çizelge 2.12. Farklı organik atıkların yapıları ve enerji üretimi.....	32
Çizelge 2.13. Farklı organik materyal ilavelerinin gaz üretim verimine etkisi	34
Çizelge 2.14. AB ülkeler bazında biyogaz birincil enerji üretimi	59
Çizelge 2.15. Bölgesel bazda kullanılabilir tarımsal kaynaklı atık miktarları	62
Çizelge 2.16. Türkiye’nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen biyogaz üretimi.....	62
Çizelge 4.1. Çorum ili arazi dağılımı	68
Çizelge 4.2. Çorum merkez ilçe tarımsal arazi dağılımı	69
Çizelge 4.3. 2004-2014 yılları arası çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan sayısı	70
Çizelge 4.4. Çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan işletme sayıları ve toplam işletme sayısına oranları	70
Çizelge 4.5. 2004-2014 küçükbaş hayvan sayısı	71
Çizelge 4.6. Çorum merkez ilçe küçükbaş hayvan işletme sayıları ve toplam işletme sayısına oranları.....	72
Çizelge 4.7. 2004-2014 yumurtacı tavuk sayısı.....	73
Çizelge 4.8. 2004-2014 yılları arası belediye atık istatistiği.....	74
Çizelge 4.9. Çorum merkez ilçe elektrik tüketim miktarları	75
Çizelge 4.10. Çorum merkez 2007-2013 nüfus rakamları	75
Çizelge 4.11. Hayvan türlerine göre atık karakteristikleri ve biyogaz verimi	76
Çizelge 5.1. 2014 yılı hayvan türlerine göre canlı hayvan sayıları.....	79
Çizelge 5.2. Hayvan türüne göre oluşabilecek atık miktarları.....	80
Çizelge 5.3. 2039 yılı hayvan türlerine göre canlı hayvan sayıları.....	82
Çizelge 5.4. 2014 yılı hayvansal atıklardan tahmini biyogaz miktarı.....	83
Çizelge 5.5. 2014 yılı hayvansal atıklardan enerji ve elektrik karşılıkları.....	83
Çizelge 5.6. 2039 yılı hayvansal atıklardan tahmini biyogaz miktarı.....	84
Çizelge 5.7. 2039 yılı hayvansal atıklardan tahmini enerji ve elektrik karşılıkları ...	84
Çizelge 5.8. 2039 yılına kadar çöp sahasından oluşabilecek toplam biyogaz miktarı.....	87
Çizelge 5.9. Çorum merkez ilçe 2014 yılı elde edilebilecek tahmini toplam biyogaz miktarı	88
Çizelge 5.10. Çorum merkez ilçe 2014 yılı tahmini elde edilen biyogazdan üretililecek elektrik enerjisi değerleri	89

Çizelge 5.11. Çorum merkez ilçe 2039 yılı tahmini elde edilebilecek toplam biyogaz miktarı	89
Çizelge 5.12. Çorum merkez ilçe 2039 yılı tahmini elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Biyokütle enerjisi dönüşüm yöntemleri	7
Şekil 2.2. Atıklardan biyogaz üretiminin akış şeması	11
Şekil 2.3. Anaerobik parçalanma aşamaları	14
Şekil 2.4. Biyogaz tesis şeması	19
Şekil 2.5. Psikofilik (◇), mezofilik (■), termofilik (□) sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızı üzerinde etkisi	24
Şekil 2.6. Farklı pH değerlerindeki metan bakterisinin elektronik mikroskopla 10um görüntüleri	26
Şekil 2.7. Tarımsal tesislerde komateryal kullanımının biyogaz verimine etkisi	33
Şekil 2.8. Anaerobik fermentasyonda kütle denkliği	38
Şekil 2.9. Küçük ölçekli çiftlik tipi bir biyogaz sisteminin genel görünümü	49
Şekil 2.10. Büyük ölçekli merkezi bir biyogaz sisteminin genel akış şeması	50
Şekil 2.11. Birleşik ısı ve güç santralinin şematik görünümü	54
Şekil 2.12. Türkiye’de birleşik ısı ve güç sistemlerinin kullanıldığı alanlar	55
Şekil 2.13. Biyogaz sisteminde materyal ve enerji akış diyagramı	57
Şekil 2.14. AB enerji kaynakları kullanımı	58
Şekil 2.15. Türkiye genel enerji tüketimi dağılımı	60
Şekil 4.1. Çorum ili arazi dağılımı.....	68
Şekil 4.2. Çorum merkez ilçe büyükbaş işletme büyüklük oranları	70
Şekil 4.3. Çorum merkez ilçe küçükbaş işletme büyüklük oranları	72
Şekil 4.4. Çorum merkez ilçe atık kompozisyonu	74
Şekil 5.1. Land Gem v.3.02 veri giriş bölümü.....	86
Şekil 5.2. Land Gem sonuç rapor bölümü	87
Şekil 5.3. Land Gem v.3.02 grafik sonuç ekranı	88

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
B12	: B12 Vitamini
BIG	: Birleşik Isı ve Güç
BOD	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C/N	: Karbon/Azot Oranı
Ca	: Kalsiyum
CH₄	: Metan
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EJ	: Egza Joule
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GJ	: Giga Joule
H	: Hidrojen
H₂O	: Su
H₂S	: Hidrojen sülfür
Ha	: Hektar
HBS	: Hidrolik Bekleme Süresi
İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Kg	: Kilogram
KM	: Kuru madde
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kW	: Kilo Watt
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
M.Ö.	: Milattan Önce
Mg	: Magnezyum
MJ	: Mega Joule
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	: Mega Watt
N	: Azot
Na	: Sodyum
NH₃	: Amonyak
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
OKM	: Organik Kuru Madde
P	: Fosfor
S	: Kükürt
TK	: Toplam Katı Madde
TÜBİTAK-MAM	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UK	: Uçucu Katı Madde
UYA	: Uçucu Yağ Asidi
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynakları

ÇORUM İLİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Fosil kaynaklı yakıtların gün geçtikçe mevcut rezervleri ve kaynakların planlı ve programlı bir şekilde kullanılmaması birincil enerji ihtiyacını fosil yakıtlar üzerinden karşılayan dünyamız için alternatif enerji kaynaklarının önemini ortaya çıkarmaktadır.

Çorum İli tarımsal üretimin ve tarım arazisinin toplam araziye oranının büyük olduğu bir ildir. Özellikle il merkezinde bulunan yaklaşık 100 yumurta üretim işletmesi ile Çorum İli Türkiye yumurta ihtiyacının % 7,2'sini karşılamaktadır. Çorum'da büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu işletmelerden yıllık üretilen yaş organik atık miktarı 694 572 tondur. Meydana gelen bu atıklar çevre için sorun teşkil etmektedirler. Oluşan bu atıklar aynı zamanda biyogaz enerjisi için hammadde olabilmektedir.

Yapılan çalışma ile Çorum ili merkez ilçesinin 2014 yılı için toplam 94 657,5 ton hayvansal katı atıktan 18 931 500 m³ biyogaz ve 429 744 GJ'luk (17 MTEP) enerji eşitliği hesaplanmıştır. 2039 yılı için canlı hayvan sayısındaki değişimlerin tam olarak belirlenememesinden dolayı hayvansal atıklardan oluşabilecek biyogaz miktarının 2014 yılı ile eşit olduğu kabul edilmiştir. Çöp depolama sahasından oluşabilecek tahmini biyogaz hacmi ise yine Land Gem v.3.02 Simülasyon programından yararlanılarak 2039 yılına kadar oluşabilecek tahmini toplam biyogaz miktarı 354 519 680 m³ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Organik Atık, Biyogaz Potansiyeli, Biyokütle Enerjisi

INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL OF ÇORUM PROVINCE

ABSTRACT

The importance of alternative energy sources has been exposed for the world which is meeting the need of primary energy through fossil fuels, because of the use of existing reserves and sources of fossil fuels without any planning and programming.

Çorum is a province that the ratio of agricultural land and agricultural production to total land surface is large. Çorum is where there are about hundred egg production plants by which they supply 7,2% of egg of Turkey's need. Cattle, sheep and poultry farming are carried out in Çorum province. These businesses produce 694572 tons of wet organic wastes annually. These wastes, create environmental problems, are also raw materials for biogas production.

In this study, it has estimated that 18931500 m³ of biogas and 429744 GJ (17 MTEP) energy can be produced from 94657,5 tons of animal waste collected from central province of Çorum in 2014.. It is accepted that the biogas production from animal waste in 2039 will be equal to the biogas production in 2014 due to unknown numbers of animals. Biogas production in land-fill area on Çorum by 2039 is estimated as 354 519 680 m³ using Land Gem v.3.02 simulation programme.

Key Words: Biogas, Organic Waste, Biogas Potential, Biomass Energy

1.GİRİŞ

Zamanın her döneminde enerji toplum için kullanımı daima birincil ihtiyaçlar arasında görülmüştür. Teknoloji ve sanayi alanındaki gelişmelere paralel olarak enerji gereksinimi hızla artış göstermektedir. İnsanoğlunun temel enerji ihtiyacının büyük bölümü fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Ülkelerin gelişmişlik ölçütleri arasında yer alan değerlendirme kıstaslarının bir tanesi de kişi başına düşen enerji kullanım miktarıdır.

Dünya nüfusunun hızla artması ve sanayileşmenin küresel boyutlara ulaşması mevcut yenilenemeyen enerji kaynaklarının büyük bir ivmeyle azalmasına sebep olmaktadır. Önümüzdeki yıllar nüfusun ve sanayileşmenin ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyacına fosil kaynaklı rezervlerin karşılık veremeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artmasından dolayı dünyada yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine araştırmalar ve bu teknolojilerin kullanımı artmaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacını ithalat yolu ile gidermektedir. Ülkemizin hızla gelişmesi ve ülke nüfusunun artması enerji giderlerini artırmaktadır. Öte yandan ülkemiz sahip olduğu alternatif enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılayabilecek düzeydedir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma oranı dünya ile kıyaslandığında düşük seviyede olduğu göze çarpmaktadır.

Ülkemiz 2008 yılında petrol ihtiyacını 24 000 000 ton petrol ithal ederek karşılamıştır, mevcut petrol kaynaklarının azalması ve dünyadaki siyasal dengelerin sürekli değişmesinden dolayı petrol fiyatlarındaki artış nedeniyle her yıl petrole harcanan miktarlar artış göstermektedir (Tüik,2008).

Bu nedenle Türkiye sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalarını artırmalı ve yenilenebilir enerji teknolojilerini uygulamaya geçirmelidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları birden fazla çeşitlilik göstermektedir. Bunlardan bir tanesi bu kaynaklar içerisinde önemli bir yer tutan biyogazdır. Biyogaz oksijensiz ortamda organik maddelerin parçalanması sürecidir. Biyogaz elde etme sürecinde organik atıkların çevreye verdikleri zararlar azaltılabilmekte ve doğalgaz ile benzer özellikler taşıyan bir gaz bileşimi elde edilebilmektedir.

Biyogaz oluşum aşamaları incelendiğinde biyokimyasal bir süreç olması nedeniyle birçok çevresel şartlardan (atık cinsi, sıcaklık, ph, basınç vb.) etkilenmektedir.

Türkiye biyokütle enerjisi bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizde yıllık 50-65 MTEP tarım ürünlerinden oluşan atık ve 11,05 MTEP hayvan ürünlerinden oluşan atık meydana gelmektedir. Meydana gelen bu atıkların sadece % 60'ı enerji dönüşümlerinde kullanılabilmektedir. Enerji elde edilebilecek bu atıkların Türkiye'nin yıllık enerji ihtiyacının ortalama % 22-27'sine denk olduğu belirtilmektedir (Koçer Nacar vd. 2006).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütle enerjisi ciddi bir öneme sahiptir. Biyokütle kaynakları enerji dönüşümlerinde basitten başlayarak ileri teknolojilere kadar enerji üretim aşamasında kullanılabilmektedir. Biyogaz enerjisi de üretim ve kullanım açısından dünya genelinde benzer aşamalarda gerçekleşmektedir.

Dünya genelinde elde edilebilecek biyokütle potansiyelleri ve karşılığı olan enerji eşdeğerleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya biyokütle potansiyeli (Acaroğlu, 2003).

Türü	Biyokütle Potansiyeli Uzun Süreli (EJ)
Büyük tarımsal alanlardaki biyokütle	0-988
Küçük tarımsal alanlardaki biyokütle	8-110
Tarımsal artıklar	10-27
Ormancılık Artıkları	10-16
Hayvansal atıklar	9-25
Organik atıklar (+ biyomateryal atıklar)	1-3(+31)
Biyo materyal	(-) azalma 79-115
TOPLAM	100-1130

Yapılan bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutan biyogaz enerjisinin özelliklerinden ve oluşum aşamalarından detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Bu çalışma ile Çorum merkez ilçesindeki hayvancılık işletmelerinin

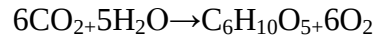
ürettikleri hayvansal atıkların ve belediye tarafından toplanarak çöp depolama sahasında açık bir şekilde yakılan belediye atıklarının oksijensiz ortamda fermentasyon sürecine tabi tutularak biyogaz enerjisi elde edilebileceğini belirtmiştir. Çorum İl Gıda Ve Hayvancılık İl Müdürlüğü, Çorum Belediyesi, Türkiye İstatistik Kurumu mevcut verileri kullanılarak Çorum merkez ilçesinin yıllık ortalama ürettiği hayvansal atık ve çöp depolama sahasında oluşan evsel nitelikli atık miktarlarını tespit ederek 2014 yılı toplam biyogaz potansiyeli ve 2039 yılı biyogaz potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle, yaklaşık 100 yıllık zaman diliminden daha kısa sürede tekrar kullanılabilen, toprak üstünde ve sulak ortamda yetişen bitkiler, hayvanlar tarafından üretilen atıklar, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile şehirlerde oluşturulan atıkları içeren, biyolojik içeriğe sahip fosil olarak tanımlanmayan tüm organik madde topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Yorgun vd., 1998; Eryaşar, 2007). Bitkisel kaynaklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, organik içerikli şehir ve sanayi atıklarından elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisinin esası bitkilerin fotosentez yapma mekanizmasına bağlı olduğu için, biyokütle enerjisi, güneş enerjisini kimyasal enerji biçiminde depolayan organik maddelerden açığa çıkan enerji olarak da ifade edilebilmektedir.

Fotosentez, ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren ve ilk aşamada organik madde üretimi gerçekleştirilen bir metabolizma olayıdır. Bitki, güneşten aldığı ışık enerjisi sayesinde karbondioksit ve suyu kullanarak zengin içeriğe sahip bir besin olan glikozu (şeker) üretilmektedir.



Bitki için birinci ürün olan glikoz, belirli proses basamakları sonucu, daha büyük moleküllere dönüştürülerek, biyokütleyi oluşturan ana bileşikleri (karbonhidrat, protein ve yağ) meydana getirir. Karbonhidrat, protein ve yağ dışında bitki yapısı, vitamin, enzim, reçine, toksin ve uçucu yağları da içermektedir. Ana bileşikler, tüm biyokütle kaynaklarında değişik oranlarda ve genellikle Çizelge 2.1’de verilen formlarda bulunmaktadır (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Çizelge 2.1. Biyokütle içerisinde bulunan ana bileşik formları (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Karbonhidrat	Nişasta, insulin, selüloz, şeker, pektin
Yağ	Yağ, yağ asitleri, fosfatid, vaks, karoten
Protein	Protein, nükleoproteid, fosfoprotein

Bitkisel kökenli biyokütle kaynaklarında genel olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarı; hayvansal kökenli biyokütle kaynaklarında ise protein ve yağ miktarı yüksek oranda bulunmaktadır. Karbonhidrat, protein ve yağları oluşturan temel elementlerden C, H ve O'nin yanında, biyokütle kaynakları azot, sülfür ve bazı inorganik elementlerin bileşiklerini de içermektedir. İnorganik elementler ppm düzeyinde bulunduğu için, biyokütle kaynağı $C_cH_hO_oN_nS_s$ olarak formülize edilmektedir.

Dünyada, geleneksel olarak biyokütle doğrudan yakma proseslerinde kullanılmış ve günümüzde birçok ülkede halen sıklıkla kullanılmaktadır. Dünyada, yılda 146 milyar ton biyokütle üretimi öngörülmekte ve bunun önemli bir kısmını ormanlar oluşturmaktadır. Dünyanın ihtiyacı olan enerjinin sadece % 14'lük kısmının biyokütleden temin edildiği, fakat gelişmekte olan ülkelerde bu oranın % 43'lere ulaştığı, sanayisi gelişmiş ülkelerde ise % 3'lerde kaldığı belirtilmektedir (Demirtaş ve Gün, 2007; Demirbaş, 2008). Gelişmiş ülkelerdeki bu duruma, petrol kökenli yakıtların kullanımının artışı kaynak gösterilmektedir. Dünya nüfusunun % 50'sini oluşturan, gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal kesimin önemli bir kısmı, yakıt olarak halen geleneksel biyokütle kaynaklarından odunu kullanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin ülkemizin, birincil enerji tüketimi yıllık ortalama % 2,8 oranında artmaktadır. 2006 yılı itibarıyla toplam enerji arzı yaklaşık 100 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) civarındadır. Bu enerji miktarının % 11'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmakta, yenilenebilir enerjinin % 59,7'si ise biyokütle kaynaklarından karşılanmaktadır (EİEİ, 2008). Biyokütle kaynaklarımızı, ormanlar, tarımsal ve hayvansal atıklar, enerji ormanları ile organik içerikli şehir ve endüstri atıkları oluşturmakta, yaklaşık 8,6 MTEP değerinde olan atık potansiyelimizin yaklaşık % 70'i ısınma amaçlı kullanılmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008).

Biyokütle enerjisi kullanımı, geleneksel ve modern olmak üzere iki başlıkta ele alınmaktadır. Geleneksel biyokütle enerjisi, odun ve tezeğin yanmasıyla, modern

biyokütle enerjisi ise, biyokütle kaynağının özel proseslerde işlenmesi sonucu elde edilir. 19. yüzyıl sonuna kadar, odunun yerini kömürün almasıyla klasik biyokütle kullanımında düşüş gözlenmiş ve 1950'lerin sonunda petrol ve doğal gazın kullanımındaki artışa bağlı olarak bu düşüş hızlanmıştır (Deublein ve Steinhauser, 2008). Ülkemizde de, odun, hayvan ve bitki atıkları uzun yıllardır ısınma ve pişirme amaçlı kullanılmış, biyokütle teknolojilerinin gelişmesiyle modern kullanım düşük verimli klasik kullanımın yerini almaya başlamıştır. Günümüzde üretilen biyokütle enerjisi ve Türkiye için 2030 yılına kadar ön görülen üretim miktarı Çizelge 2.2'de verilmektedir.

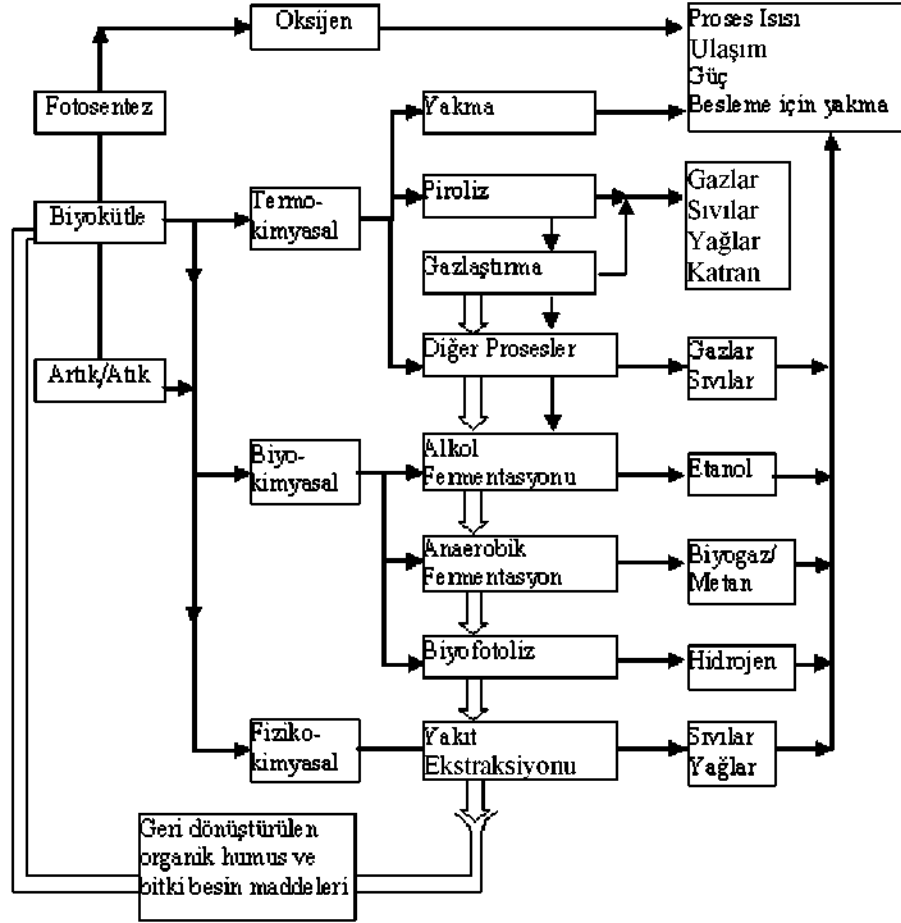
Çizelge 2.2. Türkiye'de biyokütle enerjisi tüketiminin yıllara göre değişimi (Demirbaş, 2006).

Yıl	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Klasik Biyokütle Enerjisi	6613	6495	5754	4790	4000	3345	3310
Modern Biyokütle Enerjisi	658	766	1660	2430	3520	4465	4895
Toplam	7271	7261	7414	7320	7520	7810	8204

2.2 Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Yöntemleri

Dönüşüm yöntemleri ile biyokütle materyallerinden proses ısısı, elektrik ve yakıt (katı, sıvı ya da gaz) elde etmek mümkündür. Her biyokütle kaynağı tüm dönüşüm yöntemlerinde değerlendirilebilir ancak, yüksek proses verimi göz önüne alındığında, kaynağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak uygun yöntemin belirlenmesi gerekir. Materyalin nem miktarı, kül miktarı ve içeriği, parça boyutu ve dağılımı, sıkıştırılmış yoğunluğu, organik karbon miktarı ve elementel analiz değerleri uygun yöntemin seçilmesinde, materyalin ısı değeri, yakıt reaktivitesi ve emisyon değerleri ise ürün kalitesinin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Gerektiğinde kaynağa ön işlem uygulanarak, proses verimi ve yakıt kalitesi artırılmaktadır.

Biyokütle üzerinde uygulanan teknolojiler; termokimyasal, biyokimyasal ve fizikokimyasal olmak üzere 3 grupta toplanmaktadır (Şekil 2.1). Günümüzde enerji amaçlı kullanılan biyokütlenin büyük bir kısmı termokimyasal yöntemle ısı ve elektriğe dönüştürülmektedir.



Şekil 2.1. Biyokütle enerjisi dönüşüm yöntemleri (Twidell ve Weir, 1986).

2.2.1 Termokimyasal dönüşüm yöntemleri

Doğrudan yakma, piroliz ve gazlaştırma gibi ısı işlemlerin uygulandığı prosesleri içermektedir. Düşük nem oranına sahip biyokütle kaynaklarının termokimyasal yöntemlerde değerlendirilmesi verimi arttırmaktadır.

Biyokütlenin, yeterli hava ortamında direk yakılması ile enerji elde edilmesi, uygulanan en bilindik yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi artırmak için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle biyokütle kullanılarak işletilen termik santrallerde akışkan yataklı sistemler sıkça kullanılmaktadır. Proses sonucu elde edilen kızgın buharın türbinlerde kullanılmasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Gazlaştırma, kısmi oksijen ortamında yüksek sıcaklıklarda ısıl bozunma işlemidir. Elde edilen gaz karışımı; CO, CO₂, H₂, CH₄ ve çok az miktarda C₂-C₆ hidrokarbonlarını içerir. Ayrıca su, azot ve çeşitli küçük parçacıklar (kül, katran ve yağ) da oluşur. Çıkan gazların güç çevrim santrallerinde kullanımı sonucu elektrik

üretimi sağlanabilir ancak, günümüzde maliyeti oldukça yüksektir. Maliyetlerin düşürülmesi ve verimin artırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Diğer dönüşüm yöntemi olan piroliz işleminde, biyokütleden oksijensiz ortamda 300°C – 900°C arasında değişen sıcaklıklarda gerçekleşen kimyasal ve fiziksel reaksiyon dizileri sonucu katı, sıvı veya gaz yakıt elde edilir. Piroliz ürünleri, yarı-kok, organik içerikli yağlar ve yüksek oranda CH₄, CO ve CO₂'e sahip gaz karışımından oluşmaktadır. Katı, sıvı ve gaz yakıt formundaki piroliz ürünleri arasında istenilen yakıt türü, proses parametreleri değiştirilerek artırılabilir.

2.2.2 Biyokimyasal dönüşüm yöntemleri

Yüksek nem ve şeker miktarına sahip biyokütle materyalleri biyokimyasal dönüşüm yöntemlerinde değerlendirilerek, biyoetanol ve biyogaz gibi yakıtlar elde edilmektedir.

Biyokütlerde değişik oranlarda protein, yağ, hemiselüloz ve lignin bulunmaktadır. Anaerobik ortamda, şekerin kimyasal yada enzimatik reaksiyonlar ile glikoza parçalanması, glikozunda mikroorganizmalar ile etanole dönüşümü alkol fermentasyonu olarak adlandırılmaktadır. Dünyada biyoetanol genellikle, mısırdan ya da fermante olabilen zengin şeker kamışından üretilmekte, ancak selülozik materyaller açısından zengin olan tarımsal atıkların bu amaçla kullanımı, biyoetanol üretim maliyetini düşürebilmektedir.

Biyokimyasal dönüşüm yöntemlerinin bir diğeri, anaerobik fermentasyon prosesidir. Proses sonucu üretilen biyogaz, organik içerikli maddelerin 3 farklı sıcaklık bölgesinde, oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalanması sırasında ortaya çıkan ve bileşimi organik maddeyi oluşturan bileşiklere göre değişen yanıcı bir gaz karışımıdır. Uygun çalışma parametrelerindeki biyogaz reaktöründe elde edilen gaz, % 50 – % 70 CH₄, %30 – %45 CO₂, düşük oranda H₂S ve H₂O bileşimine sahiptir (Anon, 1999). Biyogazın ısı değeri, karışımdaki CH₄ yüzdesine bağlı olarak 19 MJ/m³ ile 27,5 MJ/m³ arasında değişebilmektedir. Hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, organik kökenli kentsel ve endüstri atıkları hammadde olarak kullanılabilir. Bu organik maddelerin biyogaz üretiminde değerlendirilmesiyle, organik açıdan zengin gübre ikinci ürün olarak elde edilmektedir. Prosesin verimini etkileyen faktörler; sıcaklık, pH, karıştırma, toksik maddeler ve beslenen maddenin türü olarak sıralanabilmektedir.

Anaerobik fermentasyon ile organik maddelerin işleme tabi tutulması, önemli çevre sorunlarına çözüm oluşturabilmek için alternatif olabilmektedir. Yerleşim alanlarında ciddi sorun oluşturan organik içerikli atıklar, anaerobik ortamda çürütüldüklerinde, atık içerisinde mevcut olan ve aerobik ortamda yaşayan zararlı organizmaları yok etmektedirler.

2.2.3 Fizikokimyasal dönüşüm yöntemleri

Fizikokimyasal dönüşüm yöntemi olan transesterifikasyon, yağ asitlerinin bazik bir katalizör eşliğinde alkol ile esterleşme reaksiyonudur. Ana ürün olarak yağ asidi esterleri (biyodizel), yan ürün olarak da gliserin elde edilmektedir. Dizel motoruna alternatif bir yakıt olan biyodizelin üretiminde, bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve palm yağlarının yanısıra hayvansal yağlar, alkol olarak metanol veya etanol, katalizör olarak sodyum veya potasyum hidroksit tercih edilmektedir.

2.3 Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz

Biyogaz Çin kaynaklarına göre 2000-3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Asurlular ilk olarak Biyogazı M.Ö. 1000 yıllarında kullanmaya başlamıştır (Eryaşar 2007,s.5-8). 17. Yüzyılda Jan Baptida Van Helmont tarafından yapılan ilk araştırmalar, organik maddelerin havasız ortamda bozunmasıyla yanabilen bir gazın çıktığının belirlenmesiyle başlamıştır (Van Brakel, 1980). Alessandro Volta’nın 1776’da yaptığı araştırma ile yanabilen bu gazın parçalanmış organik madde miktarı ile orantılı olduğu ve hava ile karışan gazın patlayıcı bir forma dönüştüğü kanıtlanmıştır (Zehnder, vd, 1982).

Volta tarafından göl tabanından gaz kabarcıklarının çıktığını gözlemesi ve tabandan aldığı örneklerde yaptığı deneylerde oluşturduğu gaza Lavoisier ve diğer araştırmacılar 1787 yılında 'Karbonlu Hidrojen' adı verilmiştir ve 1865'te Uluslararası Kimya Kongresinde bu terim 'metan' olarak kabul edilmiştir (Ferry, 1993).

Hayvansal atıklardan yararlanılarak, ilk kez biyogaz üretimi İngiltere’de gerçekleştirilmiş ve elde edilen biyogazla 1895’de Ekseter kenti caddeleri aydınlatılmıştır. Bunu 1900’de Hindistan Bombay ‘da kurulan biyogaz üretici izlemiştir. 1900’lü yılların ilk çeyreğinde biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Dünyadaki bazı ülkelerde biyogaz üretimi ile ilgili yapılan başlıca çalışmalar şunlardır;

Dünya’da kurulmuş hayvan atıklarından üretilen biyogaz tesislerinin % 80’i Çin’de, %10’u Hindistan, Nepal ve Tayvan’da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur (Buğutekin, 2007). Çeşitli ülkelerde kurulu biyogaz tesis dağılımı Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı (Buğutekin, 2007).

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566*
Nepal	49.500

*: Yarıısı çalışmıyor.

Bangladeş’te Kurulu çoğu tesisin çalışmamasının sebebi, çizim, inşaat ve bakım problemidir. Bangladeş’teki farklı uygulama otoritelerinin olması bu durumu daha da olumsuz etkilemektedir. Mevcut halde idari ve teknik içyapı bu sistemin gelişmesini engellemektedir.

Avrupa’da yemek ve gübre artıklarından enerji araştırmaları gün geçtikçe artmaktadır. Danimarka’da 19, Almanya’da 11 ve İsveç’te 10 tane biyogaz üretim tesisi yapımının 2000 yılına kadar tamamlanması planlanmıştır (Wellinger, 1999).

Türkiye tarım ve hayvancılıkta önemli bir ülkedir. Türkiye’de biyogaz üzerine yapılan araştırmalar 1957 yılında başlamıştır. Toprak su Araştırma Enstitüsü’nün 1975 yılından sonra ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nün 1980’li yıllarda biyogaz üretimi için yürüttüğü çalışmalar uluslararası bazı anlaşmalarla desteklenmiş fakat 1987 yılında bilinmeyen bir nedenle yürütülen çalışmalar durdurulmuştur.

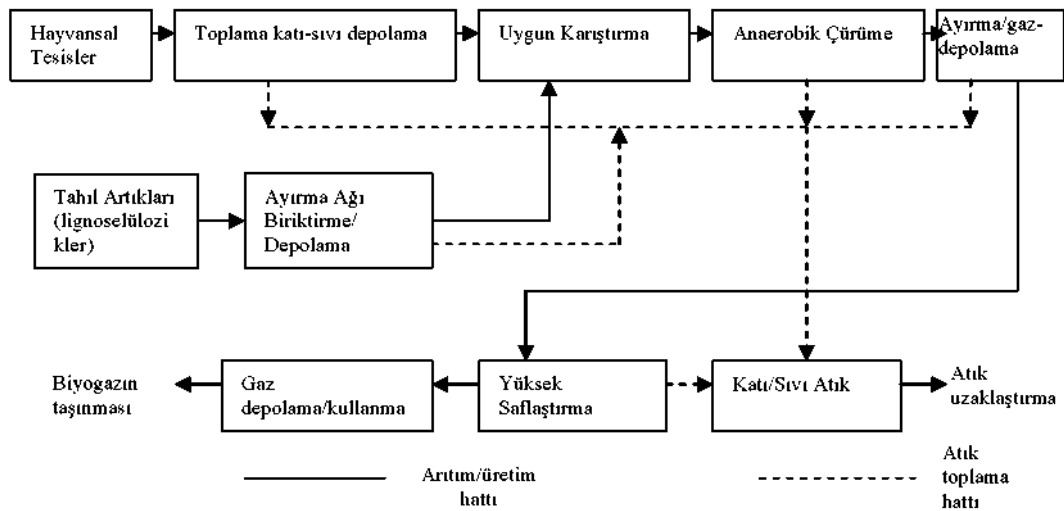
Biyogaz tesisi kurulumuna 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü’nde başlanmıştır. O yıllarda son derece hevesli bir kadro bu iş için çalışmış, daha sonra 1963–1969 arasında Eskişehir Bölge Toprak su Araştırma Enstitüsü’nde olay ilerlemiştir. 1982’de Türkiye’de ciddi bir biyogaz projesi başlatılmış ve pilot uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu sırada Türkiye’nin biyogaz potansiyeli 2,8–3.9 milyar m³ olarak belirtilmiştir. Daha sonra biyogaz, Merkez Toprak su Araştırma Merkezi Ankara’da şimdiki adıyla Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü’nde çalışma alanı olmuştur. O tarihte, her ile 3 tane, bölge

merkezlerine 5 adet biyogaz tesisi kurulumu planlanmış, işletmeye açılmıştır. Bu sırada da mevcut özel girişimlere kredi ve teknik yardım sağlanmıştır. Fakat ne yazık ki tesisler işletilememiştir. Çünkü yeterli bir eğitim, üreticilere danışacak kurum ya da kişi bulunamamıştır. Bu nedenle biyogaz üretimleri olumlu bir sonuç ile maalesef sonlanmamıştır. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü konuya hala önem vermektedir (Karaosmanoğlu, 2004; Ortenblad, 2000; Buğutekin ve Binark, 2004).

Günümüzde Türkiye’de Üniversitelerin Teknik Eğitim, Fen Edebiyat, Mühendislik Fakülteleri’nde ve Fen Bilimleri Enstitü’lerinde birçok çalışma yapılmaktadır (Buğutekin ve Binark, 2004).

2.4 Biyogaz Üretimi

Biyogaz; organik maddelerin havasız ortamda parçalanması sonucu oluşan %40 – 70 Metan (CH_4), %60 – 30 Karbondioksit (CO_2), ve diğer gazlardan (H_2S , N_2 , H_2 , CO) oluşan gaz bir karışımdır. Biyogaz, renksiz, kokusuz, havadan hafif, ateşleme sıcaklığı 650–750 °C, ısı değeri 17–25 MJ/m³, havadan % 20 daha hafif ve 110 oktan sayısına sahip olan, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımdır (Sathianathan, 1975).



Şekil 2.2. Atıklardan biyogaz üretiminin akış şeması (Sathianathan,1975).

Genellikle organik maddenin %40-%60 kadarı biyogaza dönüşür. Geri kalan artık ise kokusuz, gübre olarak kullanılmaya elverişli bir katı veya sıvı üründür. Çizelge 2.4’de doğalgaz ve biyogaz bileşimi değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) biyogazın temel bileşenidir. Doğalgaz içerisindeki metan içeriği hacimce %92 iken biyogaz içerisinde %55-70

olduğu görülmektedir. Bununla birlikte karbondioksit (CO₂) miktarı doğalgaz içerisinde hacimce %0.61 seviyesinde yok denecek kadar az iken biyogaz içerisinde %35-45 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4. Doğalgaz ve biyogazın kompozisyonu (Öztürk, 2005).

Parametreler	Birimleri	Doğalgaz	Biyogaz
Metan	% Hacimce	92.0	55-70
Etan	% Hacimce	5.1	0
Propan	% Hacimce	1.8	0
Bütan	% Hacimce	0.9	0
Pentan	% Hacimce	0.3	0
CO ₂	% Hacimce	0.61	35-45
Azot gazı	% Hacimce	0.32	0-2
H ₂ S	mg/m ³	1	0-15.000
Amonyak (NH ₃)	mg/m ³	0	0-450
Su çığ noktası	°C	-5 de çığ noktası	Doygun
Net kalorifik değer	MJ/Nm ³	39.2	23.3
	kWh/Nm ³	10.89	6.5
	MJ/kg	48.4	20.2
Yoğunluk	kg/Nm ³	0.809	1.16
Nisbi yoğunluk	(-)	0.625	0.863
Wobbe index (W)	MJ/Nm ³	54.8	27.3

Organik maddeler oksijensiz ortamda parçalandığında hacmin %40-70'i metan (CH₄), %30-60'ı karbon dioksit (CO₂), %1-5'i diğer gazlar [%0-1 hidrojen (H₂), %0-3 hidrojen sülfür (H₂S)] oluşturur. Gazların genel eğilimi biyogazın karakteristik özellikleri için de geçerlidir (basınca ve sıcaklığa bağlıdır). Nem içeriği de bu karakteristik özellikleri aynı doğrultuda etkiler. Karışımın içerisindeki metan konsantrasyonu ısı değeri doğrudan etkiler. Metan gazı yandığı zaman koku oluşturmamasına rağmen, biyogaz karışımındaki H₂S gazının bulunmasına bağlı olarak koku oluşabilir (Kobya, 1992). Metan gazı miktarı uzun bekletme sürelerinde

yüksektir. Bekletme süresi kısaltılırsa metan içeriği %50'nin altına düşer, bu durumda biyogaz uzun vadeli yanmaz. Biyogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir ve ancak -164 °C'de ve yüksek basınç altında sıvı haline gelebilir. Bu özelliğinden dolayı halen kullanılmakta olan likit gazlar gibi kolayca sıvı hale gelmez. Bekletme süresinin yanında metan gazı değeri besleme materyallerine de bağlıdır. Bazı materyallerin metan gazı değerleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı materyallerin metan gazı değerleri (Çeken, 1997).

Atıklar	Hacimce Metan Gazı Oranı (%)
Sığır Gübresi	65
Tavuk Gübresi	60
Domuz Gübresi	67
Saman	59
Çimen	70
Yapraklar	58
Mutfak Çöpleri	50
Deniz Yosunu	63
Su Sazı	52

Farklı türden mikroorganizmalar anaerobik koşullar altında organik substratların karbonlarını metabolize ederler. Bu işlem, ayrışma veya anaerobik fermentasyon, bir besin zincirini takip eder. Mesela, eğer gübre bu şekilde işlemde geçirilirse, sindirilmiş gübre taze gübreye göre çok daha az kokuyla son ürün olarak elde edilir. Buna ek olarak, bu sindirilmiş gübre nötr pH-derecesine sahiptir ve bitkilere uygulandığında yakıcı etkisi ortadan kalkar. Ayrışmadan sonra azot genellikle organik bağını yitirmiş olur ve amonyak (NH₃) formunda bulunur. Bundan dolayı, bitki tarafından direk olarak özümselenebilir. Bu şekilde çiftçiler, gübreleştirmenin basit ve ucuz bir yolunu elde ederler. Pahalı mineral gübrelerden vazgeçebilirler.

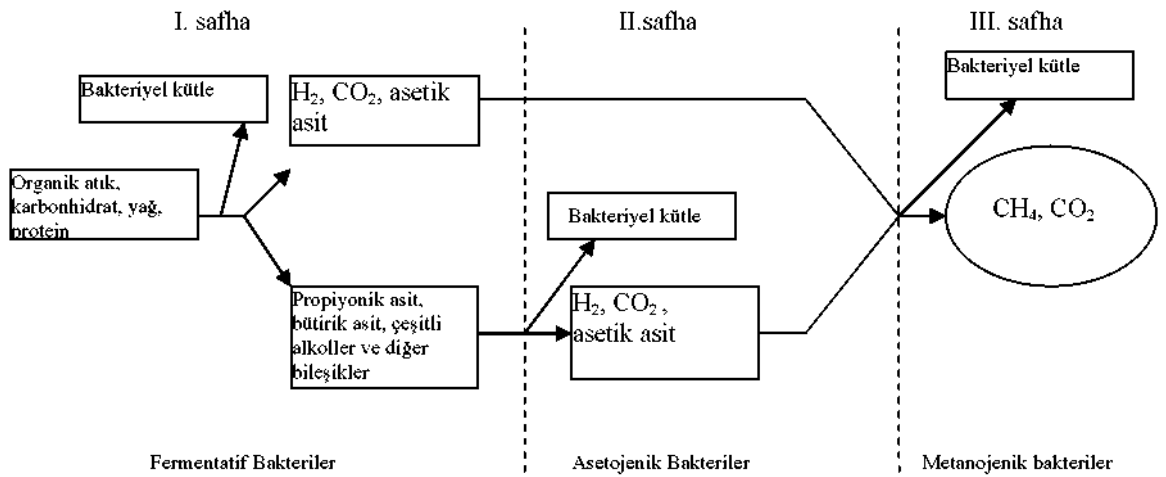
2.5 Biyogaz Üretiminin Aşamaları

Biyogaz üretimi karmaşık ve farklı rolü olan mikroorganizmaların bulunduğu kompleks bir biyokimyasal süreçtir. Burada genellikle başlıca iki grup bakteri (asit bakterileri ve metan bakterileri) esas görevi üstlenirler. Bunlarda kendi arasında ikiyeşer alt gruba ayrılmaktadır:

Asit bakterileri organik maddelerden bütirik/propiyonik asiti üretirler, metan bakterileri asiti ve hidrojeni kullanarak metan üretirler.

Kompleks organik maddelerin havasız ayrışması en genel halde hidroliz safhası, asit üretimi safhası ve metan üretimi olmak üzere üç safhalı bir proses halinde ele alınabilir (Demir ve Öztürk, 1989). Anaerobik çürümenin safhaları Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

İlk safhada yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddeler bakterilerin hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha düşük molekül ağırlıklı organik maddelere dönüşür. Asit üretimi safhasına ise düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitleri ve ardından da asetik asite dönüştürülür. Son safhada ise asit üretimi safhasında üretilen asetik asitin parçalanmasıyla veya CO₂ ve H₂ senteziyle metan üretimi gerçekleşir.



Şekil 2.3. Anaerobik parçalanma aşamaları (Kossmann ve Pönitz, 1999).

2.5.1 Hidroliz

Organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından yapı taşlarına ayrılması olayına hidroliz denmektedir. Anaerobik parçalanma çok aşamalı bir süreçtir, Temel adımlardan birisi hidrolizdir. Hidroliz işlemi süresince karmaşık yapıda bulunan parçalanamayan substrat makromoleküller yapıya sahip bakteriler aracılığıyla daha basit ve daha çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar (Parawira vd., 2005).

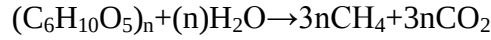
Bakterilerin hücre dışı enzimleri partikül substratları küçük taşınabilir moleküllere hidroliz ederler, hidrolize olan bu küçük taşınabilir moleküller hücre zarı arasından geçebilir. Enerji sağlamak için ve hücresel bileşenler sentez etmek

için hücre içerisinde bu basit moleküller kullanılır. Polisakkaritler basit şekerlere dönüştürülür, selülozun hidrolizi selülaz enzimi tarafından gerçekleşir glukoz oluşur, hemiselülozun hidrolizi ise xyloz, glikoz, pentozos, arabinoz ve mannoz gibi monosakkaritlere indirgenmesi ile sonuçlanır. Nişasta da amilaz enzimi tarafından glukozla dönüştürülür (Parawira vd., 2005). Enzimler için optimum pH ve sıcaklık değerleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Patates posasının anaerobik çürümesinde rol oynayan hidrolit enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Parawira vd., 2005).

Enzimler	pH	Sıcaklık (°C)
Amilaz	5.0-9.0	50
Karboksimetil Selülaz	5.0	60
Xylanaz	6.0	50
Pektinaz	7.0-9.0	50
Proteaz	6.0	50
Filtre kağıdı selülaz	6.0	50

Glikozun polimeri olarak ele alındıkları takdirde polissakkaritlerin hidroliz yolu ile tam anaerobik fermentasyonu;



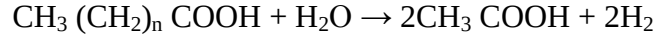
reaksiyonu ile ifade edilir.

Hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilen oldukça yavaş bir süreçtir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşı (mikroorganizma bekleme süresi) dir. Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan önemli oranda yağ ve diğer yavaş hidrolize olan maddeler ihtiva eden atıkların havasız sindiriminde hidroliz hız sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir (Kennedy ve Van den Berg, 1982). Özellikle bazı selülozlu atıkların havasız arıtımında da hidroliz sınırlayıcı rol oynar. Lignin de oldukça kompleks bir maddedir ve rastgele moleküler yapısı dolayısı ile anaerobik şartlarda hiç hidrolize olmaz veya reaksiyon hızı çok düşük olur.

2.5.2 Asetik asidin oluşumu

Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetojenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir

kısm asetojenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir.

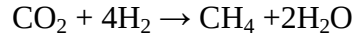


Diğer bir kısım asetojenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır (www.eie.gov.tr, Ziyaret Tarihi: 10.07.2014).

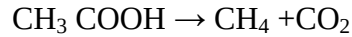


2.5.3 Metanın oluşumu

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



Çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar.



Ancak bu aşamada birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından daha azdır. Üretilen tüm metanın %30'u birinci yolla %70'i ikinci yolla yapılmaktadır (URL-1).

Organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidrat, yağ ve proteinden anaerobik fermentasyon sonucu elde edilecek CH_4 ve CO_2 'nin ağırlık yüzdesi olarak bileşimi, 1kg organik katı maddeden (KM) üretilebilecek biyogaz ve metan miktarları ile üretilen biyogaz içindeki hacimsel olarak metan yüzdeleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Organik maddenin üç temel ögesinden elde edilecek biyogaz ve metan miktarlarıyla hacimsel ve ağırlık yüzdesi olarak gaz bileşimleri ([URL-1](#)).

Organik Madde Ögesi	Ağırlık %'si olarak biyogaz karışımı		Birim organik kuru maddeden gaz üretimi (m ³ /kg KM)		Hacimsel olarak % metan
	% CO ₂	% CH ₄	Biyogaz	Metan	
Karbonhidrat	73	27	0,75	0,37	50
Yağ	52	48	1,44	1,04	72
Protein	73	27	0,98	0,49	50
Burada ağırlık ve hacimsel %'lerde meydana gelen farklılık CO ₂ ve CH ₄ 'ün yoğunluklarının farklı olmasından ileri gelmektedir. CO ₂ =2x hava yoğunluğu; CH ₄ =1/2x hava yoğunluğu.					

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

Bunlar;

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

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Bu üç bakteri grubu ile yapılan fermantasyon, sakrofilik, mezofilik ve termofilik fermantasyon adlarını almaktadır. Bu bakteri gruplarından 1. ve 3. grupta yer alan sakrofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Sığır gübresinde mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda, mezofilik fermantasyon uygulanır ([URL-1](#)).

Organik maddenin anaerobik fermantasyonu sonucu açığa çıkan biyogazın bileşimi, organik maddenin cinsine ve fermantasyon biçimine bağlı olarak değişmekle beraber ortalama hacimsel bileşimi Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. 1m³ biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi (URL-1).

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

Anaerobik fermentasyon, fermentörün yeni materyalle beslenme biçimine göre de çeşitlenmektedir. Bu açıdan anaerobik fermentasyonu 3 grupta incelemek mümkündür.

1. Sürekli fermentasyon: Bu fermentasyon biçiminde organik madde fermentöre her gün bekletme süresine göre belirli miktarlarda verilmekte ve aynı oranlarda fermante olmuş materyal günlük olarak fermentörden alınmaktadır. Bu fermentasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olmaktadır.

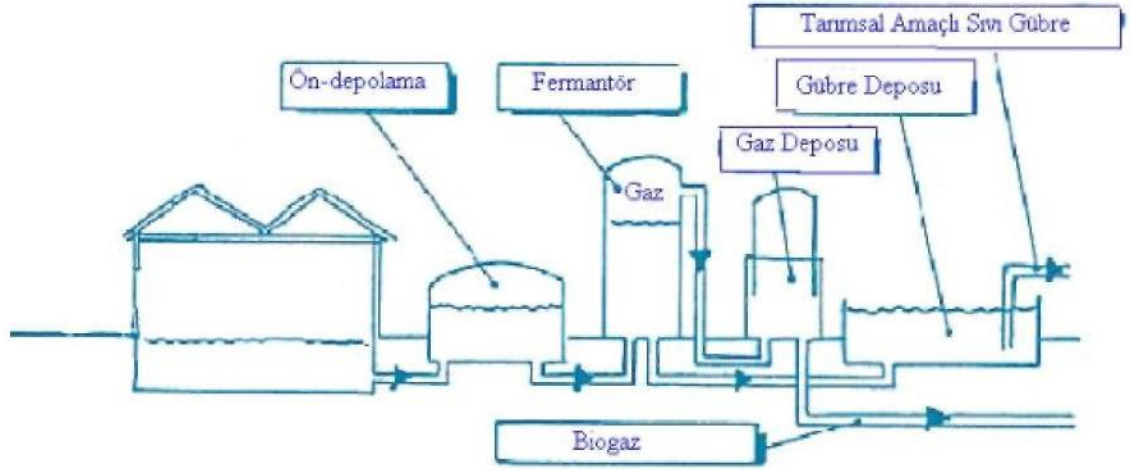
2. Yarı sürekli fermentasyon: Burada fermentör başlangıçta gelirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermentasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermentasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3. Kesikli fermentasyon: Burada fermentör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulmakta, fermentasyon süresi sonunda fermentör boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

2.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Gübre Miktarının Belirlenmesi

Hayvan gübreleri içerdikleri zararlı bitki tohumlarının ve patojen mikroorganizmalarının yok edilmesi ve azot-karbon oranının yükseltilmesi amacıyla taze olarak toprağa verilemezler. Gübreliklerde belirli süre bekletilmeleri gerekir. Bu zorunlu bekletilme süresi içerisinde karbon, azot, potasyum ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin önemli bir kısmı kaybolur. Bu kaybın değeri yaklaşık % 30 – 33 kuru madde kaybına karşılık gelmektedir. Gübrenin bu zorunlu bekletilme süresini

ortadan kaldırmak ve kayıp olan gübreyi biyogaz olarak geri kazanmak amacıyla hayvansal atıklar aneorobik fermantasyona tabi tutulabilirler. Fermantasyon sonucu elde edilecek olan organik gübrenin diğer bir üstünlüğü de anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır (Topkaya, 2001).



Şekil 2.4. Biyogaz tesis şeması (URL-1).

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

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

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

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

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

x : Hayvan ağırlığı (kg)

Bu eşitliklerden yararlanarak 50 baş hayvandan elde edilebilecek günlük gübre ve idrar üretimi toplamı, hayvan ağırlığı 500 kg alındığında yaklaşık 1730 kg'dır. Gübrenin kuru madde oranı %18 kadardır. Bu gübrenin fermantöre yüklenmeden önce bakterilerin kuru maddeden yararlanabilmesi için kuru maddesinin %9'a indirilmesi gerekir. Bu nedenle taze gübre yarı yarıya sulandırılır (URL-1).

2.7 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimini etkileyen faktörler aşağıdaki 10 maddede verilmektedir.

2.7.1 Besleme sıklığı

Düzenli bir gaz üretimi ve sıcaklık kontrolünü sağlamak için çürütücüyü sık aralarla, örneğin günde birkaç kez beslemekte yarar vardır. Besleme sıklığının artması organik maddenin parçalanma hızını yükseltmektedir. Çünkü düzenli bir gaz üretimi için karışım içerisindeki katı madde miktarının sabit tutulması gerekmektedir. Katı madde miktarını sabit tutabilmek için günlük besleme karışımına katılacak su ve gübre miktarları ile günlük besleme miktarları hesaplanır.

Belli bir bekletme süresi seçilir ve üreteç hacmi seçilen bekletme süresine bölünür, böylece günlük besleme miktarı bulunur.

$$\text{Günlük Besleme Miktarı (litre/gün)} = \frac{\text{Üreteç Hacmi (litre)}}{\text{Bekleme Süresi (gün)}}$$

2.7.2 Katı madde içeriği

Kullanılan substratta katı madde içeriğindeki artış, metanojenlerin aktivitesini kademeli olarak yavaşlatır ve sonuç olarak biyogazın kalitesi düşer (Kossmann ve Pönitz, 1999). Biyogaz tesislerinde katı madde oranının %7-12 civarında olması önerilmektedir (Demir, 1993). Anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, kütlece %12 katı madde oranının aşılması durumunda ise düştüğü görülmektedir (Ardıç ve Taner, 2004; Desai vd., 1994; Lay vd., 1997). Anaerobik ayrışma ortamındaki katı madde oranı çok yüksek ise karıştırma işleminin zor olmasından ve karıştırma için harcanan enerji daha fazla olacağına biyogaz üretim miktarı düşer. Katı madde oranının çok düşük olması ise mikroorganizmalar tarafından tüketilecek substrat miktarının az olması anlamına gelmektedir dolayısıyla bu durumda da biyogaz üretim miktarı düşer.

2.7.3 Hidrolik bekleme süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir (Öztürk, 2005). Bu durum aşağıdaki denklem ile ifade edilebilmektedir.

$$HBS = \frac{\text{Reaktör Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük Debi (m}^3\text{/gün)}}$$

Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlamaktadır. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği tahmin edilmektedir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişim gösterebilmektedir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gün arasında olabilmektedir. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 güne çıkabilmektedir.

Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir.

HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Sığır gübresi daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Mezofilik şartlarda ortalama HBS aşağıda verilmiştir.

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

Hidrolik bekleme süresinin yeterli olmadığı durumlarda reaktörden bakteriler daha hızlı uzaklaşabilmekte ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artabilmektedir. Bu durumda fermentasyon sürecinin tam olarak sonuçlanmaması nedeniyle biyogaz oluşumu azalabilmektedir. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşebilmektedir.

Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi azaldığı için, yüksek sıcaklıklarda biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu nedenle hidrolik bekleme süresi ve ortam sıcaklığı arasındaki ilişki nedeniyle reaktör sıcaklığı belirlenirken bu durum dikkate alınmaktadır (Öztürk, 2005).

2.7.4 Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı, birim hacim fermantöre günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak adlandırılmaktadır. Organik yükleme hızı, sıcaklığa, atıktaki organik kuru madde miktarına ve bekleme süresine bağlıdır (Öztürk, 2005; Igoni vd., 2008).

Yükleme oranı, günlük olarak fermantöre beslenen uçucu katıların miktarının belirlenmesini sağladığından, süreç için önemli bir kavramdır (Igoni vd., 2008).

Atıktaki %12'den fazla katı miktarı, gaz üretimini olumsuz etkiler. Ekonomik sebeplerden ötürü katı madde, kuru madde miktarının %30'unu geçmemelidir. Çünkü;

- Çok düşük su içeriği hücre büyümesini geciktirir.
- Substrattaki malzeme transferi limitleyici faktör olur.
- Biyokütle pompalanamaz ve karıştırılamaz.

Çok düşük yüklemede ise proses çalışır ancak çok fazla su geçişi olduğundan ekonomik olmaz.

Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda fermantör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da gaz üretim hızını düşürür, hatta durdurur. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer (Öztürk, 2005).

Hacimsel yük değişiminin etkilerinden kaçınmak için fermantör günde 2 kez ya da sürekli olarak beslenmelidir.

Ekonomik nedenlerden ötürü biyogaz reaktörleri maksimum parçalanabilir organik maddenin %65-75'inin ayrıştırılması esasına göre dizayn edilmelidir (Murphy vd., 2004; Deublein ve Steinhauser, 2008).

2.7.5 Karıştırma

Reaktördeki karıştırma işleminin sisteme kazandırdığı kararlılığın sağlanabilmesi ve sürdürülebilmesi açısından faydalar, aşağıdaki gibidir (Aoki vd., 2006; Deublein ve Steinhauser, 2008).

- Üretilen biyogaz çıkışını hızlandırır,
- Bakteri popülasyonu ile taze atığın birbirine karışmasını sağlayarak reaksiyonu hızlandırır,
- Reaktör üst yüzeyinde filamentli mikroorganizmaların gelişmesi ile oluşan ve gaz deşarjını önleyen köpük oluşumunu engeller,
- Atıklarda yer alan küçük partiküllerin tabana çökmesini önler,
- Fermantör içerisinde sıcaklık dağılımının homojenliğini sağlar,
- Fermantördeki bakteri popülasyonu yoğunluğunu düzenler,
- Reaktör içerisinde ölü alanların oluşumunu engeller.

Karıştırma işlemi çok etkin ve dikkatli bir şekilde yapılmalı ve işlem esnasında aşağıda belirtilen konulara dikkat edilmelidir (Deublein ve Steinhauser, 2008):

- Fermantörden biyogaz etkili bir şekilde alınmalıdır.
- Asit ve metan üreten mikroorganizmalar arasındaki simbiyoz yaşama zarar verilmemelidir.
- Mikroorganizmalar strese karşı hassas olduklarından çok güçlü karıştırmadan kaçınılmalıdır.

2.7.6 Sıcaklık kontrolü

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık şartlarında aktif değildirler. Biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizmaların büyümesi sıcaklık artışı ile artar. Metan oluşturuvcu bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar (Öztürk, 2005).

Biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında aşağıdaki sıcaklık aralıkları korunmalıdır. Bunlar:

Sakrofilik sıcaklık aralığı 5-25 °C

Mezofilik sıcaklık aralığı 25 °C - 38 °C

Termofilik sıcaklık aralığı 50-60 °C

Mikroorganizmalar belli sıcaklık aralığında optimum büyüme sağlarlar. Biyokimyasal reaksiyonla metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar (Şekil 2.5).

Termofilik sıcaklık şartlarında mezofilik sıcaklık şartlarına göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre daha fazladır. Dolayısıyla reaktör hacmi mezofilik şartlara göre daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha yüksek organik yükleme yapılabilir. Ancak biyoreaktörü termofilik şartlarda çalıştırmak için ilave ısıya ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarının sıcaklık artışı ile arttığı unutulmamalıdır. Bu da biyoreaktör performansını olumsuz yönde etkileyebilir (Öztürk, 2005).

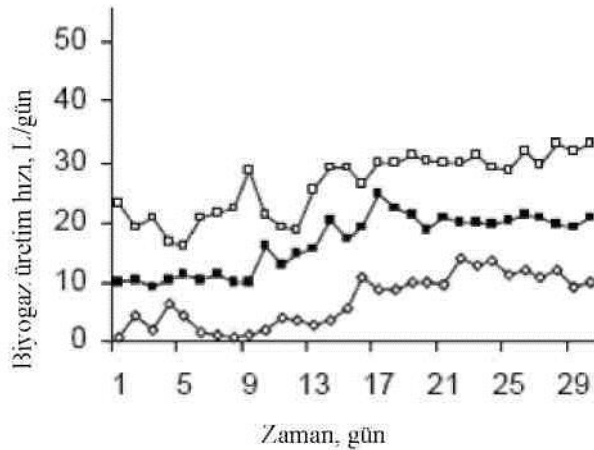
Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C'nin üzerinde tutulduğu zaman daha iyi performans sağlanabilir. Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C'nin altına düştüğü zaman biyogaz üretimi düşer. Bu sıcaklıkta biyogaz tesisinin işletilmesi ekonomik değildir. Çevre sıcaklığı 10 °C'nin altına düştüğünde gaz üretimi durur. Biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında sıcaklık;

Psikofilik şartlarda ± 2 °C /saat

Mezofilik şartlarda ± 1 °C/saat

Termofilik şartlarda ± 0.5 °C/saat

aralığında korunmalıdır.



Şekil 2.5. Psikofilik (◇), mezofilik (■), termofilik (□) sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızı üzerinde etkisi (Bouallagui vd., 2004).

Biyoreaktörlerde sıcaklığın ani olarak değişmesi bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da biyokimyasal reaksiyonu yavaşlatır. Biyogaz güç üretim tesisinin ısısından faydalanılarak reaktörün sıcaklığı sabit tutulabilir (Öztürk, 2005).

Biyoreaktörler yeraltında kurulduğu zaman gece ile gündüz arasındaki sıcaklık dalgalanması büyük ölçüde önlenir. Mikroorganizmalar kısa süreli sıcaklık değişikliğine karşı dayanıklıdır. Tesisler mümkünse yerden bir metre derinlikte kurulmalıdır.

Çoğu küçük reaktörler mezofilik şartlarda çalıştırılmaktadır. Buradaki optimum sıcaklık 35 °C'dir.

Anaerobik çürütme istemleri sıcaklık değişimlerine (özellikle ani sıcaklık düşüşü) karşı, aerobik sistemlere göre çok daha hassastır (Öztürk, 2005). Anaerobik çürütücünün optimum işletme sıcaklığı 30-35 °C'dir. Bu sıcaklık tank içine yerleştirilen ısıtıcılarla sağlanabilir. Isıtma için tesisten elde edilen biyogazdan ve güneş enerjisinden faydalanılabilir. Ayrıca tesisi sera içine almak, siyaha boyamak gibi yöntemler de kullanılabilir. Çürütücünün ısı izolasyonu iyi bir şekilde yapılmalıdır.

Çürütme çamurunda özellikle soğuk kış aylarında görülebilecek bir sıcaklık düşüşü, yetersiz ısıtma kapasitesi ya da tankın dış yüzeylerinde yetersiz izolasyondan kaynaklanabilir.

2.7.7 pH kontrolü

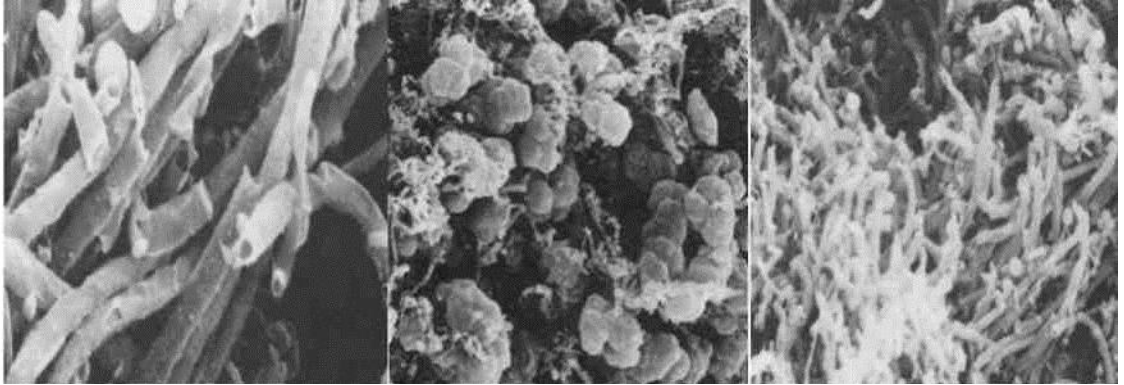
pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltide bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ve daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonunun aktivi-tesini göstermektedir (Samsunlu, 1999).

- $pH < 7$ ise ortam asidik
- $pH > 7$ ise ortam bazik demektir.

Bütün canlı hücrelerin iç ortam pH'ı 7 civarındadır. Asit üreten bakterilerin 5.5 gibi düşük pH'da faaliyet göstermesine karşın metan üreten bakteriler pH 6.5 olan ortamlarda yaşayamazlar; bunlar için en uygun pH 6.8-7.2 arasında veya 6,5-8,5 olabilir fakat 0,5 artma veya azalma sistemin gaz üretimine zarar vermez (Yılmaz vd., 1988; Brummeler vd., 1985).

Başlangıçtaki asit fazı esnasında pH=6'ya veya daha aşağıya düşebilir. Bu arada büyük miktarda CO₂ gazı açığa çıkar. 2-3 hafta sonra uçucu asitlerle azotlu bileşiklerin sindirilmesi ve amonyak bileşiklerinin oluşması sırasında asitlik yavaş yavaş azalır. Fermantasyon ilerledikçe daha az CO₂ ve daha fazla CH₄ üretilmeye başlanır ve pH yavaş yavaş 7'ye yükselir.

Eğer sistemin dengesinde, uçucu yağ asitlerinin birikimi sonucu bir bozulma olursa pH'da düşme görülür. Bu gibi durumlarda pH ayarlaması yapmak gerekir. Bunun içinde; su ile seyreltme, kireç, yanmış kül ilave etme fermantörden bir miktar çamur boşaltıp yerine bir miktar taze hammadde koyma gibi işlemler faydalı olur, yalnız bu durumda çok homojen bir karıştırma gerekir. Eğer karışımın bazikliği artarsa çok miktarda CO₂ gazı açığa çıkar, bu da karışımın asitliğinin artmasına sebep olur ve bir süre sonra sistem kendini dengeler. Biyogaz fermantasyonu mikro biyolojik işlem olduğundan bazı faktörler bu mikrobik faaliyetleri önler (Taşçı, 1988).



Şekil 2.6. Farklı pH değerlerindeki metan bakterisinin elektronik mikroskopla 10µm görüntüleri (Brummeler vd., 1985).

2.7.8 C/N oranı

Karbon ve azot konsantrasyonu, anaerobik fermantasyonun performansını belirler. Genel olarak bu parametrelerden biri sistemde engelleyici unsur olarak gelişir (İgoni vd., 2008).

Biyogaz üretiminde kullanılan tüm besi maddeleri, belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Karbondan başka en önemli besi maddeleri azot ve fosfordur. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir (Öztürk, 2005).

Besi maddesinde azot bulunmasının iki faydası vardır. Birincisi, aminoasitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar. İkincisi, amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önler. Böylece metan oluşturunca bakterilerin büyümesi için uygun pH şartları sağlanmış olur (Öztürk, 2005).

Besi maddesindeki bileşikler, biyoreaktörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Substrattaki C/N oranı 16:1-25:1 arasında olmalıdır (Deublein ve Steinhauser, 2008). Başka bir yaklaşımda ise en uygun işletim şartları için hammadde içindeki C/N oranının 30:1 olması gerektiği vurgulanmıştır (Igoni vd., 2008).

Anaerobik proseste fazla miktarda biyokütle geliştirilmediğinden nütrient ihtiyacı azdır. Bu nedenle metan üretimi için nütrient oranı C:N:P:S için 500-1000:15-20:5:3 ve/veya organik madde oranı KOİ:N:P:S için 800:5:1:0,5 etkilidir (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Substrattaki çok düşük C/N oranı NH_3 üretimini yükseltir ve metan üretimini inhibe eder. Çok yüksek C/N oranı azot eksikliği anlamındadır, bu da protein üretimi için olumsuz etki yapar.

Optimum C/N oranı farklı organik maddelerin kofermantasyonu ile elde edilebilir (Öztürk, 2005).

2.7.9 Köpük oluşumu ve kontrolü

Fazla miktarda gaz çıkışı çürütücülerde kaçınılmaz olarak kalıcı köpük tabakasına yol açabilir. Köpük oluşumu, gaz çıkışının fazla olduğu işletmeye alma, inhibisyon sonrası iyileşme veya organik yükteki ani artıştan kaynaklanabilir (Mosey ve Foulkes, 1984; Öztürk, 2005). Köpük oluşumu, sıcaklık veya çamur bekleme süresinin yükselmesiyle azalır. Anaerobik reaktörde sıcaklık, köpük oluşumunu iki yolla etkileyebilir, doğrudan çamur partiküllerine gaz kabarcıklarının adsorbsiyon veya dolaylı olarak ayrışma yönünü etkilemesiyle. Bununla birlikte yüksek köpük formasyonlu çamur, gaz üretiminin varlığında ortaya çıkar (Halalsheh vd., 2005).

Çamur bekleme süresinin aynı zamanda yağların konsantrasyonu üzerinde bir etkisi vardır, çamur partiküllerini adsorblamaya ve yüzmeye meyillidir (Rollon, 1999; Halalsheh vd., 2005). Yağ gideriminin geliştirilmesiyle birlikte köpük oluşumunun düştüğü gözlenmiştir (Halalsheh vd., 2005). Kesimhanelerin çıkış

sularından yağ ayrımı çözünmüş hava flotasyonu ile yapılabilir. Ayrıca pH'ın düşmesiyle de köpük olumunun yükseldiği gözlenmiştir. Köpüğün doğal sabun maddesi olan stearik ve palmitik asit gibi uzun zincirli yağ asitlerinin reaktörde geçici olarak birikimi ile enzimatik hidroliz yoluyla parçalanmaları sonucu oluştuğu yolunda görüşler de vardır (Mosey ve Foulkes, 1984; Öztürk, 2005). Böyle durumlarda çamur beslemesinin birkaç günlüğüne kesilmesi köpüğün önlenmesi için yeterlidir. Hidrolik bekleme süresinin 10 günden küçük olduğu hallerde de köpük sorunu yaşanmaktadır. Çürütücü üst kısmındaki kararlı köpük tabakasını ortadan kaldırmak üzere mekanik karıştırma ve bu kısma köpük söndürücülü su püskürtme gibi tedbirlere de başvurulmaktadır (Öztürk, 2005).

2.7.10 Toksisite

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümelerini geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/l amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/l amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar (Öztürk, 2005). Aşırı uçucu yağ asiti (UYA) birikimi metanojenleri inhibe edebilir, çünkü yüksek hidrojen seviyeleri propiyonik ve butirik indirgeyen asetojenleri inhibe edebilir (Angelidaki ve Ahring, 1993; Magbanua vd., 2001). Gübre aynı zamanda protein ve üre gibi bileşikler de içerir, bunların parçalanmasıyla amonyak açığa çıkar, bu asetik asit metanojenleri için etkili bir inhibitördür (Heinrichs vd., 1990; Magbanua vd., 2001).

Sığır gübresinin çürümesinde amonyak toksisitesi yaklaşık olarak 2.5 g/l amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) olarak kaydedilmiştir (Angelidaki ve Ahring, 1994; Magbanua vd., 2001). Domuz ve kümes hayvanları gübrelerinin çürümesinde ise 4 g/l ($\text{NH}_3\text{-N}$)'den daha fazla değerlerde amonyak toksisitesi kaydedilmiştir (Angelidaki ve Ahring, 1993; Magbanua vd., 2001). Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması

önlenmelidir. Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Anaerobik arıtmada farklı amonyak konsantrasyonlarının metan üretimi üzerine etkileri Çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin sınır değerleri (Kossmann ve Pönitz, 1999).

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

Çizelge 2.10. Amonyagın metan üretimi üzerine etkisi (Öztürk, 2005).

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

2.8 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Kofermantasyon Uygulaması

Biyogaz üretiminde kullanılan başlıca atıklar, hayvansal atıklar (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan), tarımsal atıklar, gıda atıkları, evsel katı ve sıvı atıklar, endüstriyel atıklar, atıksu arıtma tesisi atıkları ve mısır silajı gibi özel olarak yetiştirilen ürünlerdir.

Tarım ve hayvancılıktan kaynaklanan atık ve gübreler, biyogaz eldesinde önemli bir yere sahiptir. Fotosentez amacıyla bitkiler tarafından tutulan enerjinin, insanların beslenmesi için sadece 1/150’si kullanılmaktadır. Hayvanlar ise yemdeki besin maddelerinin en fazla %45’inden yararlanabilirler ve bitki besin maddelerinin yarısından fazlası dışkı ile gübreye geçer. Bu nedenle beslenme amacıyla kullanılamayan bitkisel ve hayvansal artıkların biyogaz üretimde yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynağı olarak kullanılması gündeme gelmiştir. Tarım

işletmelerinde yeşil ot, silaj artıkları, enerji bitkileri, budama atıkları gibi hasat artıklarının da biyogaz üretiminde kullanılmaları mümkündür. Ancak bu materyallerin genellikle yılın belirli mevsimlerinde bulunabilmesi, temin açısından sorun yaratabilir.

Gıda sanayi atıkları geniş bir spektrum içerisinde yer alırlar. Çok düşük düzeyde kuru madde içeriğine sahip olan materyaller yanında, yüksek kuru madde içerenler de vardır. Üretimleri yılın belirli mevsimlerinde olanlar yanında, tüm sene kullanılabilecek olanlar da bulunmaktadır. Gıda sanayi atıklarının en önemli avantajı zararlı maddeleri çok düşük düzeyde içermeleri ya da hiç içermemeleridir. Üretilen gaz miktarı, çiftlik gübrelerinden üretilenden daha fazladır. Bu nedenle tesisin ekonomik işletilmesinde katkıları bulunmaktadır. Ayrıca homojen bir yapıya da sahiptirler.

Evsel sıvı ve katı atıklar, homojen bir yapıya sahip değildirler. Fiziki büyüklükleri tekdüze olmadığı gibi kimyasal içerikleri de farklılık gösterir. Yıl içerisinde de içerikleri değişmektedir. Zararlı maddeleri içirme riskleri yüksektir. Ayrıca evsel sıvı atıklar besin maddeleri açısından zengin olduğu için fermentasyon materyalinin sulandırılmasında kullanılabilir. Bunun yanı sıra atık su arıtma tesislerinde anaerobik fermentasyonla biyogaz eldesi, oldukça yaygın bir uygulamadır.

Pek çok endüstride de atıklardan biyogaz eldesi uygulanmaktadır. Bazı bölgelerde de biyogaz eldesi için enerji mahsulü olarak tarımsal ürünler yetiştirilmektedir.

Bu atıkların yanı sıra kesimhane atıkları da anaerobik fermentasyon için uygundur. Ancak koku ve hijyen sorunu bulunmaktadır. Kuru madde içeriklerinin düşük olması sorun yaratabilir. Ayrıca yemek artıkları da biyogaz eldesinde kullanılabilir. Zararlı maddeleri çok az düzeyde içerir. Büyük mutfaklardan alınan atıklarda bulunan kemiklerin öğütülmesi gerekir. Fermentasyon öncesi pastörize edilmeleri gerekebilir.

Biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılan atık türleri ve bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarları Çizelge 2.11’de yer almaktadır.

Çizelge 2.11. Atıklardan ortalama biyogaz üretim miktarları (Werner vd., 1989).

Besi Maddesi	Gaz Üretim Aralığı (lt/kom)	Ortalama Gaz Üretim Değeri (lt/kgOKM)
Domuz Gübresi	340-550	450
Sığır Gübresi	150-350	250
Kümes Hayvanları Gübresi	310-620	460
At Gübresi	200-350	250
Koyun Gübresi	100-310	200
Ahır Gübresi	175-320	225
Tahıl Atığı	180-320	250
Mısır Samanı	350-480	410
Pirinç Samanı	170-280	220
Çim	280-550	410
Fil Çimeni	330-560	445
Küspe	140-190	160
Bitkisel Atıklar	300-400	350
Su Sümbülü	300-350	325
Alg	380-550	460
Kanalizasyon Çamuru	310-640	450

Organik atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı, atıkların kimyasal yapısına, bakterilerin ihtiyaç duyduğu besin maddesi içeriklerine, selüloz miktarına, C/N oranına ve biyokimyasal olarak parçalanabilme özelliklerine göre değişir. Farklı organik atıkların içerikleri ve elde edilebilecek elektrik ve ısı enerjisi değerleri Çizelge 2.12’de özetlenmiştir.

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretimi konusunda yapılan ilk çalışmalarda çiftlik gübresi kullanılmıştır. Zaman içerisinde edinilen tecrübelerle, fermantasyon işleminde farklı atık türlerinin gübre ile birlikte kullanımı gündeme gelmiştir (Bouallagui vd., 2009).

Birden fazla atık malzemenin homojen karışımının fermantasyonu, kofermantasyon, farklı tipte kullanılan malzemeler ise komateryal olarak adlandırılır (Bouallagui vd., 2009). Proses performansını artırma ve farklı atık türlerini eş zamanlı ve daha ekonomik olarak değerlendirebilme şansı sunan kofermantasyon uygulamasında tarımsal, kentsel, kırsal ve endüstriyel katı ve sıvı atıklar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Bouallagui vd., 2009). Kofermantasyon uygulamalarında, reaktörde fermantasyon işleminin gerçekleşebilmesinde gerekli ve yeterli bakteri popülasyonunun sağlanabilmesi için, çiftlik gübresi genellikle ana bileşen olarak gereklidir (Bouallagui vd., 2009). Diğer atık türleri çiftlik gübresi ile birlikte

kullanılır. Kullanılacak komateryalin zararlı bileşenler yönünden incelenmesi önemlidir.

Çizelge 2.12. Farklı organik atıkların yapıları ve enerji üretimi (Bouallagui vd., 2009).

Materyal	KM*(%)	OKM**(%)	N _{top} (%)	NH ₄ -N ⁺ (% - N _{top})	P ₂ O ₅ (%KM)	K ₂ O(%KM)	Enerji Üretimi (kWsa/kgOKM)	Isı Üretimi (kWsa/kgOKM)
Sığır Gübresi	6-11	68-85	2,6	39-60	0,5-3,3	5,5-10	0,46	0,49
Tavuk Gübresi	10-29	75-77	2,3-6	69-70	2,3-6,2	1,2-3,5	0,55	0,60
Koyun Gübresi	25-30	80	3	35	1,2-1,7	2,7-4,8	0,92	0,99
At Gübresi	28	75	2,1		1	1,8	0,69	0,74
Ot Silajı	26-82	67-98	3,5-6,9	6,9-19,8	0,38-0,76	-	1,15	1,23
Yonca	20	80	2,8	-	0,7	3	0,92	0,99
Tahıl Samanı	85-90	85-89	0,5	-	0,2-0,4	11-2,3	0,69	0,74
Mısır Samanı	86	72	1,2	-	0,5	1,7	1,38	1,48
Pancar Yaprağı	15-18	78-80	2,0-2,5	-	0,5-1,1	4,0-4,7	0,92	0,99
Patates Yaprağı	25	79	1,5	-	0,5	2,9	1,15	1,23
Elma Posası	2-3,7	94-95	-	-	0,73	-	0,69	0,74
Patates Posası	12-15	90	5-13	-	0,9	6,4	0,76	0,87
Bira Yapım Atıkları	21-15	66-95	4-5	-	1,5	1,2	1,84	1,98
Sebze Atıkları	5,20	76-90	3-5	-	0,8	1,1	0,92	1,99
Biyoçöp	40,75	30-70	0,5-2,7	7	0,2-0,8	0,3-0,8	0,46	0,49
Çimen	11,7	87-93	3,3-4,3	-	0,3-2	2-9	1,38	1,48

* KM: kuru madde

**OKM: organik kuru madde

Kofermantasyon işlemi aşağıda belirtilen pek çok ekolojik, teknolojik ve ekonomik fayda sağlar (Sosnowski vd., 2003; Jingura ve Matengaifa, 2009):

- Farklı malzemeler içermesi nedeni ile sağladığı gelişmiş ve dengelenmiş nütrient miktarı, kararlı ve sürekli bir fermantör performansı ve nihai ürün olarak iyi kalitede gübre sağlar.
- Homojen hale getirme sonucunda, farklı karakterdeki atıkların birbirini etkileyerek kalitelerinin optimizasyonunu ve potansiyel toksik bileşiklerin seyrelmesini sağlar.

- Tek başına hayvan gübresi kullanımı ekonomik olarak mevcut petrol fiyatları ile rekabet edebilir değildir. Farklı atıkların kullanımı ile sağlanan yüksek CH₄ potansiyeli, gaz veriminin artmasını sağlar. Böylece rekabet gücü artar.
- Biyolojik olarak parçalanabilen organik madde yüklemesini arttırır ve böylece daha iyi biyogaz verimi sağlar.

Tarımsal tesislerde komateryal kullanımının biyogaz verimine etkisi Şekil 2.7’de görüldüğü gibidir:



Şekil 2.7. Tarımsal tesislerde komateryal kullanımının biyogaz verimine etkisi (Deublein ve Steinhauser, 2008)

Farklı organik materyal ilavesinin biyogaz üretimine etkisinin belirlenmesi amacıyla kuru madde içeriği %4,5 ve metan içeriği %65 olan domuz gübresine farklı türde organik maddeler ilave edilmiştir Çalışmada kullanılan atıklar ve gaz üretimine etkileri Çizelge 2.13’de yer aldığı gibidir.

Çizelge 2.13. Farklı organik materyal ilavelerinin gaz üretim verimine etkisi (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Organik Materyal	Kuru Madde İçeriği	Gaz Üretimi (lt/kgOKM)	CH₄ (%)	Eklenen Miktar (% Ağırlık)	Üretim Artışı (%)	Karışımın Kuru Madde İçeriği (%)
Sebze Atıkları	12	600	60	100	360	8-9
Mezbaha Atıkları	16	360	62	20	60	7-8
Kullanılmış Yağ	50	1.000	70	5	200	8
Yeşil Ot	35	500	56	10	120	8
Buğday Sapı	83	470	60	5	100	8

Yapılan çalışmalara göre domuz gübresine %100 oranında sebze atıklarının eklenmesi ile %360, %20 oranında mezbaha atıklarının eklenmesi ile %60, %5 oranında kullanılmış yağ eklenmesi ile %200, %10 oranında yeşil ot eklenmesi ile %120 ve %5 oranında buğday sapı eklenmesi ile %100 oranlarında biyogaz üretiminde artış gözlenmiştir (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Kofermantasyon ile ilgili Macias-Corral tarafından yapılan çalışmalarda ise, tek bir atık kullanılan anaerobik fermentasyon ile belediye atıkları ve tarımsal kaynaklı atıkları 2 fazlı sistemde kullanan kofermantasyon karşılaştırılmıştır. Denemeler süresince tek aşamalı sistemlerin, pH'ın yükselmesi nedeni ile 50 gün sonunda durduğu, komateryal kullanılan sistemlerin ise 2 ay daha fazla çalışmasını sorunsuz sürdürdüğü gözlenmiştir. Çalışmanın sonunda iki fazlı kofermantasyon sisteminde %72'nin üzerinde metan verimi elde edilirken, tek aşamalı tek tür atık kullanılan sistemde %60 oranında metan üretilmiştir (Macias-Coral vd., 2008).

Bir başka çalışmada ise 3 farklı atık türü ve 2 farklı reaktör üzerinde denemeler yapılmıştır. Reaktör olarak termofilik şartlarda çalışan ardışık kesikli sistem ile; asit üretimi termofilik, metan üretimi mezofilik şartlarda çalışan sürekli iki aşamalı sistem kullanılmıştır. Bu sistemler üzerinde kanalizasyon çamuru, belediye katı atıklarının organik kısmı ve kanalizasyon çamuru ile belediye katı atıklarının organik kısmı %75-%25 oranında karıştırılarak denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sürekli beslemeli iki aşamalı sistemlerde, kesikli sistemlere göre daha fazla metan üretimi gözlenmiştir. En kısa sürede ve en yüksek

miktarda biyogaz oluşumu belediye katı atıklarından elde edilmiştir. Kanalizasyon çamurundan biyogaz eldesi daha geç başlamış ve diğer atıklara göre daha uzun süre gaz üretimi gerçekleşmiştir. İki atık türünün kofermantasyonunda ise kısa sürede gaz üretimi başlamış ve daha sabit düzeyde üretim sürmüştür (Sosnowski vd., 2003).

Böylece yapılan çalışmalar ile kofermantasyon uygulamasının biyogaz verimini arttırdığı ve aynı zamanda çevre, insan ve diğer canlılar üzerindeki olumlu etkileri ile enerji eldesi, fermente atık üretimi ve sera gazı emisyonları azaltımı ile sosyoekonomik faydaları arttırdığı da belirlenmiştir (Holm-Nielsen vd., 2009).

2.9 Biyogaz Sistemlerinin Yararları

Biyogaz sistemleri, dünyada önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Çin, Hindistan, Danimarka gibi birçok ülke bu teknolojiye önem vermekte ve sistem verimliliğini yükseltmeye yönelik çalışmaları desteklemektedir. Sistemden elde edilen biyogaz, ısıtmada ve elektrik üretiminde enerji kaynağı olarak kullanılabileceği gibi fermentasyonun diğer ürünü olan fermente atık da toprak verimliliğini artırıcı organik gübre olarak kullanılmaktadır (Anon, 1994).

Biyogaz sistemlerinin tercih nedenleri olarak belirtilen temel yararlar;

- Alternatif enerjiyle ilgili yararlar
- Fermente gübre ile ilgili yararlar
- Çevre ve sağlık açısından yararlar
- Ekonomik ve sosyal yararlar olarak sınıflandırılabilir.

a) Alternatif enerji kaynağı

Son yıllarda enerji sektörü, alternatif kaynaklardan elde edilen enerjinin oluşturduğu pazar ile birlikte yeni bir yarışa girmiştir. Biyogaz, kırsal kesimde rahatlıkla elde edilip kullanılabilecek bir alternatif enerji kaynağıdır. LPG ve mazot gibi ticari yakıtların yerine geçebileceği gibi, odun ve kurutulmuş gübre gibi ticari olmayan yakıtların da yerine kullanılabilecek bir yakıttır (Gustavsson, 2000). Gaz dolum istasyonlarında doğal gaz için kullanılan tüm makineler, yüksek metan içerikli biyogazın dolumuna da uygundur. $1,33 \text{ m}^3$ – $1,87 \text{ m}^3$ biyogaz 1 l benzine, $1,5 \text{ m}^3$ – $2,1 \text{ m}^3$ 'ü ise 1 l dizel yakıtına denk gelmektedir. Tarımda su pompalarında, öğütücü ve harman makinelerinde yakıt olarak kullanılabilmektedir (Marchaim, 1992). Avrupa'da, Orta Asya'da ve Amerika'da kurulu olan biyogaz sistemleri, elektrik

üretiminde, ısıtmada, otomobillerde ve mutfakta kullanımı ile birçok çiftliğe yarar sağlamaktadır.

Biyogazı elektrik üretiminde kullanan ülkelerde, ithal edilen yakıt miktarında azalma kaydedilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2006 yılı IV. döneminde açıklanan elektrik üretim ve dağıtım istatistiklerine göre, brüt elektrik enerjisi üretiminin % 44,44'ü doğal gaz, % 19,93'ü linyit ile çalışan termik santrallerden, % 22,41'i ise hidrolik santrallerden sağlanmıştır (Anon, 2000). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını sağlayarak, petrol kökenli yakıtların kullanımını ve bu durumun yarattığı dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla ülkemizde yapılan panellerde, biyokütle kullanımını modernleştirerek, biyogaz kullanımının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Aynı zamanda ülkemizin birçok bölgesinde, elektrik üretmek amacıyla kurulabilecek biyogaz sistemleri, yerel enerji ihtiyacını karşılayarak, merkezi dağıtımda kabloların ve trafo demirlerinin ısınmasından kaynaklanan % 7 oranındaki elektrik kaybının azaltılmasını sağlayacaktır.

Amerika'da Minnesota Eyaleti yakınlarındaki Haubenschild çiftliğinde, koku oluşumunu önlemek, zengin organik gübre elde etmek, çiftliğin elektrik ve sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla 1999'da 1600 m³ kapasiteli biyogaz sistemi kurulmuştur. 6 ay sonunda günlük 2350 kWh elektrik üreten sistem, çiftliğin tüm elektrik ihtiyacını karşılayacak seviyeye gelmiş, geriye kalan ve ortalama 45 ailenin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek miktardaki elektrik enerjisi ise şebekeye satılmaya başlanmıştır. Ayrıca jeneratör ısısından yararlanılarak elde edilen sıcak su ile fermentör ve barınaklar ısıtılmış, geri kalanı ise çiftliğin diğer ihtiyaçlarında kullanılmıştır (Nelson ve Lamb, 2000).

Biyogazın mutfakta kullanımı ile LPG, odun, kurutulmuş gübre gibi yakıtların tüketimi azalmış ve ormanların korunması sağlanmıştır (Anon, 2000). Çin ve Hindistan'da geliştirilmiş küçük ve orta ölçekli ev tipi fermentörler, aydınlatmada ve mutfakta kullanılarak büyük kazanç sağlanmıştır (Rozdilsky, 1997). Hindistan nüfusunun yaklaşık üçte biri köylerde yaşamakta ve 2,5 milyondan fazla küçük ve büyük ölçekli biyogaz sistemi pişirme amaçlı kullanılmaktadır (Jash ve Basu, 1999). 1992 yılında yapılan bir çalışmada, 9 adet köy evi biyogaz lambaları ile aydınlatılmış, 11 adet köy evinde de pişirme ve aydınlanmada biyogazdan yararlanılmıştır. Aydınlanma amaçlı kullanılan gazyağı, yüksek fiyata ve zor koşullarda elde edilirken, biyogaz köy içerisinde ve kendi kontrollerinde elde

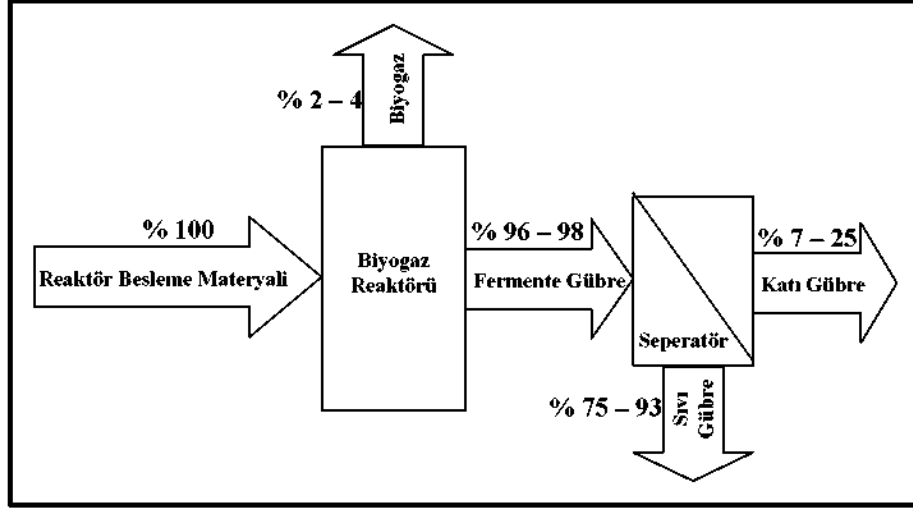
edilebilmiştir. Bu kolaylığın yanında 20 köy için ayda 104 lt olan gazyağı tüketim miktarı, biyogaz lambaları kullanılarak 40 lt'ye düşürülmüştür. Gazyağının belli oranda da olsa kullanılmasının sebebi ise, portatif lambada kullanılması ve yakıtın tutuşturulmasında kolaylık sağlamasıdır (Kumar, 2000).

Biyogazın temizlenerek basınçlandırılması ile elde edilen biyometan, CNG (sıkıştırılmış doğal gaz) ile çalışan araçlarda kullanılabilmektedir (Anon, 2000). Bu kullanımın gerçekleştirilebilmesi için korozyon etki yaratan H_2S ve buzlanmaya sebep olan CO_2 , biyogazın içerisinde mutlaka temizlenmelidir. İçten yanmalı motorlarda biyogaz, pistonlarda ya da silindirlerde çok az karbon kalıntısı bırakır, motor yağında meydana gelen kalıntıları büyük oranda düşürür. Böylece yağın kullanım ömrünü uzatır. Hareket anında silindir duvarlarındaki yağın yoğunluğunu düşürmediği için motorun ömrünü uzatır. Tetra-etil kurşun içermediğinden bujilerin ve havanın kirlenmesini önler (Arnott, 1985). Dizel yakıtı ile karışımının basit modifikasyonlar ile dizel motorda kullanımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çift yakıtlı motorlarda, hareket motorin ile başlatılmakta, daha sonra yaklaşık olarak % 80 biyogaz, % 20 motorin karışımı kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda dizel motorlarda biyogazın kullanılmasının, motor performansını % 20 oranında artırdığı rapor edilmiştir (Marchaim, 1992). Amerika'da yapılan bir çalışmada da yakıt hücresi, sülfür bileşiklerinden temizlenmiş biyogaz ile güvenli ve başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Doğal gazla uyumlu 200 kW kapasiteli yakıt hücresinde yapılan küçük değişikliklerle maksimum kapasiteye yakın elektrik üretilmiştir (Spiegel ve Preston, 2000).

b) Fermente gübrenin yararları

Biyogaz teknolojisi, organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesini hem de atıkların toprağa kazandırılarak çevrenin korunmasını sağlamaktadır. Dünyadaki birçok biyogaz sistemi bu amaçla işletilmeye başlanmış, organik gübre elde edilerek toprak verimi artırılmıştır.

Anaerobik fermentasyonda kütle denkliliğine baktığımızda, reaktöre giren kütlenin % 2 – % 4' ü biyogaza dönüşür. Reaktör çıkışında % 96 – % 98 oranında fermente gübre elde edilir. Bu kütlenin yaklaşık % 7 – % 25'i katı, % 75 – % 93'ü sıvı haldedir. Kütle denkliliğinin şematik gösterimi Şekil 2.8'de verilmiştir (Anon, 2000; Boyd, 2000).



Şekil 2.8. Anaerobik fermentasyonda kütle denklığı (Boyd, 2000).

Fermente gübre, azot ve potasyum gibi bitki besin elementlerince zengin olduğundan bitki gelişimini hızlandırır. Ham gübrede azot, organik ve amonyum formunda bulunmaktadır. Anaerobik fermentasyon sürecinde organik formdaki azot amonyum formuna dönüşür ve fermente gübre amonyum formundaki azot yönünden zengin bir hal alır. Yapılan çalışmalarda, azot yönünden fermente gübrenin kompost gübreye göre yaklaşık olarak üç kat daha zengin olduğu belirtilmektedir (Arnott, 1985; Kocar, 2007). Toprakta amonyum formundaki azot organik forma göre daha kolay serbest kaldığından, fermente gübre ham gübreden daha yararlı bulunmaktadır (Sasse, 1988; Marchaim, 1992; Koçar ve Eryaşar, 2004). Çin’de yapılan araştırmalarda, topraktaki besleyici madde miktarının % 6 – % 10 oranında arttığı, uzun süreli denemelerde ise toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. Yapılan diğer bir çalışmada da, bir yılı aşan fermente gübre uygulaması, tahıl üretiminde devamlı artışa sebep olmuştur. Fermente gübrenin fosfor eksikliğinin giderilmesi ile bu artış % 20’nin üzerine çıkmıştır. Fermente gübre, temel bitki besin maddelerinin yanında, kalsiyum, sülfür, magnezyum, bakır, çinko ve manganez gibi mikro besin maddelerini de içermektedir (Marchaim, 1992).

Fermente gübrenin balık, sığır, domuz ve kümes hayvanları için yem olarak kullanılması, biyogaz sistemlerinin diğer bir avantajıdır. Gübre içerisindeki organik maddeler anaerobik olarak sindirilirken, bakteriler büyür ve yeni aminoasitlere indirgenir. Sığır atığında, fermentasyon sonrası toplam aminoasit miktarında % 230 artış ölçülmüştür. Ayrıca fermentasyon sürecinde büyük oranda B12 vitamini

sentezlenmektedir. 1978 yılında Maya çiftliğinde yapılan ilk çalışmalarda alınan sonuçlar, 3000 mg B12 vitamini/kg kuru gübre değeri üzerinde dZiyaret göstermiştir. Buna karşın, hayvan yeminde, balıkta ve kemik tozunda 200 mg/kg ve 100 mg/kg B12 vitamini bulunmaktadır (Marchaim, 1992). Yapılan çalışmalarda, balık havuzlarında ham gübre yerine fermente gübre kullanımının birçok yarar sağladığı belirtilmektedir. Bunlar, koku oluşumunun azalmasıyla balık lezzetinin etkilenmemesi, fermente gübrenin plankton üremesini ham gübreden daha iyi desteklemesi, daha düşük BOD değerine sahip olması nedeniyle balıklar için havuzda daha fazla çözünmüş oksijen miktarının bulunması olarak ifade edilmiştir (Arboleda, 1992). Bu çiftlikte aynı zamanda sığır, domuz ve ördek yemi olarak da kurutulmuş fermente gübre kullanılmış, domuz ve sığırın toplam besin ihtiyacının % 10 – % 15'ini, ördeğin ise % 50'sini karşıladığı görülmüştür. Fang Xing ve Xu Yiz Hong (1988) tarafından yapılan bir çalışmada da, fermente gübre balık havuzunda kullanılmış ve iyi sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir. Fermente gübrenin kullanıldığı havuzda daha fazla çözünmüş oksijen ölçülmüş, suyun sıcaklığı yükselmiş, böylece balıkların büyümesine katkı sağlanmış, fermentasyon sonucu bakteri ve parazit yumurtalarının ölmesiyle balık hastalıklarında azalma kaydedilmiştir (Marchaim, 1992).

Fermente gübrenin diğer bir avantajı da, toprak erozyonunu önleyici lifli bir yapıya sahip olmasıdır. Böylece toprak üst bölgesinde bulunan, toprağı bir arada tutarak toprağın rüzgârdan ve yağmurdan zarar görmesini engelleyen, verimliliğı belirleyen organik maddelerin temelini oluşturan humus kaybı azalmakta, toprağın su tutma kapasitesi artmaktadır. Kimyasal gübre ise lifli bir yapıda olmadığı için, toprağın humus kaybına sebep olarak verimi düşürmektedir. Fermente gübre aynı zamanda toprağın havalanmasını sağlar, pH tamponlama kapasitesini artırır. İnorganik toprak bileşiklerini bağlayarak, onların süzülme yoluyla kaybını önler ve bitkilerin kullanımı için gerektiğinde serbest bırakır (Arnott, 1985). Biyogaz sistemlerinin artmasıyla elde edilecek fermente gübre, organik tarıma da katkı sağlar.

Fermente gübre ham gübreden daha sıvı olduğu için, uzak bölgelere kolaylıkla pompalanabilir ve borularda tıkanmalara yol açmaz. Yüksek su konsantrasyonuna sahip fermente gübrenin tarlaya dağıtılmasının bir yolu, geleneksel sulama metodunu kullanmaktır. Güney Almanya'da yapılan bir çalışmada, fermente gübre kullanan çiftçilerin tümü, kullanımının daha kolay

olduğunu ve koku oluşumunun azaldığını, % 81'i ise daha yüksek tahıl veriminin elde edildiğini ifade etmişlerdir (Klingler, 2000).

c) Çevre ve sağlık açısından yararları

Biyogaz sistemleri, elde edilen enerjinin yanında koku oluşumunu, zararlı ot ve bakterilerin üremesini engelleyerek çevre ve su kirliliğini büyük ölçüde azaltır.

Birçok çiftçinin biyogaz sistemini tercih etmesinde, ham gübrenin depolanma ve kullanımında oluşan kötü kokunun önlenmesi rol oynamaktadır. Gübrenin depolanması sırasında oluşan asit bakterileri, organik maddeleri kötü koku oluşumuna sebep olan uçucu yağ asitlerine dönüştürür. Anaerobik fermentasyon sürecinde üreyen metan bakterileri, bu yağ asitlerini biyogaza dönüştürerek, kötü koku oluşumu engellenmiş olur (Leggett vd., 2002). 1998 yılında yapılan bir çalışmada, anaerobik fermentasyonun, temiz mandıra atığındaki koku oluşumunu % 97 oranında azalttığı belirtilmiştir (Lusk, 1998). Özellikle, yerleşik alana yakın bulunan çiftçiler, koku şikayetlerinden dolayı çevre sakinleriyle karşı karşıya kalırlar. Anaerobik olarak işlenmiş gübre, bu şikayetlerin azalmasına neden olur ve böylece hayvancılığın gelişmesini sağlar (Klingler, 2000).

Hayvansal atıklar, aynı zamanda insan sağlığını tehdit eden patojenlerin kaynağı olarak gösterilir. Geçtiğimiz yıllarda üzücü sonuçlar doğuran *Escherichia coli*'nin, özellikle sığır gibi geviş getiren hayvanların dışkısından ortaya çıktığı kanıtlanmıştır (Lusk, 1998). Bu yüzden, ham gübrenin kullanımı, patojen yayılımını azaltmak için sınırlanmalıdır. Danimarka'da yapılan araştırmalarda, 70 °C'de 1 saat / tutulan organik atıkta patojenlerin % 99,9 oranında azaldığı belirlenmiştir. Diğer araştırmalarda da, 8 saat / 55 °C termofilik koşulların sağlanmasıyla patojen miktarının aynı oranda düşürülebileceği ortaya konmuştur. Basit olarak mezofilik koşulların sağlandığı bir fermentörde patojen miktarı % 95 oranında azaltılmış, virüsler ve kurtlar dışında hemen hemen tüm patojen türleri giderilmiştir (Lusk, 1998). Kümes hayvanı atıklarıyla yapılan bir çalışmada, anaerobik mezofilik ve termofilik fermentasyonun mantar potansiyeline etkisi araştırılmıştır. Fermentasyon prosesinde mantar ve sporlarının yıkımı, fermentöre giriş ve çıkıştaki koloni sayısının karşılaştırılması ile tayin edilmiştir. Örneğe bağlı olarak mantar ve sporlarının sayısı değişim göstermekle beraber, her iki fermentasyon bölgesinde de bunların sayılarının oldukça düştüğü tespit edilmiştir. Mezofilik fermentasyonda düşme oranı % 95, termofilik fermentasyonda ise % 99,8 olarak bulunmuştur

(Marchaim, 1992). Aynı zamanda anaerobik fermentasyonla, sinek oluşumu da büyük ölçüde engellenir. Gübre, genellikle yabancı ot tohumlarını içerir. Anaerobik fermentasyon prosesi ile yabancı ot tohumlarının çimlenmesi de azaltılır.

Biyogaz sistemlerinin bir avantajı da, hava ve su kirliliğini azaltmasıdır. Metan, küresel ısınmaya neden olan başlıca sera gazlarındandır. Atıkların anaerobik çürütme ile giderim prosesleri, çevreye metan gazı yayılımına sebep olmaktadır. Tarımsal üretimden atmosfere salınan metan emisyon miktarı, küresel atmosfere genel metan yayılımının % 33'ünü kapsar. Bunun % 16'sı hayvansal çiftliklerden, % 12'si pirinç tarlalarından ve % 5'i hayvan gübrelerinden kaynaklanmaktadır. Metan gazı, karbondioksit ile karşılaştırıldığında, 100 yıllık zaman diliminde 25 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahiptir (Anon, 1999). Biyogaz sistemleri metan gazını yakıt olarak kullanarak, bu proseslerin yarattığı sorunu ortadan kaldırır. Bir biyogaz sisteminin amacı atmosfere herhangi bir gaz çıkışı olmadan, maksimum metan üretimini sağlamaktır, ki bu şekilde sera gazı emisyonu azaltılmış olur (Anon, 2000). İklim değişikliklerini etkileyen diğer bir sera gazı da azot oksittir (N_2O). Karbondioksitten 320 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahip olan azot oksit, tarımsal gübrelemede ve hayvansal atıkların depolanması sırasında ortaya çıkar. Atıkların depolanması sırasında azot oksit emisyonu artış gösterir. Anaerobik fermentasyon, hayvansal atığın depolanması sırasında ortaya çıkan emisyonu ve toprakta oluşabilecek anaerobik koşulları önler, inorganik azot gübresi kullanımını azaltır. Buna ek olarak, bitkilerin kullanacağı formdaki azot miktarını artırarak, tahılların azot absorpsiyonunu yükseltir. Tüm bu etkiler göz önüne alındığında, anaerobik fermentasyon ile N_2O emisyonunun azalma oranı yaklaşık % 10 olarak tahmin edilmektedir (Anon, 1999). Ayrıca, anaerobik fermentasyonun diğer ürünü olan biyogazın motorlarda kullanılmasıyla egzoz emisyonları azalır. Biyogaz dizel motorları için mükemmel bir yakıttır. Dizel yakıt kullanıldığında çıkan duman koyuluğu, biyogaz kullanıldığında tamamen ortadan kalkmaktadır (Arnott, 1985).

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kırsal kesime yönelik küçük ölçekli biyogaz sistemleri, ormanlardaki ağaçların, evlerin enerji ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanımını azalmakta; böylece ormanların yok edilmesini (1 ha orman alanı / 1 kırsal kesim biyogaz sistemi), toprak erozyonunu ve su taşkını gibi doğal felaketleri önlemektedir (Klingler, 2000).

d) Ekonomik ve sosyal yararları

Biyogaz teknolojileri, sadece ulusal ekonomi ve çevrenin korunmasını değil, aynı zamanda yerel nüfusun yaşam koşullarının gelişimini de destekler. Yeni teknolojik bilgilerin kırsal kesime aktarımı ile araştırma ve eğitime verilen önem yükselir. Hindistan’da 1970’lerin sonunda kırsal kesim kalkınma programları başlamış, yapılan küçük ölçekli biyogaz sistemleriyle daha çok ilgilenen kadınların yaşam koşulları gelişmiştir. Bu görüş, biyogaz sistemlerinin yayılımında merkezi bir rol oynamıştır. Dikkat çeken diğer konu da, biyogaz teknolojisinin yayılımı ile istihdam fırsatının yaratılmasıdır. Sistemin inşası ve programın yürütülmesi için, bölgesel düzeyde vasıflı ve vasıfsız işçilere ihtiyaç duyulmuştur. 1 MW kapasiteli bir biyogaz tesisi, proses kontrolü için 2 ile 5 kişiye kadar istihdam sağlar (Anon, 2000). Biyogaz teknolojisi, gelir ve mülkiyet açısından aileler arasında varolan farkın kuvvetlenmesine neden olabilir. Ancak toplu biyogaz sistemlerinin kurulumu, ikamet edenlerin çoğuna kazanç sağlamanın bir yoludur (Gustavsson, 2000). Böylece kırsal kesimin toplam gelir düzeyinde artış gözlenir.

Biyogaz sistemleri, yerel ekonominin yapısını değiştireceğinden ve istihdam sağlayacağından, yeni bir endüstri olarak gösterilebilir. Birçok ülkede, biyogaz sistemlerinin alternatif bir kaynak olarak görülmesi ve sistem ürünlerinin çevre ve sağlık açısından yararları düşünülerek, devlet tarafından destek programlarının başlatılması, ilk yatırım maliyetinin yaratacağı yükü azaltarak, biyogaz sistemlerini yaygınlaştırmış ve büyük şirketlerin kırsal kesime yeni yatırımlar yapması sağlanmıştır. Hindistan’da biyogaz teknolojisinin 100 yıl önceden beri bilinmesine rağmen, KVIC firmasının ilk atılımıyla 1962’de küçük ölçekli biyogaz sistemleri yaygınlaşmaya başlamış, yaşanan enerji krizi ile devletin de bu teknolojiyi alternatif bir kaynak olarak görmesiyle, Tarım Bakanlığının yürüttüğü devlet destek programları çıkarılmıştır. 80’lerin başında bu programlarla yapılan biyogaz sistemi sayısı 100000’i aşmıştır (Anon, 1994). Son ürünlerin kullanılabileceği yatırımların yapılmasına yol açması, biyogaz sistemlerinin kırsal kesime sağladığı faydalardan biridir. Balık çiftlikleri, sera ve konservecilik gibi alanlarda biyogaz sistemi son ürünlerinin kullanımının ve yapılan yatırımların artması buna bir örnektir.

Biyogaz sistemlerinin sosyo-ekonomik yararlarından biri de, zamandan tasarruf sağlaması ve kırsal kesimde bayanların iş gücünün azalmasıdır. Kırsal

kesimde, genellikle yakacak odun toplamaya harcanan zamanın yanında, uzun mesafeler ve dik yokuşlarda fiziksel güç harcanır. Biyogaz ocaklarında daha verimli ve daha kısa sürede pişirme gerçekleştiğinden zamandan tasarruf sağlanacaktır. Biyogaz sistemleri kullanımda büyük kolaylık sağlayarak kırsal kesimde bayanların zaman kaybını azaltmış, fakat sisteme beslenen suyun temini ve su-gübre karışımı için ek zaman ihtiyacı doğurmuştur. Buna rağmen, kurulu bir biyogaz sisteminde yapılan bir çalışmada, sistemin yarattığı ek ihtiyaçlara harcanan zaman çıkarıldığında, günde yaklaşık 3 saatlik bir kazanç elde edilmiştir (Mendis ve Van Nes, 2001).

Biyogaz sistemi ile hayvansal atıkların çevreye olan zararlarının engellenmesi, devlet tarafından çiftçilere yapılan çevresel sorun baskılarının azalmasına da sebep olur. Birçok ülkede uygulanan çevre kanununda, gübrenin açıkta bırakılmasının veya açığa atılmasının cezaları belirtilmiştir. Günümüzde gübre çukurlarının kullanımı yaygındır ve bu da çiftlikte ya da köyde yer probleminin doğmasına sebep olur. Biyogaz sistemleri, hayvansal atığı nasıl değerlendirebileceğini bilmeyen çiftçilerin bir kurtuluşu olarak görülebilir. Fermente gübrenin, organik gübre olarak satılması çiftçiye ek bir kazanç, organik tarıma da destek sağlamaktadır.

Makroekonomik boyutta biyogaz sistemlerinin yararı, ithal edilen fosil yakıt miktarını düşürerek, dışa bağımlılığı azaltması ve ekonomiye destek olmasıdır. Diğer yandan yerel kurulan sistemler ile iletim ve dağıtım altyapı masraflarında düşüş kaydedilir. Biyogaz sistemleriyle elde edilen elektriğin fazlasının şebekeye satışı ekonomik fayda sağlamaktadır. Bitki besin maddelerince zengin fermente gübre kullanımı, çiftçinin kimyasal gübre masrafını azaltmakta, ürün veriminde artış sağlayarak da gelirini yükseltmektedir.

2.10 Biyogaz Sistemlerinin Zararları

Biyogaz sistemlerinin, çevresel, sağlıkla ilgili, ekonomik ve sosyoekonomik başlıklarda gösterildiği yararlarının yanında, aynı başlıklarda sahip olduğu bazı dezavantajlar da vardır.

Ekonomik açıdan düşünüldüğünde, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması biyogaz sistemlerinin pahalı bir alternatif enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Birçok ülkede, sistem ürünlerinin çevre ve sağlık açısından yararları düşünülerek,

devlet tarafından programlar başlatılmış, böylece maliyetin yaratacağı yük azaltılarak biyogaz sistemleri yaygınlaştırılmaya çalışılmıştır. İthal edilen petrol kökenli yakıtların kullanımının azalması, devletin vergilerden kazandığı geliri düşürecektir.

Biyogaz sistemi, hayvansal atıkların çevreye verdiği zararları azaltsa da, besleme sırasında fazla su tüketilmektedir. Biyogaz sistemlerinin kurulumu ile koku oluşumu azaltılmakta, ancak tamamen yok edilememektedir.

Fermente gübrenin sıklıkla ve aşırı dozda kullanımı aynı zamanda toprakta nitrat birikimine de neden olabilmektedir. Amonyak yönünden zengin fermente gübrenin en verimli uygulama şekli, uçucu amonyak kaybını önlemek için toprak altına enjekte etmektir. Ancak, belirli koşullarda bazı organizmalar tarafından, serbest amonyak nitrit (NO_2) ve nitrate (NO_3) dönüştürülmektedir. Bitkinin değerlendiremediği bu iyonlar, toprağın yağmur sularıyla yıkanması sonucu yeraltı ve yerüstü sularına karışmakta ve suyun nitrat miktarını artırmaktadır (Marchaim, 1992; Alçiçek ve Başlar, 1995).

Fermente gübrenin besin değeri, kullanılan organik atığa bağlıdır. Sadece hayvan atığı kullanıldığında, fosfor miktarı azot ve potasyum miktarından azdır. Fermente gübrenin az miktarda fosfor içeren kimyasal gübre ile karıştırılması fosfor eksikliğini giderir ve daha verimli bitki üretimini sağlar. Toprağın yapısına ve yetiştirilecek bitki türüne bağlı olarak fermente gübre uygulanmalıdır. Fermente gübrenin kullanılmasında dikkat edilecek bir nokta da, fermentasyon sonrasında toprağa direkt uygulanmasıdır. Hindistan'da pirinç üzerinde yapılan bir çalışmada, fermente gübre içerisinde çözünmüş H_2S 'in pirinç için toksik bir etki yarattığı belirtilmiştir. Ancak, bu sorun fermente gübrenin 15 – 30 gün açık havada bekletilerek H_2S 'in oksidasyonu ile ortadan kaldırılmıştır. Ancak bu durumda sülfürün açık havada serbest bırakılmasının, hava kirliliğine sebep olacağı göz ardı edilmemelidir.

Biyogaz sistemleri, kullanımda büyük kolaylık sağlayarak, kırsal kesimde zaman kaybını azaltmış ancak sisteme beslenen suyun temini ve su-gübre karışımı için ek zaman ihtiyacı doğurmuştur. Çiftlik halkına ciddi bir zaman kaybı yaşatmamasına rağmen, günlük beslemelerde, sistemin veriminin düşmemesi ve teknik sorunların ortaya çıkmaması açısından biyogaz sistemleri, teknik bilgi ve dikkat gerektirmektedir. Sistemin ilk çalışma zamanlarında, karşılaşılabilecek teknik sorunlara önlem için sürekli laboratuvar kontrolleri yapılmalıdır. İdeal olarak çiftlik

alışanlarından biri görevlendirilmeli ve bu kişi için sistemle ilgili sorumluluklar, diğeri çiftlik görevlerinden öncelikli olmalıdır. Merkezi sistemlerde de, toplanan her çiftlik atığının niteliğinin farklı olması, düzenli ve disiplinli laboratuvar kontrollerinin yapılmasını ve ek maliyet getiren laboratuvar cihazlarının kurulmasını gerektirir. Merkezi sistemlerin küçük yerleşim alanlarında kurulması da, trafik yoğunluğunu arttırır. Bu nedenle potansiyel kirliliği azaltma amacıyla, gübre toplama ve dağıtımında oluşacak trafik yoğunluğunu azaltacak alternatif yollar dşnlmelidir.

Küçük sistemlerde ise pompalamada sorun yaşanmaktadır. Kullanılan atık içerisinde bulunabilen bk parçacıklar ve saman, dar borularda tıkanmaya yol açtığı gibi pompaya da zarar vermektedir. Bu nedenle kullanılabilecek her türlü atıkta, parçacık boyutuna ve taş gibi sert cisimlerin bulunmamasına zen gösterilmelidir. Hayvan atığını toplamada altlık kullanmak, taş problemine bir çözümdür.

Biyogaz sistemlerinin sağladığı yararları korumak için dikkatli planlama ve işletme gereklidir. Bütün endüstriyel ve tarımsal sistemler bazı negatif çevresel riskler taşır. Biyogaz sistemleri için önemli risklerden biri gaz sızıntısıdır. Biyogazın atmosfere sızmasıyla sera gazlarından metan emisyonu artar. Biyogaz, metan ve karbondioksit dışında az miktarda amonyak ve hidrojen sülfür de içerir. Biyogazın içeriği kullanılan hammaddeye ve fermentör koşullarına göre değişiklik gösterir. Amonyak ve hidrojen sülfür toksin gazlar olarak, maruz kalındığında hastalıklara hatta ölümlere sebebiyet verirler. Bütün biyogaz sistemlerinde çalışanlar, bu tehlikeleri bilmeli, işletme ve işçi güvenliği eğitimi almış olmalıdır. Biyogazın yanması esnasında da, karbonmonoksit, azot oksit ve uçucu organik bileşiklerin limitlerin üzerinde çıkması önemli bir risk teşkil eder. Karbonmonoksit insan sağlığı açısından, azot oksitler asit yağmurlarına sebep olduğundan ve uçucu organik asitler de toksik hava kirliliği yaratmasından dolayı risk oluştururlar. Bütün bu risklerin kontrolü uygun işletme koşulları ile sağlanmalıdır (Anon, 2000). Gaz sızıntı riski yanında biyogaz sistemleri, görüntü ve gürültü kirliliği de yaratır. Pompaların ve kompresörlerin kullanıldığı her işletmede karşılan sorunlardan biri olan gürültü kirliliği, biyogaz sistemleriyle kırsal alanlara yayılmış olacaktır.

Biyogazın setan sayısının düşük olması, ilk ateşlemeyi etkileyen bir faktördür. Ancak basınçlandırılarak, hava ayarını değiştirerek ve % 6 – % 13 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak biyogaz dizel motorlarda sorunsuz çalıştırılabilir. Ayrıca biyogaz içerisinde bulunan az miktardaki H₂S motor için ciddi

korozyon problemleri yaratır. Biyogazın motorlarda kullanımında H_2S mutlaka temizlenmelidir (Arnott, 1985). H_2S yanında biyogaz içerisinde yüksek konsantrasyonda bulunan CO_2 'de, motor performansını düşürücü bir gazdır. Basıncılı gazın genişlediği noktalarda ve vanalarda donmalara sebep olur. Araçlarda kullanımında H_2S gibi CO_2 'inde mutlaka temizlenmesi gerekmektedir.

2.11 Biyogaz Üretiminin Kısıtları

Havasız çürütme yöntemi bir proses sürecinin uygulanması ile eşzamanlı olarak önemli ölçüde enerji değeri olan biyogaz elde edilmesi ve gübre/kompost elde edilmesi ve hatta gerektiğinde sistemden kaynaklanan sıvı atığın tarlalara püskürtülerek gübre amacıyla kullanılması unsurlarını gerçekleştirebilmektedir. Ancak bu yöntemin ilk yatırım giderlerinin yüksek olması, sistemin, havasız çürütme prosesinin hassas yapısı, işletme sırasında üretilen gazın yanıcı, patlayıcı özelliği dolayısıyla oluşan riskler dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır (TÜBİTAK-MAM, 2001).

Biyogaz üretimi ilk etapta yüksek yatırım maliyeti gerektir. Ormanlık alanların fazla olduğu bölgelerde çiftçiler ekipmanların yüksek yatırım maliyetini karşılayamadıkları için küçük çiftliklerde az bir başarı görülmüştür (Chakravarthi, 1997; Nicolas vd., 1980). Metan oluşturan bakteriler sıcaklık değişimlerine çok hassas oldukları için sıcaklığın çok yakından izlenmesi gereklidir. Geniş merkezi çiftliklerde gübrenin taşınması pahalı olabilir. Anaerobik çürütücüler aynı zamanda çiftlik için güvenlik riski doğurabilir. Çünkü anaerobik çürütücüler oksijene kapalı olarak tasarlandığından muhtemel bir boğulmayla kişi hayatını kaybedebilir. Hidrojen sülfür ve amonyak gibi toksik gazlar çürütücünün içinde birikmeye eğilimlidir. Bu yüzden, geniş kapsamlı güvenlik mekanizmaları kurulması gereklidir (Chakravarthi, 1997).

Havasız arıtma biyoteknolojisinin genel olarak olumsuz özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi,
- Seyreltik atıksularda yeterli alkalinitenin üretilmemesi,
- Bazı durumlarda çıkış suyunda istenilen standart değerlerin sağlanamaması,

- Seyreltik atıksuların arıtılması durumunda oluşan biyogaz miktarının az olması ve elde edilen enerjinin sistemi ısıtmaya yetmemesi,
- Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması,
- Nitrifikasyonun mümkün olmaması,
- Metanojenlerin toksit maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması,
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması,
- Biyokütlenin maksimum aktivitesi için gerekli olan azot konsantrasyonunun daha fazla olması,

Bunlara ek olarak, KOİ değeri 1000 mg/l'den az olan seyreltik atıksuların havasız proseslerde arıtılması durumunda havalı sistemlere göre daha düşük arıtma verimi elde edilmektedir (URL-2).

2.12 Biyogaz Sistemleri

Biyogaz sistemleri genel olarak, hammadde depolama tankı, ön hazırlama tankı, reaktör, gaz ve fermente gübre depolama tanklarından meydana gelmektedir. Sistemin ürün kalitesinin artırılması amacıyla, seperatör, gaz temizleme ünitesi ve kojenerasyon sistemi ek olarak kullanılmaktadır.

Biyogaz sistemlerinin kontrolünde sıcaklık, gaz akışı, basınç, besleme ve boşaltma miktarı, pH, reaktör sıvı seviyesi, metan oranı, metan üretim hızı, uçucu organik asit miktarındaki artış, alkalinite düşüşü ve organik madde gideriminin miktarı parametre olarak kullanılmaktadır. Birçok ticari sistemin işletilmesinde ve stabilizasyonunun sağlanmasında, bu parametrelerin bir ya da bir kaç ölçülerek kontrol sağlanmaktadır. pH, sistemdeki eğilim hakkında önceden uyarı veremediği için alkalinite daha ön plana çıkmaktadır (Chynoweth vd., 1994; Vanrolleghem, 1995; Eryaşar, 2007).

Biyogaz üretim yöntemleri, besleme şekillerine, hammaddenin nem miktarına (kuru yada sulu fermentasyon) ve tek yada çok kademeli reaktör uygulamasına göre değişiklik göstermektedir. Besleme şekillerine göre üç ana grupta toplanabilen biyogaz yöntemleri, kesikli beslemeli, yarı kesikli ve sürekli beslemeli olarak adlandırılmaktadır (Anon, 1999).

Kesikli beslemeli üretim yönteminde, reaktör bir defa doldurularak, bekletme süresi sonuna kadar besleme yapılmamaktadır. Her türlü sistem dizaynına ve

hammaddeye uygun olan kesikli beslemeli biyogaz sistemlerinin temel dezavantajı, gaz çıkışının sabit olmamasıdır (Koçar ve Eryaşar, 2004).

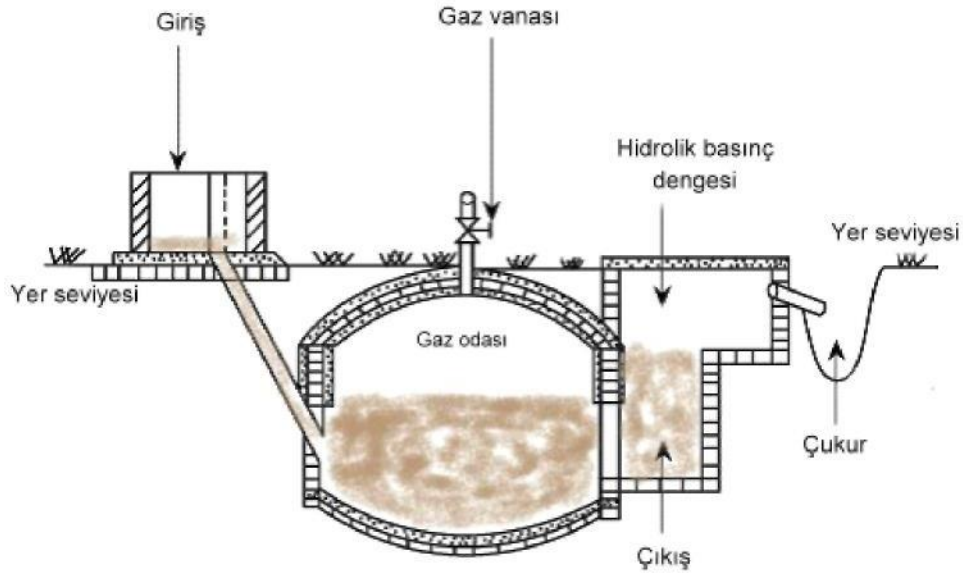
Sürekli beslemeli üretim yönteminde, reaktör belirlenen zaman aralığında beslenmekte ve aynı miktarda boşaltma gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, kesikli beslemeye göre daha yüksek ve sabit gaz çıkışı gözlenmektedir (Arnott, 1985).

Yarı kesikli beslemeli yöntem ise bitkisel atıkların ve hayvansal atıkların birlikte fermentasyonunda sıklıkla kullanılmakta, böylece yavaş bozunan bitkisel atıkların çürütülmesi hızlandırılmaktadır (Anon, 1999).

Biyogaz sistemleri, ölçeklerine göre de üçe ayrılabilir:

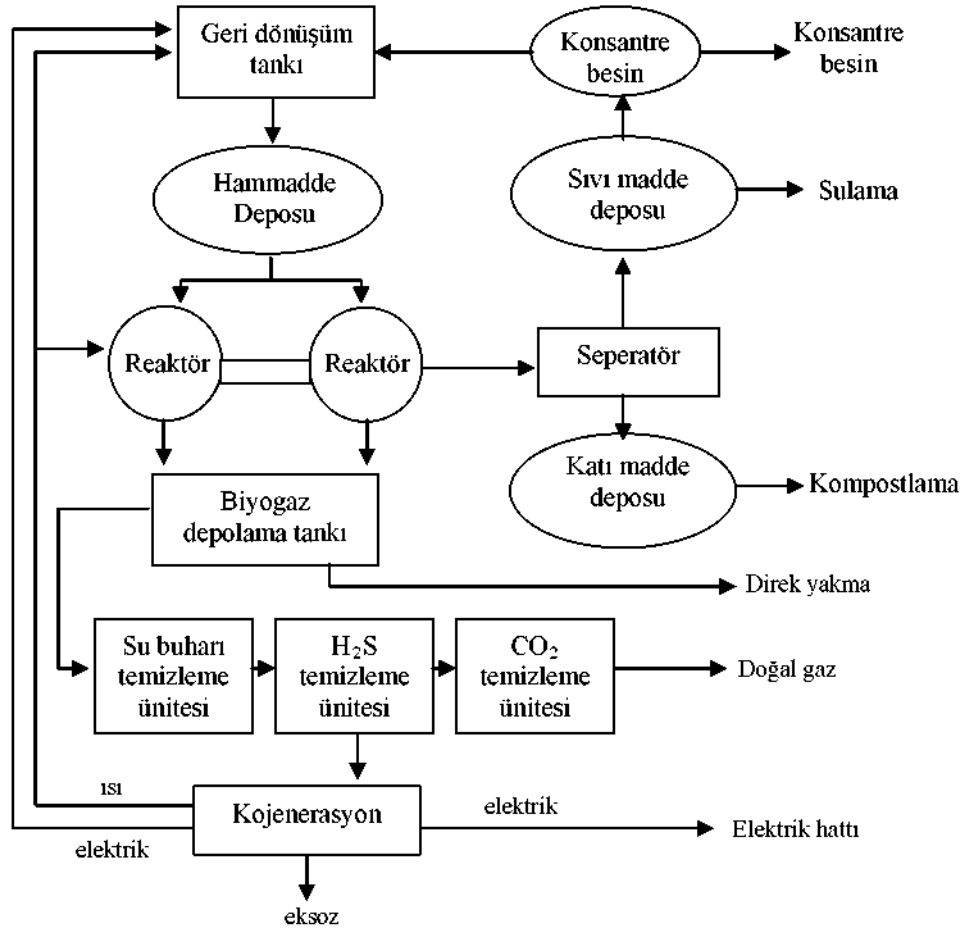
- Küçük ölçekli çiftlik tipi sistemler,
- 20-30 çiftliğin paylaştığı müşterek biyogaz sistemleri,
- Büyük ölçekli merkezi biyogaz sistemleri.

Küçük ölçekli çiftlik tipi ve müşterek biyogaz sistemleri, Çin, Nepal ve Hindistan gibi ülkelerde sıklıkla tercih edilmektedir (Eryaşar, 2007). Düşük maliyetli bu sistemlerde, basit dizaynlar tercih edilmiş, ürün kalitesini arttıran sistem üniteleri kullanılmamıştır. Büyük ölçekli sistemlere göre daha az parametre kontrol edilmektedir. Genellikle toprak altında bulunan bu sistemler, soğuk hava şartlarında korunmakta, ancak sıcak hava şartlarında reaktörün ısıtılması uzun zaman almaktadır (Anon, 1999). Bu sistemlerin işletilmesinde daha fazla insan gücüne ihtiyaç duyulmakta, bir çoğunda karıştırma sistemi bulunmamakta, pH, sıcaklık, uçucu katı (UK) ve toplam katı (TK) gibi önemli parametreler kontrol edilememektedir. İyi bir kontrol sistemine sahip biyogaz sistemine göre düşük verimli olan küçük ölçekli çiftlik tipi bir biyogaz sisteminin genel görünümü Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Küçük ölçekli çiftlik tipi bir biyogaz sisteminin genel görünümü (Anon, 2008).

Merkezi biyogaz tesisleri daha çok gelişmiş ülkelerde bulunmaktadır. Avrupa’da bulunan biyogaz tesislerinin sadece % 50’si küçük ölçekli çiftlik tipi sistemlerdir (Boyd, 2000; Eryaşar, 2007). Merkezi biyogaz sistemleri, küçük ölçekli çiftlik tipi biyogaz sistemlerine ek olarak ürün kalitesini arttıran sistem ünitelerini de içermektedir. Merkezi biyogaz sisteminin maliyeti, kullanılan kontrol elemanlarına bağlıdır. Sıcaklık, pH, basınç, gaz kompozisyonu, reaktör sıvı seviyesi, akış debileri, enerji üretim ve tüketim miktarları günlük veya haftalık olarak ölçülmekte, yüksek maliyetli laboratuvar analizi gerektiren organik asit, amonyak azotu ve UK gibi parametreler aylık olarak yapılabilmektedir (Wiese, 2007). Pompaların ve vanaların otomatik olarak kontrol edilmesi, işletme maliyetini düşürmektedir (Lühte, 2008). Büyük ölçekli merkezi bir biyogaz sisteminin genel akış şeması Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. Büyük ölçekli merkezi bir biyogaz sisteminin genel akış şeması (Anon, 2008).

2.12 Biyogaz İçindeki Kirleticilerin Arıtılması

Biyogaz içindeki kirleticilerin arıtılma süreci aşağıdaki 4 farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir.

2.12.1 Kirleticiler

Biyogaz içindeki temel kirleticiler nem muhtevası ve hidrojen sülfürdür. Anerobik arıtma sonucu biyogazda bulunan su buharı(nem) ekipmanlara zarar verebilir.

Bunun giderilmesi gereklidir. Nem, hidrojen sülfür gazı veya amonyak ile birlikte malzemeler üzerinde korrozif etki yapar.

Hidrojen sülfür çok zehirli, korrozif ve renksiz bir gazdır. H_2S havadan daha ağır olduğundan dolayı düşük seviyelerde dahi ekstra tehlikeye neden olur. 0,05-500

ppm arasında gibi düşük konsantrasyonlarda bu gaz çürük yumurta kokusuna sahiptir. Yüksek konsantrasyonlarda böyle bir koku söz konusu değildir. Suda çözünerek zayıf asit formuna dönüşebilir. Biyogaz içindeki H_2S miktarı %0,5 ve üzerinde ise H_2S 'in arıtılması gereklidir. Biyogaz içindeki H_2S miktarı %0,1'in altında ise arıtma yapmaya gerek yoktur. Havadaki konsantrasyonu 1,2-2,8 mg H_2S/l (%0,117)'e ulaştığında ani ölümlere neden olur. Bu değer 0,6 mg H_2S/l (%0,05) olduğunda 30-60 dakika içinde ölüm olur. Hidrojen sülfürle kirlenmiş hava bulunduğu zaman hidrojen sülfür kırmızı kan pigmentini değiştirir. Kanı kahve renginden zeytin rengine dönüştürür. Oksijenin taşınmasını engeller.

Hidrojen sülfür çok korrozif bir maddedir. Motorlara ve buhar kazanlarına ciddi zararlar verebilir. Sobalarda ve buhar kazanlarında direk yakıldığında bacalara zarar verebilir. Hollanda'da biyogaz yakma tesislerinde hidrojen sülfür konsantrasyonu 50 ppm'i geçemez. Biyogaz en az 900 °C sıcaklıkta yakılır. Baca gazı yanma odasında 900 °C sıcaklıkta en az 0,3 saniye kalmak zorundadır. Hidrojen sülfür çok zararlı ve korrozif bir madde olduğundan demir ve galvaniz saca reaksiyona girerek aşınmasına neden olur. Dolayısıyla basınç regülatörleri, gaz metreler, vanalar ve diğer parçalar H_2S 'e dayanıklı malzemelerden olmalıdır (Öztürk, 2005).

2.12.2 Su ile yıkama

Bu metod metanı ayırmak için, suyun içindeki CO_2 'in ve H_2S 'in daha yüksek çözünürlüğü kullanılarak uygulanır. Yukarıdan su verilirken basınçlı biyogaz kolonun altından beslenir (fiziksel absorpsiyon zıt akımdır). Rejenerasyon veya büyük hacimde su gerektirir. Alternatif olarak, bir kostik çözücü (NaOH) veya bir organik çözücü (polietilen glikolün dimetileteri) kullanılabilir (Truong ve Abatzoglou, 2003; Batzias vd., 2005).

2.12.3 Basınç altında adsorbsiyon

İki gazı ayırmak için aktif karbon üzerinde CH_4 ve CO_2 farklı adsorbsiyon özellikleri kullanılarak uygulanır. Bu metoda yüksek basınç altında yürütülür ve basıncın azalmasıyla CH_4 açığa çıkar. Basınç daha da azalırken, biyogazdan diğer bileşenler de ayrılır (Sarkar ve Bose, 1997; Truong ve Abatzoglou, 2003; Batzias vd., 2005).

2.12.4 Membran ayırma

Membran ayırma metodu iki alternatif teknik içerir, bunlardan birincisi yüksek basınçlı gaz ayırma ve gaz-sıvı adsorbsiyonudur. Yüksek basınçlı gaz membranları seçmeli olarak H_2S veya CO_2 'i ayırır. Bu ayırım %96 saflığa kadar üç adımda başarıyla gerçekleşir. Gaz-sıvı adsorbsiyonu biyogaz için yeni bir gelişmedir ve mikrogözenekli hidrofobik membranlar kullanılır, bu da gaz ve sıvıların arasında ara-yüzey oluşmasına izin verir. Daha az çözünürlüğe sahip metan gazı içerisinde kalırken ve kullanmak için biriktirilirken, H_2S ve CO_2 sıvı çözücü içerisinde çözünebilir (Batziar vd., 2005).

2.13 Biyogaz Kullanım ve Uygulama Alanları

Biyogaz, tüm dünyada artan bir ilgi ile önemli bir enerji kaynağı haline gelmektedir. Biyogaz tesisleri aynı zamanda enerji üretim santrali olarak da değerlendirilmektedir.

Biyogaz, ham ya da saflaştırılmış olarak pek çok şekilde kullanılabilir. Biyogazın başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Igoni vd., 2008; Holm-Nielsen vd., 2009):

- Isı ve/veya buhar üretimi,
- Birleşik ısı ve güç sistemleri ile elektrik üretimi,
- Isı, buhar, elektrik ve soğutma için endüstriyel enerji kaynağı üretimi,
- Saflaştırılarak motorlu taşıt yakıtı üretimi,
- Saflaştırılarak doğalgaz şebekesine verilmesi,
- Yakıt pilleri için yakıt olarak kullanımı,
- Kimyasal üretimi.

Biyogazın kullanım alanları arasında motorlu taşıt yakıtı olarak kullanılabilmesi ve doğalgaz şebekesine verilebilmesi önem taşır. Biyogaz, alternatif bir enerji kaynağı olup, benzin, dizel, LPG ve doğalgazın yerine hem binek taşıtlarda hem de ağır vasıtalarda kullanılabilecek bir yakıttır. Biyogaz içerisinde bulunan ve mekanik parçalarda korozyona neden olan H_2S , biyogazdan ayrıştırılarak doğrudan gaz motorlarında kullanılıp elektrik üretilmektedir. Biyogazdaki H_2S içeriğinin 300-500 ppm'in üzerinde olması halinde, enerji dönüşümü zarar görür (Holm-Nielsen vd., 2009). Biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılması ve doğalgaz hatlarına verilebilmesi için içerisindeki H_2S 'in birkaç ppm mertebelerine

düşürülmesi ve buna ek olarak CO₂'nin de ayrıştırılarak metan oranının %97'lere yükseltilmesi gerekir. Bu işlem biyogazın saflaştırılması, metanca zenginleştirilmesi ya da biyometan oluşumu olarak adlandırılır. (Murphy vd., 2004; Eyidoğan, 2008; Murphy ve Power, 2009; Osorio ve Torres, 2009). Biyogazın saflaştırılması; motor, kazan, yakıt pili ve motorlu taşıtlar gibi gaz tertibatları bulunan sistemler için gerekli olan şartların sağlanması, biyogaz ısıl değerinin artırılması ve/veya biyogaz kalitesinin standardize edilmesi açısından gereklidir (Osorio ve Torres, 2009). Saflaştırma işlemi CO₂ giderimi ile yapılır. Biyogaz içerisindeki CO₂'in ayrıştırılması için suda çözme, fiziksel, kimyasal ve biyolojik absorpsiyon, polietilen glikol ve membran ile ayrıştırma gibi yöntemler kullanılır (Eyidoğan, 2008; Murphy ve Power, 2009; Osorio ve Torres, 2009).

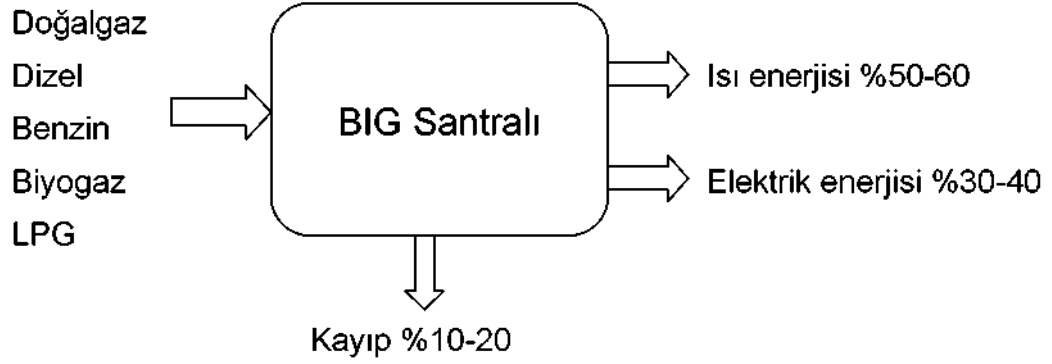
Saflaştırılarak metan oranı yükseltile ve H₂S'i ayrıştırılan biyogaz, 200-250 bar basınç altında sıkıştırılarak benzin-biyogaz veya benzin-sıkıştırılmış doğalgazla çalışabilen çift yakıtlı motorlu taşıtlarda hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. Böylece biyogazın yakıt olarak kullanılması ile NO_x, CO₂ emisyonları ve partikül miktarı azalmaktadır (Eyidoğan, 2008).

Biyogazın en önemli kullanım alanlarından biri ısı ve elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Tez kapsamında incelenen pilot projede biyogazdan ısı ve elektrik üretimi sözkonusu olduğundan, bu teknoloji detaylı olarak incelenmiştir.

Tek bir sistemden eş zamanlı olarak elektrik ve/veya mekanik güç ile kullanılabilir ısı üretilmesi kojenerasyon veya diğer adıyla birleşik ısı ve güç üretimi olarak adlandırılır. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır (Tricase ve Lombardi, 2009).

Birleşik ısı ve güç (BIG) sistemleri pek çok ülkede, anaerobik fermentasyondan elde edilen biyogazın enerjiye dönüşümünde kullanılmakta, fosil yakıtların kullanımında olduğu gibi biyogazdan da ısı ve/veya elektrik enerjisi üretilmektedir.

BIG sistemleri, yakıtın enerji içeriğinin yaklaşık %30'unun elektrik ve %60'ının ısı enerjisi olmak üzere toplamda %90'ının kullanımına olanak sağlar (Seadi vd., 2008; Tricase ve Lombardi, 2009) (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Birleşik ısı ve güç santralinin şematik görünümü (Seadi vd., 2008; Tricase ve Lombardi, 2009).

Biyogaz uygulamalarında BIG sistemlerinde üretilen elektriğin bir kısmı biyogaz tesisi tüketimi için, bir kısmı da pompa ve kontrol sistemleri gibi elektrik ekipmanlarının ihtiyacı için kullanılabilir. Kalan kısım ise şebekeye verilerek genel kullanıma katkı sağlanabilir.

Yakma işlemi sonucu oluşan atık ısının ise bir kısmı öncelikle reaktörlerin sıcaklık kontrolünde kullanılabilir, çünkü mevsimsel şartlara ve/veya işletim koşullarına bağlı olarak reaktörlerin ısıtılması gerekebilir. Geri kalan yaklaşık 2/3'lük ısı enerjisi, tesiste bulunan kapalı alanların, yerleşim yerlerinin, küçük ölçekli tarlada kurulmuş bir tesis ise ahırların ya da içme ve kullanma sularının ısıtılmasında kullanılabilir.

BIG sistemlerinde jeneratörün çalışmasında gaz türbini, gaz motoru ve dizel motoru olmak üzere 3 farklı motor kullanılmaktadır. Gaz türbini, havayı sıkıştırıp gaz veya sıvı yakıtı yakarak elektrik jeneratörünü döndüren sistemdir. Gaz türbininden çıkan egzoz gazları, sıcaklığı çok fazla olduğundan, atık ısı kazanında değerlendirilip yüksek verimde ısı enerjisi elde etmede kullanılmaktadır. Gaz türbinleri genel olarak 1 MW ve üstü güçlerde kullanılmakta ve ısı üretimleri türbin çıkış gücünün 2,5-3 katı kadar olmaktadır (İGDAŞ, 2007).

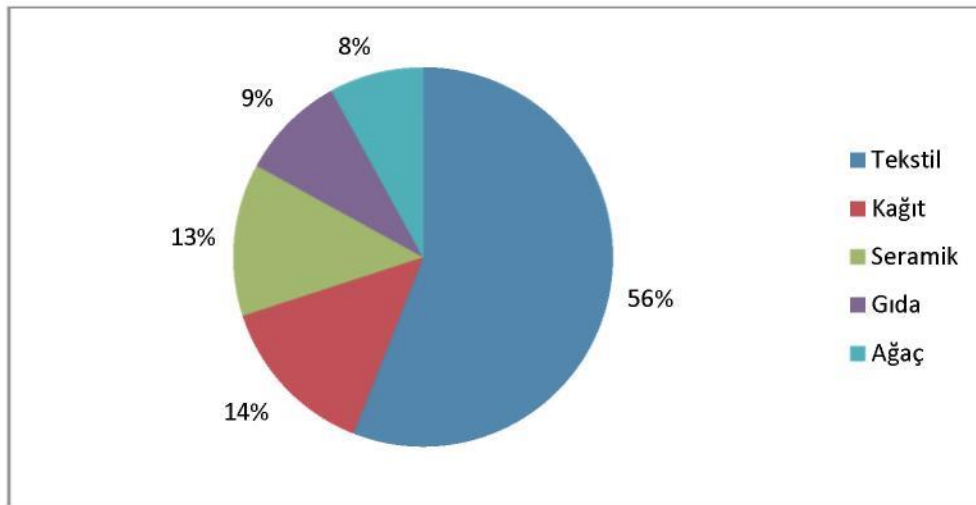
Gaz motorları düşük devirli, çok silindirli ve 50-3.500 kW güç aralığında çalışan sistemdir ve ısı üretimleri güç çıkışının 1-1,5 katı kadar olmaktadır. Gaz motorları; doğalgaz, propan veya biyogaz ile çalışabilmektedir. Azot oksit emisyonu düşük olduğundan çevre dostudur (İGDAŞ, 2007).

Dizel motorlar çok silindirli olup 200-22.000 kW çıkış güçleri arasında çalışmaktadır. Dizel motorlarda motorin ya da ağır fueloil yakıtlar kullanılmaktadır.

Elektrik üretim verimi yüksek, atık ısı üretimi düşüktür. Genellikle güç çıkışına eşit ısı üretimine sahiptir (İGDAŞ, 2007).

BIG sistemlerinin ekonomik ve çevresel faydalarının incelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, bölgesel olarak farklılıklar gözlenmiştir. Bazı örneklerde sistem, mevcut elektrik şebekesinden daha ucuz üretim sağlarken, bazı örneklerde şebekeden daha pahalı üretim gerçekleşmiştir (Mueller, 2007). Bu nedenle anaerobik fermantasyonda kullanılan BIG sistemlerinin değerlendirilmesinde bölgesel koşullar önemlidir. Ayrıca uzun mesafelerde elektriğin iletimi ısı enerjisinin iletimine göre daha ucuz ve etkilidir. Bu sebepten dolayı BIG sistemleri ısı enerjisinin ihtiyaç duyulduğu bölgenin olabildiğince yakınında olmalı ve ihtiyacı karşılayabilecek boyutlarda kurulmalıdır.

Birleşik ısı ve güç sistemleri gelişmiş enerji üretim sistemi olarak kentsel yerleşimlerde ve sanayi uygulamalarında birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanılacak tesislerin kapasiteleri, ihtiyaç duyulan ısı ve elektrik enerjisi miktarına göre belirlenmektedir. BIG sistemleri petrol rafinerileri, petrokimya kompleksleri, kimya tesisleri, gübre tesisleri, tekstil boyama tesisleri, kağıt ve selüloz işleme tesisleri, ağaç işleme tesisleri, gıda üretim tesisleri, tuğla ve seramik tesislerinde ve aynı zamanda kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutması ile elektrik enerjisi temininde de kullanılmaktadır. Türkiye’de BIG sistemlerinin ağırlıklı olarak kullanıldığı alanlar Şekil 2.12’de özetlenmiştir (İGDAŞ, 2007).



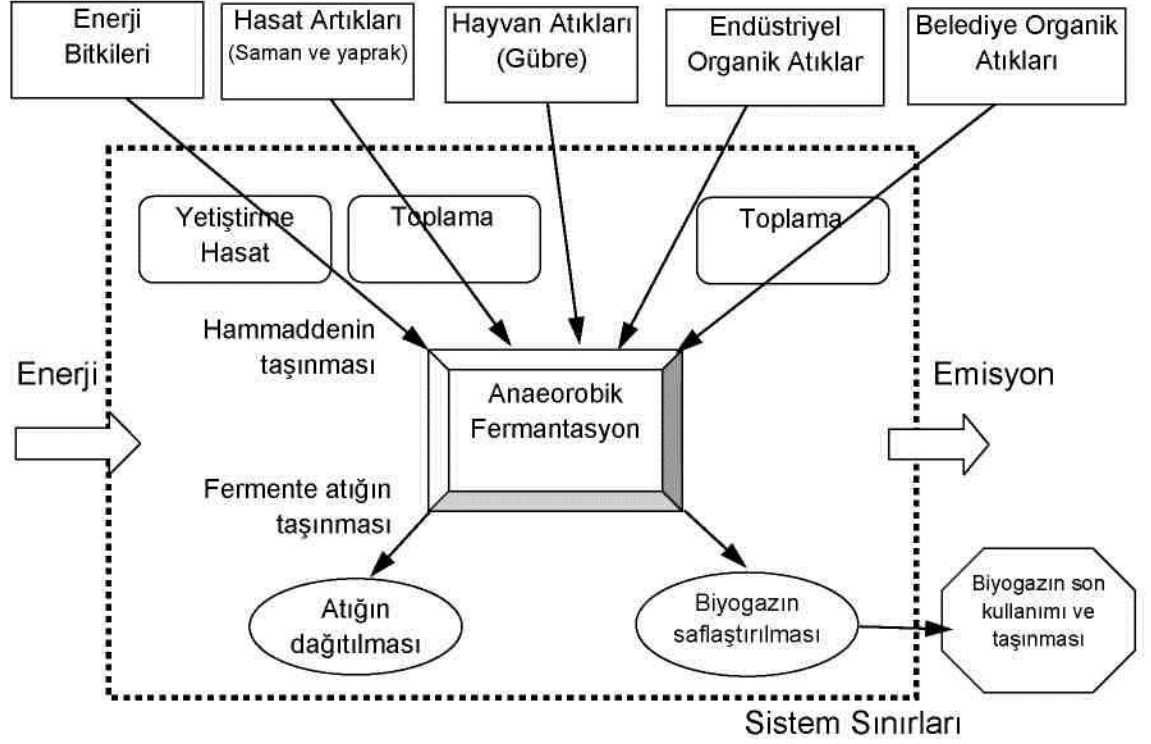
Şekil 2.12. Türkiye’de birleşik ısı ve güç sistemlerinin kullanıldığı alanlar (İgdaş, 2007).

BIG sistemleri, sera gazı emisyon oranlarını azaltır, enerji güvenliğini artırır, potansiyel enerji maliyetlerini azaltır, özellikle gübrelerden kaynaklanan koku oluşumunu azaltır. Düşük maliyetlidir ve kısa sürede kurulumları mümkündür. İhtiyaç duyulan enerji türlerini istenilen zaman ve miktarda üretebilir (Mueller, 2007; Dong vd., 2009).

BIG sistemi ile kentsel, ticari ve endüstriyel kullanım için enerji eldesi mümkündür. Kendi enerjilerini kendi ürettiklerinden, dışa bağımlı değildirler. Üretilen enerji aynı kalitede ve süreklidir. Böylece elektrik kesintisi ve voltaj düşüklüğü sorunları oluşmaz. Elektrik ve ısıyı ayrı ayrı üreten sistemlere göre daha yüksek verim sağlar. Atıklardan elde edilen biyogazın yakıt olarak kullanılmasıyla daha ekonomik ve daha çevre dostu enerji üretim alternatifine dönüşür. Bu sayede ticari ve endüstriyel faaliyetler için rekabet gücü artar. BIG sistemlerinin değerlendirilmesinde genel olarak, ısı ve elektriği ayrı ayrı üreten sistemlerle mukayese edilir ve verimleri karşılaştırılır (Ertesvag, 2007).

Biyogazın kullanım alanlarının değerlendirilmesinde, anaerobik fermentasyon sonucu oluşan katı ve sıvı haldeki fermente atıklar da önemli bir yere sahiptir. Nutrient yönünden zengin bu atıklar, fermente gübre olarak da adlandırılır ve toprak şartlandırıcısı ve gübre olarak kullanılabilir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir (Mueller, 2007). Proses sonucu oluşan atıkların da değerlendirilmesi ile biyogazın kullanım ve uygulama alanları ekonomik ve çevresel açıdan daha da önem kazanmaktadır.

Biyogaz tesisinde kullanılan atıklar, anaerobik fermentasyonun sistem sınırları içerisindeki alt bileşenleri ve biyogazın kullanım alanları Şekil 2.13’de yer almaktadır.



Şekil 2.13. Biyogaz sisteminde materyal ve enerji akış diyagramı (Berglund ve Börjesson, 2006).

2.14 AB ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Biyogaz Üretimi

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarındaki durum Avrupa Birliği ve Türkiye ölçeğinde incelenmiştir.

2.14.1 AB’de yenilenebilir enerji kaynakları ve biyogaz üretimi

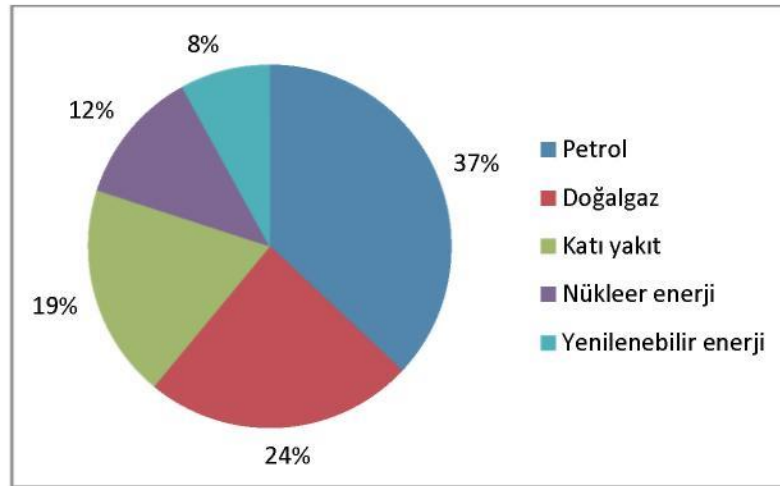
AB enerji politikası; arz güvenliğinin sağlanması, çevrenin korunması ve AB içinde rekabetin artırılması konularına odaklanmıştır. Bu politika ile tüketicilere yüksek kaliteli, kesintisiz, düşük maliyetli, çevreye saygılı ve sürdürülebilir gelişmeye uygun enerji temin edilmesi hedeflenmektedir.

Doğalgaz ve petrol fiyatlarında yaşanan düzensiz artışlar, ithal bağımlılığının giderek artması, enerji piyasalarının ve jeopolitik faktörlerin değişmesi, çevre kirliliği ve iklim değişikliği sorunları, enerji sektöründe daha geniş katılımlı, uzun vadeli ve daha güçlü politikaların uygulanmasının önemini arttırmaktadır.

Bu bağlamda Ocak 2007 tarihinde Avrupa Komisyonu, enerji arz güvenliği, iklim değişikliği ve endüstriyel kalkınma konularına odaklanan entegre enerji ve iklim değişikliği önerilerini kapsayan “Avrupa İçin Enerji Politikası Raporu”nu

yayınlamıştır. Bu rapor kapsamında, 2020 yılında enerji tüketiminin %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) sağlanması, taşıtlarda kullanılan yakıtların (benzin ve dizel) içinde en az %10 oranında biyoyakıt bulunması, enerji verimliliğinin %20 arttırılması ve sera gazı emisyonlarının 1990 yılına oranla en az %20 azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedef AB 20-20-20 hedefi olarak da ifade edilmiştir. Belirlenen hedef kapsamında her bir üye ülkenin 2020 yılı için YEK kullanımındaki hedef oranı da ayrı ayrı saptanmıştır (Öner, 2009).

2006 yılı itibariyle AB-27'nin enerji tüketimi 1.825 MTEP civarında olup, bu tüketimi yaklaşık %33 oranla ulaştırma sektörü, %28 oranla sanayi sektörü ve %26'lık oranla hane tüketimi oluşturmaktadır. 2006 yılı için kullanılan enerji kaynakları incelendiğinde petrol, %37'lik oran ile birinci sırada yer alırken, onu %24 oranla doğalgaz, %19 oranla katı yakıtlar, %12 oranla nükleer enerji ve %8 oranla yenilenebilir enerji izlemiştir (Öner, 2009) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. AB enerji kaynakları kullanımı (Öner, 2009).

2006 yılında AB enerji üretimi ise 880 MTEP olup, üretimin %30'u nükleer enerjiden, %22'si katı yakıtlardan, %20'si doğalgazdan, %14'ü petrolden ve %14'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. AB'nin 2030 yılında enerji ihtiyacının %34'ünü petrolden, %27'sini doğalgazdan, %16'sını katı yakıtlardan, %12'sini YEK'ten ve %11'ini nükleer enerjiden karşılaması beklenmektedir (Öner, 2009).

AB'de yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz incelendiğinde; 2007 yılı itibariyle AB ülkelerinde gerçekleşen biyogazdan enerji üretiminin 2006 yılına göre %20,5 oranında ve yaklaşık 1 MTEP arttığı ve 5,9 MTEP değerine ulaştığı

gözlenmiştir. 2006 ve 2007 yıllarında AB ülkelerinde gerçekleşen biyogazdan birincil enerji üretimi Çizelge 2.14’de yer almaktadır.

Verilere göre, 2007 yılı itibariyle AB’de biyogaz üretiminde, %49,2 oranla düzenli depolama alanları ana kaynak olurken, bunu %15 oranla atıksu arıtma tesisleri ve %35,7 oranla özellikle tarımsal faaliyetlerin oluşturduğu diğer kaynaklar takip etmektedir. Diğer kaynakları özellikle biyogaz üretimi için özel olarak yetiştirilen mısır gibi enerji ürünleri oluşturmaktadır ve bu ürünler Avrupa’daki biyogaz üretiminin artışında önemli rol oynamaktadır (EurObserv’ER, 2008).

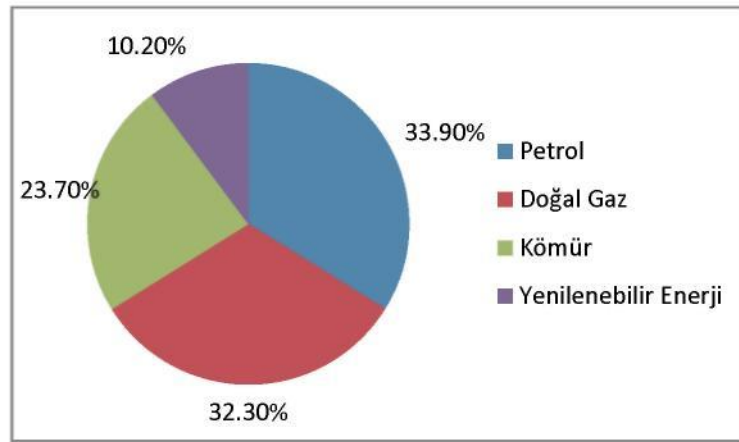
Çizelge 2.14. AB ülkeler bazında biyogaz birincil enerji üretimi (EurObserv’ER, 2008).

	2006 (Klep)				2007 (Klep)			
Ülke	Düz. Depo Gazı	Atık Çamur Gazı	Diğer Biyogaz	Toplam	Düz. Depo Gazı	Atık Çamur Gazı	Diğer Biyogaz	Toplam
Almanya	383,2	270,2	1.011,7	1.665,1	416,4	270,2	1.696,5	2.383,1
İngiltere	1.318,5	180,0	-	1.498,5	1.433,1	191,1	-	1.624,2
İtalya	337,4	1,0	44,8	383,2	357,7	1,0	47,5	406,2
İspanya	251,3	48,6	19,8	319,7	259,6	49,1	21,3	330,0
Fransa	150,5	144,0	3,6	298,1	161,3	144,2	3,7	309,2
Hollanda	46,0	48,0	47,1	141,1	43,2	48,0	82,8	174,0
Avusturya	11,2	3,5	103,4	118,1	10,7	2,0	126,4	139,1
Danimarka	14,3	21,0	57,6	92,9	14,3	21,0	62,6	97,9
Belçika	51,0	17,6	9,1	77,7	48,1	18,0	12,5	78,6
Çek Cumh.	24,5	31,1	7,8	63,4	29,4	32,1	17,0	78,5
Polonya	18,9	43,1	0,5	62,5	19,1	43,0	0,5	62,6
Yunanistan	21,2	8,6	-	29,8	38,0	9,8	-	47,8
Finlandiya	26,1	10,4	-	36,5	26,4	10,3	-	36,7
İrlanda	25,4	5,1	1,8	32,3	23,9	7,9	1,7	33,5
İsveç	9,2	17,1	0,8	27,1	9,2	17,1	0,8	27,1
Maceristan	1,1	8,0	3,1	12,2	2,1	12,4	5,7	20,2
Portekiz	-	-	9,2	9,2	-	-	15,4	15,4
Slovenya	6,9	1,1	0,4	8,4	7,6	0,6	3,8	12,0
Lüksemburg	-	-	9,2	9,2	-	-	10,0	10,0
Slovakya	0,4	6,9	0,4	7,7	0,5	7,6	0,5	8,6
Estonya	3,1	1,1	-	4,2	3,1	1,1	-	4,2
Litvanya	-	1,5	0,5	2,0	1,6	0,8	-	2,4
Kıbrıs Rum	-	-	0,0	0,0	-	-	0,2	0,2
TOPLAM	2.700,2	867,9	1.330,8	4.898,9	2.905,3	887,3	2.108,9	5.901,5

2.14.2 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve biyogaz üretimi

Artan refah ve hızlı kalkınma sürecinde olan ülkemizin enerji talebi; nüfus artışı ve sanayileşmenin etkisi ile hızla artmaktadır. 2007 yılında yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji 10,8 MTEP’in üzerinde gerçekleşmiş olup bu değer Toplam Birincil Enerji Arzının %10,38’i civarındadır (Önenç, 2009).

Genel enerji tüketiminde %33,9 ile petrol en büyük payı almış olup bunu %32,3 ile doğalgaz, %23,7 ile kömür, geri kalan %10,2’lik bölümü ise yenilenebilir kaynaklar izlemiştir (Önenç, 2009), (Şekil 2.15). %10,2’lik yenilenebilir enerji kaynaklarında ise en büyük payı %5 ile biyokütle ve atık, %3,6 ile hidrolik, %1,1 ile jeotermal, %0,4 ile güneş ve %0,1 ile rüzgar enerjisi oluşturmaktadır.



Şekil 2.15. Türkiye genel enerji tüketimi dağılımı (Önenç, 2009).

Türkiye’de tarım ve hayvancılık önemli geçim kaynaklarındandır. Bu nedenle özellikle, sebze ve meyve atıkları, orman atıkları ile büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresi atıkları Türkiye’nin biyogaz potansiyelinde önemli yer tutan atıklardır.

Türkiye’de biyogaz tesislerinde kullanılabilecek başlıca atık türleri; belediye atıkları, orman, tarım ve hayvancılık atıkları olarak sınıflandırılabilir.

Türkiye’nin atık potansiyelinin belirlenmesi için TUIK tarafından yapılan bazı istatistiksel çalışmalar mevcuttur (TUIK, 2006).

Bu çalışmalara göre; ülkemizde belediyelerden kaynaklanan organik atık miktarlarının belirlenmesinde 2006 yılı Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketi uygulanmış ve 3225 belediyenin 3115’inde katı atık hizmeti verildiği tespit

edilmiştir. Katı atık hizmeti verilen belediyelerden, 2006 yılı yaz mevsiminde 12,75 milyon ton, kış mevsiminde 12,53 milyon ton olmak üzere toplam 25,28 milyon ton katı atık toplandığı belirlenmiştir (TUİK, 2006). Toplanan atıkların sadece %45'i düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmekte, kalanı vahşi olarak depolanmaktadır. Bu atıklar biyogaz eldesinde kullanılarak depo gazları geri kazanılabilir (Öztürk ve Karali, 2009).

Bunun yanı sıra Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin ve yatırım yapılabilecek kaynak alanlarının belirlenmesi için Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından ülke genelinde daha kapsamlı olarak bölgesel atık miktarları saptanmış ve potansiyel biyokütle dağılım haritaları oluşturulmuştur. Böylece biyogaz enerjisine temel oluşturacak Türkiye'ye ait atık envanter çalışması hazırlanmıştır (Önenç, 2009). Bu çalışmada orman, tarım ve hayvancılık kaynaklı bölgesel atık miktarları belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmaya göre; 2009 yılı itibariyle Türkiye'nin orman kaynaklı toplam atık miktarı 4.787.541 ton olup, bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz tesisi kapasitesi yaklaşık 600 MW'tır (Önenç, 2009).

Çalışmada Türkiye'nin tarımsal kaynaklı atıkları, tarla ürünleri ve bahçe ürünleri olarak 2 gruba ayrılmıştır. Bölge bazında derlenen bilgiler Çizelge 2.15'de yer almaktadır (Önenç, 2009).

2009 yılı itibariyle Türkiye'nin tarımsal kaynaklı toplam atık miktarını tarla ürünleri için 11.766.995 ton ve bahçe ürünleri için 3.569.040 ton olmak üzere toplam 15.336.035 tondur. Bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz tesisi kapasitesi yaklaşık 1.900 MW'tır (Önenç, 2009).

Çizelge 2.15. Bölgesel bazda kullanılabilir tarımsal kaynaklı atık miktarları (Önenç, 2009).

Bölge	Kullanılabilir Atık (ton)				Toplam (ton)	Toplam Isıl Değer (PJ)
	Tarla Ürünleri (ton)	Isıl Değeri (PJ)	Bahçe Ürünleri (ton)	Isıl Değeri (PJ)		
Marmara Bölgesi	2.520.522	41	562.667	9,5	3.083.189	50,5
Ege Bölgesi	196.308	24,2	158.004	15,3	354.312	39,5
Akdeniz Bölgesi	3.119.832	57	429.939	8,0	3.549.771	65
Karadeniz Bölgesi	1.653.955	29,6	2.015.279	36,1	3.669.234	65,7
İç Anadolu Bölgesi	1.800.627	31,3	51.405	1,0	1.852.032	32,3
Doğu Anadolu Bölgesi	461.626	8,2	145.623	0,9	607.249	9,1
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2.014.125	37,1	206.123	4,0	2.220.248	41,1
Toplam	11.766.995	228,4	3.569.040	74,8	15.336.035	303,2

Yapılan çalışmada 2009 yılı itibariyle Türkiye’de toplam büyükbaş hayvan sayısı 11.054.000 adet, küçükbaş hayvan sayısı 38.030.000 adet ve kanatlı hayvan sayısı 243.510.453 adet olarak belirlenmiştir (Önenç, 2009). Her bir büyükbaş hayvandan 3,6 t/yıl, herbir küçükbaş hayvandan 0,7 t/yıl ve herbir kanatlı hayvandan 0,022 t/yıl yaş gübre oluştuğu ve her 1 ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m³/yıl, her 1 ton küçükbaş hayvan gübresinden 58 m³/yıl ve her 1 ton kanatlı hayvan gübresinden de 78 m³/yıl biyogaz oluştuğu kabul edilerek, Türkiye’nin hayvansal atıklardan elde edebileceği biyogaz miktarı hesabı Çizelge 2.15’de özetlenmiştir (Akbulut ve Dikici, 2004; URL-1).

Çizelge 2.16. Türkiye’nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen biyogaz üretimi (URL-1).

Hayvansal Atık Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (t/yıl)	Biyogaz Potansiyeli (m ³ /yıl)
Büyükbaş hayvan atığı	11.054.000	39.794.400	1.313.215.200
Küçükbaş hayvan atığı	38.030.000	26.621.000	1.544.018.000
Kanatlı hayvan atığı	243.510.453	5.357.230	417.863.937
TOPLAM	292.594.453	71.772.630	3.275.097.137

Yukarıda belirlenen Türkiye'nin biyogaz potansiyelinden, özellikle elektrik üretiminde faydalanılabilir. Türkiye'nin elektrik enerjisi toplam kurulu kapasitesi 2009 yılı Mayıs ayı itibarıyla 42.248 MW olup, bunun yaklaşık %0,16'lık 67 MW'lık kısmını biyogaz ve çöp gazı tesisleri oluşturmaktadır (Gültekin, 2009).

Türkiye'nin enerji ihtiyacının 2005-2025 yılları arasında 3 kat artacağı tahmin edilmektedir (Kaygusuz ve Keleş, 2009). Toplam sera gazı emisyonları değerlendirildiğinde ise, fosil yakıtların kullanımı nedeniyle en çok emisyon üretiminin enerji sektöründe olduğu ve 2007 yılında 1990 yılına göre toplam emisyon miktarında %119 oranında artış olduğu gözlenmiştir (TUIK, 2007). Önümüzdeki yıllarda enerji ihtiyacının artacağı öngörüsüyle, mevcut fosil yakıtların kullanımı sürdükçe, emisyon miktarındaki artış da devam edecektir. Özellikle hammadde olarak halihazırda var olan ve kaynak niteliği taşıyan atıklardan biyogaz tesisleri ile enerji eldesi, Türkiye'nin bu soruna karşı değerlendirebileceği sürdürülebilir bir enerji teknolojisidir.

3. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışılan tez konusuna bağlı olarak yapılan çalışmalar aşağıda kronolojik sıra ile listelenmiştir.

Akbulut ve Dikici (2004), Elazığ ili için ulaşılabilecek biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. 1990 ve 2000 yılları arasında Elazığ bölgesinde bulunan hayvanların sayılarını üç bölgede incelemişlerdir. Kullandıkları veriler ile yaş ve kuru atık miktarlarını, bu atıklardan üretilebilecek biyogaz hacimlerini ve enerji eşdeğerliliklerini çalışmışlardır.

Koçer Nacar vd. (2006), Türkiye'deki hayvansal kaynaklardan oluşabilecek biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Türkiye'de bulunan hayvanların (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı) sayılarına ulaşp, oluşabilecek atık miktarlarından biyogaz potansiyeli tahmini yapmışlardır. Reaktör sıcaklığına bağlı olarak üretilebilecek biyogaz potansiyelini bulmaya çalışmışlardır.

Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu bölgesinde biyogaz potansiyelini belirlemek için 15 bölgenin hayvansal ve bitkisel atıklarını tespit etmiştir ve bu bölge için uygun biyogaz sistemlerini tasarlamaya çalışmışlardır. Bu bölgenin biyogaz potansiyelini belirlemekten yola çıkıp bölge için enerji dengliği oluşturmaya çalışmışlardır.

Kalyuzhnyi (2008), Rusya'da ki büyükbaş, domuz, kümes hayvanları ve küçükbaş hayvanların sayılarını ve ürettikleri atık miktarlarını bulmaya çalışmıştır. Bulduğu atık değerlerinden yola çıkarak toplam hayvansal atıklardan üretilen biyogaz miktarını hesaplamıştır. Öte yandan belediye atıklarının miktarlarını inceleyerek bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarını hesaplamaya çalışmıştır.

Armağan vd. (2008), GAP bölgesini çalışma alanı seçip, bu bölgede oluşan atık miktarlarını ve bu atıklardan oluşabilecek biyogaz potansiyelini araştırmışlardır. Hayvansal kaynaklardan üretilen biyogaz potansiyelinin enerji eşdeğerini MTEP olarak belirlemeye çalışmışlardır. TÜİK ve GAP projesi referans alınarak bölgenin hayvan sayılarını tespit edip, belirlenen hayvan sayılarından organik atık miktarını ve bu miktarlardan elde edilebilecek biyogaz potansiyellerini belirlemeye çalışmışlardır.

Dimitrova vd. (2009), Bulgaristan' ı toplamda 7 ayrı bölgeye ayırarak oluşabilecek atık miktarlarını belirleyip, inşa edilebilecek biyogaz tesisleri, biyogaz fırsatları ve maliyetlerini bulmaya çalışmışlardır. Bölgelerdeki domuz ve büyükbaş

işletmelerinin hayvan başına büyüklüklerini belirleyip biyogaz üretim miktarını hesaplamaya çalışmışlardır.

Dzene (2009), Letonya için biyogaz potansiyeli belirlemeye çalışmıştır. Letonya'yı 2004 ve 2005 yıllarında enerji değişimleri bakımından incelemiş, elde edilen atık miktarlarına göre üretilen biyogaz ve elektrik miktarlarını hesaplamıştır. Ayrıca organik atıkları üretebilecek tesislerin atık miktarlarını belirlemeye çalışmıştır. Letonya'nın atık üreten sanayi ve hayvancılık işletmelerinin ve kanalizasyon sistemlerinin ürettiği organik atık yoğunluk haritasını  ıkarımış bu doğrultuda oluşabilecek biyogaz potansiyelini hesaplamaya çalışmıştır.

Konstantinos (2009), Yunanistan'ın önce belediye atıkları, endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar olmak üzere atık potansiyelini belirlemeye çalışmış, ülkeyi 10 bölgeye ayırarak buralarda atık miktarlarını yıllık ton cinsinden belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen verilerden yararlanarak her bölgenin ayrı ayrı biyogaz ve enerji eşitliğini bulmaya çalışmıştır.

Buss ve Seyfert (2010), Brezilya'nın Rio Grande do Sul eyaletinin domuz çiftliklerinden oluşabilecek toplam biyogaz potansiyelini bulmaya çalışmışlardır. Bu doğrultuda 2003-2008 arası ülkenin ve eyaletin hayvan sayılarını belirlemeye çalışmışlardır. Rio Grande do Sul eyaletini 27 alt bölgeye ayırarak öncelikle domuz çiftliklerinden oluşabilecek biyogaz potansiyelini bulmaya çalışmışlardır. Çiftliklerin günlük ve yıllık atık miktarlarını belirleyerek literatür bilgilerine göre kabuller yapıp bu atıklardan biyogaz potansiyeli araştırmışlardır.

Haefke (2010), Amerika Birleşik Devletleri'nin Illinois Eyaleti'nin süt ve et üreten işletmeleri, kanatlı hayvan işletmeleri, çöp depolama alanlarını tespit etmiş, bu alanlardan meydana gelebilecek tahmini toplam enerji miktarını ve eyaletin yiyecek endüstrilerini belirleyip tüm gıda sanayileri için biyogaz tahmini yapıp, biyogaz yoğunluk haritasını  ıkarımıştır.

Onurbaş Avcıoğlu ve Eliçin (2010), Ankara için biyogaz potansiyel tahmini yapıp, en uygun reaktör hacimlerini ve boyutlandırmalarını belirlemek için çalışmışlardır. T  K ve Ankara Tarım İl Müdürlüğünden alınan veriler işığında hayvan sayılarını belirleyip, işletmelerdeki hayvanların sayılarına göre kuru madde, yaş madde, hayvanların ahırda kalma sürelerini literatürdeki verilere dayanarak ortalama biyogaz potansiyelini bulmaya çalışmışlardır. Hidrolik alıkoyma süresini göz önüne alarak % 9 katı madde için ilave edilecek su miktarını, reaktör büyüklüğünü ve günlük elde edilebilecek biyogaz miktarını bulmaya çalışmışlardır.

Guta (2012), Guta Etiyopya'nın tarımsal alanlarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelini araştırmış. Guta Etiyopya için biyokütle kaynaklarını birincil ve ikincil kaynaklar olarak sınıflandırmış ve en son verileri kullanarak ülkenin eyaletlerinin ayrı ayrı biyogaz potansiyellerini araştırmış.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan araştırma doğrultusunda Çorum il merkezi ve merkeze bağlı köylerindeki mevcut hayvancılık işletmelerinin nitelikleri, barındırdığı hayvan sayıları ve kapasiteleri ile birlikte şehir çöplüğündeki organik içerikli katı atık miktarları araştırılmıştır. Bu bağlamda Çorum Tarım İl Müdürlüğü ve Çorum Belediyesi'nden alınan veriler çalışmanın ana materyalini oluşturmuştur.

4.1 Materyal

Yapılan araştırma doğrultusunda Çorum ili merkez ilçesinin büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan kapasiteleri, hayvancılık yapan işletmelerin özellikleri ve şehir merkezinin atık miktarı ve özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü, Çorum Belediyesi, Çorum Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'ndan temin edilen veriler çalışmanın materyalini oluşturmuştur.

4.1.1 Çorum ili tarımsal nüfus dağılımı

2013 yılı itibariyle adrese bağlı nüfus sayımı sonuçlarına göre Çorum il merkezi ve civarındaki köylerin toplam nüfusu 270 864 olarak saptanmıştır. 2007 yılında yapılan nüfus sayımına göre il merkezi ve civar köylerinin nüfusu 243 600 olarak belirlenmiştir. İki nüfus arasındaki sayımlar incelendiğinde merkez nüfus oranındaki artış % 11,2'i bulmuştur. Çorum ili nüfus artış hızı ile Türkiye ortalamalarının altında kalmıştır (TÜİK, 2013).

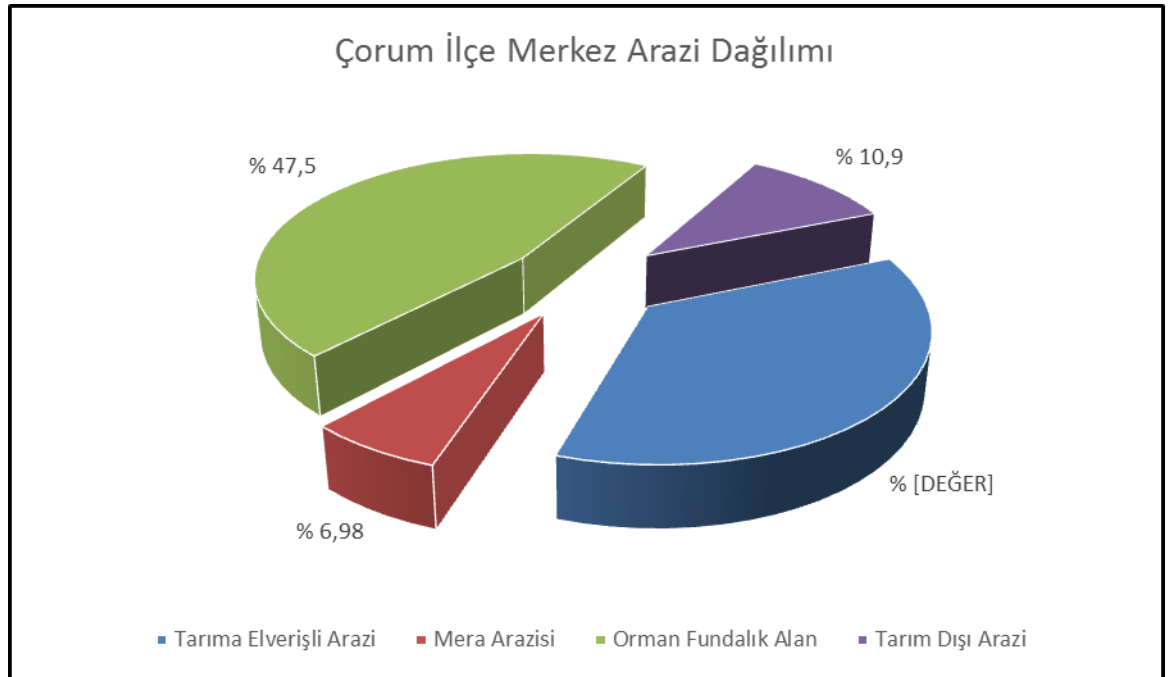
Çorum ili 12 796 km² alanı ile Türkiye'nin en büyük 20. ilidir. Nispeten geniş bir coğrafyaya sahip olan ilde 727 köy 38 belde belediyesi ve 13 ilçe bulunmaktadır. İl toplam nüfusunun % 68,97' şehirde, % 31,03'ü kırsal alanda yaşamaktadır. Genel olarak kilometrekare başına 22 kişi düşmektedir. Çorum ilindeki işgücü dağılımına bakıldığında Tarım ve Hayvancılık ilin en önemli işgücü sektörlerinden birini oluşturmaktadır. Çorum ili tarım faaliyetlerinden elde edilen gelir ile Türkiye genelinde 32. sırada yer almaktadır (TÜİK, 2012).

4.1.2 Çorum ili merkez ilçe arazi dağılımı

Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere 1 278 380 hektar alana sahip Çorum il topraklarının % 44,9’nu tarım, % 9,7’sini çayır-mera, %34,5 ‘ni orman-fundalık, % 10,9’nuda tarım arazi olmayan alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. Çorum ili arazi dağılımı (Türkiye istatistik kurumu, 2013).

Arazinin Cinsi	Yüzölçümü (ha)	Toplam Araziye Oranı (%)	Türkiye Geneli (%)
Tarıma Elverişli Arazi	84453,93	37,09	34,4
Mera Arazisi	15893,46	6,98	26,2
Orman Fundalık Alan	108157,5	47,5	26,4
Tarım Dışı Arazi	18853,56	10,9	13,0
Toplam	133 849	100,0	100,0



Şekil 4.1. Çorum ili arazi dağılımı

Çorum ili arazi verileri ile Türkiye geneli kıyaslandığında tarım arazi alanlarının Türkiye genelinden daha fazla (%37,09), çayır-mera alanlarının ise daha az olduğu (%6,98) görülmektedir.

4.1.3 Çorum merkez ilçe tarım arazisi dağılımı

Çorum merkez ilçe arazi kullanımında tarım alanlarının toplam araziye oranı % 30,2 dir. Çorum merkez ilçesinin toplam tarım olanı 133 489 ha dır. Çorum Merkez ilçede

toplam işlenen tarım alanı 129 875 ha olduğu görülmektedir. Ekilen tahıllar ve nadas alanları sırasıyla 80 244 ha 44 850 ha dır (Çorum tarım ve il müdürlüğü, 2014).

Çizelge 4.2. Çorum merkez ilçe tarımsal arazi dağılımı (Çorum tarım ve il müdürlüğü, 2014).

Çorum Merkez İlçe	Tarım Alanı Kullanımı (ha)
Toplam İşlenen Tarım Alanı ve Uzun Ömürlü Bitkiler	133 849
Toplam İşlenen Tarım Alanı	129 875
Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Alanı	80 244
Sebze Bahçe Alanları	4 781
Diğer Meyveler vb. Alanı	675
Bağ Alanı	3 300
Yem Bitkileri Alanı	2 958

4.1.4 Çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan sayıları ve hayvan başına işletme sayıları

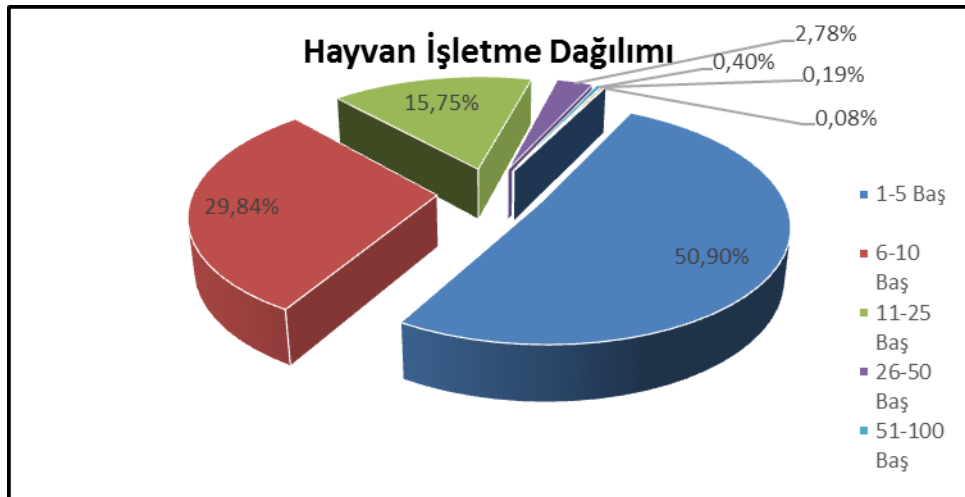
Çorum ili merkez ilçesinin büyükbaş hayvan kapasitesi belirlenerek, geçmiş 10 yıl değerlerinin ortalaması alınarak 2039 yılı için büyükbaş hayvansal atıklarının biyogaz potansiyeli kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Çorum merkez ilçesinin 2039 yılı büyükbaş hayvansal biyogaz potansiyelinin tahmin edilebilmesi için geçmiş yılların büyükbaş hayvan sayıları değerlerinin ortaya konulması gerekmektedir. Büyükbaş hayvan tesislerinin hayvan başına değerlerinin tasarlanacak reaktör hacimleri için bilinmesi gerekmektedir. Büyükbaş hayvan varlığının son on yılı ve hayvan varlığına göre işletme değerleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 ve şekil 4.2 de gösterilmiştir.(Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Çizelge 4.3. 2004-2014 yılları arası çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan sayısı (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Yıl	Büyükbaş Hayvan Sayısı
2004	37 000
2005	39 250
2006	43 400
2007	43 548
2008	43 958
2009	47 120
2010	52 574
2011	53 089
2012	50 723
2013	51 360
2014	50 720

Çizelge 4.4. Çorum merkez ilçe büyükbaş hayvan işletme sayıları ve toplam işletme sayısına oranları (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Hayvan Başına İşletme Büyüklükleri	Büyükbaş İşletme Adeti	Toplam İşletme Adetine Oranı
1-5	3288	% 50,9
6-10	1926	% 29,84
11-25	1017	% 15,75
26-50	180	% 2,78
51-100	26	% 0,40
101-200	12	% 0,19
200>	5	% 0,077
Toplam	6454	100,0



Şekil 4.2. Çorum merkez ilçe büyükbaş işletme büyüklük oranları

Çorum Merkez İlçesinde toplam 6454 Büyükbaş Hayvansal işletmesi mevcuttur. Merkez ilçede 3 adet sadece büyükbaş hayvancılık yapan işletme bulunmaktadır. Geriye kalan 6451 işletme bitkisel üretimle birlikte büyükbaş hayvancılık yapmaktadırlar. Bu sayı toplam işletmelerin yaklaşık % 99,93' ne karşılık gelmektedir. Çorum Merkez İlçede toplam 51 360 büyükbaş hayvan mevcuttur. Bu sayı elde edilebilecek biyogaz potansiyeli için oldukça iyidir (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

4.1.5 Çorum merkez ilçe küçükbaş hayvan sayıları ve hayvan başına işletme sayıları

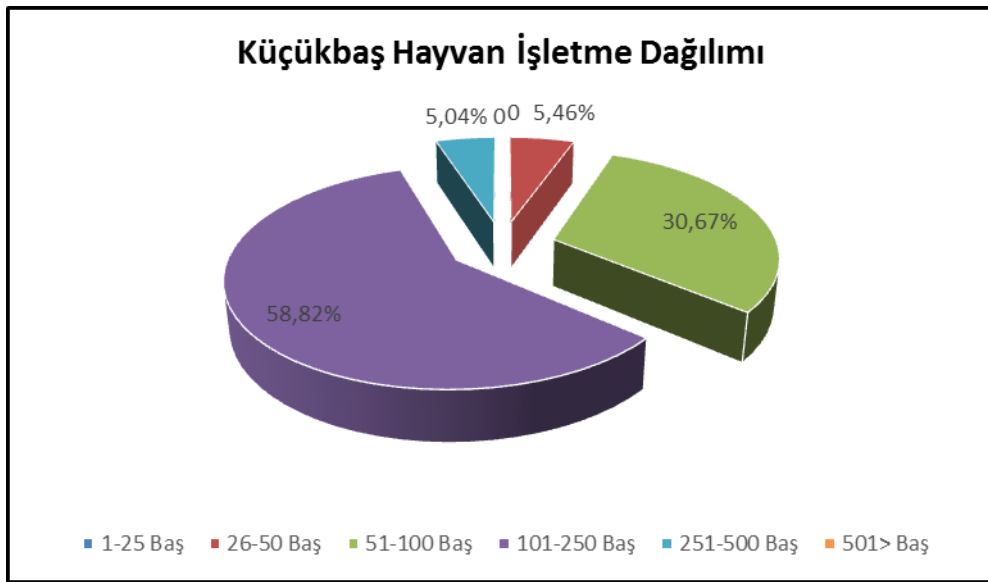
Çorum Merkez İlçesinin 2039 yılı biyogaz potansiyelini belirlemek için küçükbaş hayvan sayısının son 10 yıl değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca küçükbaş hayvancılık tesislerinin mevcut sayıları ve işletmelerdeki hayvan sayılarının bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da sırasıyla 2004-2013 Çorum merkez ilçe küçük baş hayvan sayıları ve Çorum merkez ilçe küçükbaş hayvan işletmeleri ve hayvan başına dağılımları verilmiştir (Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü, 2014).

Çizelge 4.5. 2004-2014 küçükbaş hayvan sayısı (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Yıl	Küçükbaş Hayvan Sayısı (Koyun-Keçi)
2004	21 750
2005	27 500
2006	30 850
2007	29 078
2008	29 080
2009	20 112
2010	34 615
2011	34 500
2012	33 031
2013	32 500
2014	34 472

Çizelge 4.6. Çorum merkez ilçe küçükbaş hayvan işletme sayıları ve toplam işletme sayısına oranları (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Hayvan Başına İşletme Büyüklükleri	Küçükbaş İşletme Adeti	Toplam İşletme Adetine Oranı
1-25	-	% 0
26-50	13	% 5,46
51-100	73	% 30,67
101-250	140	% 58,82
251-500	12	% 5,04
501>	-	% 0
Toplam	238	100,0



Şekil 4.3. Çorum merkez ilçe küçükbaş işletme büyüklük oranları (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Çorum ili merkez ilçesinde 238 adet küçükbaş hayvan işletesi bulunmaktadır. Küçükbaş hayvan işletmeleri içerisinde en büyük oranda 51-100 baş işletmeler yer almaktadır (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

4.1.6 Çorum merkez ilçe kanatlı hayvan sayıları ve işletmeleri dağılımı

Çorum ilinde yumurta üretimi önemli bir yer tutmaktadır. İlde ticari olarak aktif işleyen 100 civarında tavukçuluk işletmesi bulunmaktadır. Türkiye’de üretilen yumurtaların % 4,6’sı Çorum’da üretilmekte ve Türkiye sıralamasında Çorum yumurta üretiminde 8. sırada yer almaktadır (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014)

Çorum merkez ilçe yumurta sektöründe Türkiye genelinde önemli bir yer aldığı için yumurtlayan tavuk sayısı ile elde edilebilecek biyogaz potansiyeli önemli ölçüde görünmektedir. Merkez ilçede 5 adet broiler tavuk işletmesinde 118 000 tavuk yetiştirilmektedir. Bu işletmelerin üretimlerini durdurmaları nedeniyle 2039 yılı biyogaz potansiyeli için yumurta işletmelerindeki tavuk sayıları 2004-2013 yılları arasında Çizelge 4.7’ de gösterilmiştir (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Çizelge 4.7. 2004-2014 yumurtacı tavuk sayısı (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

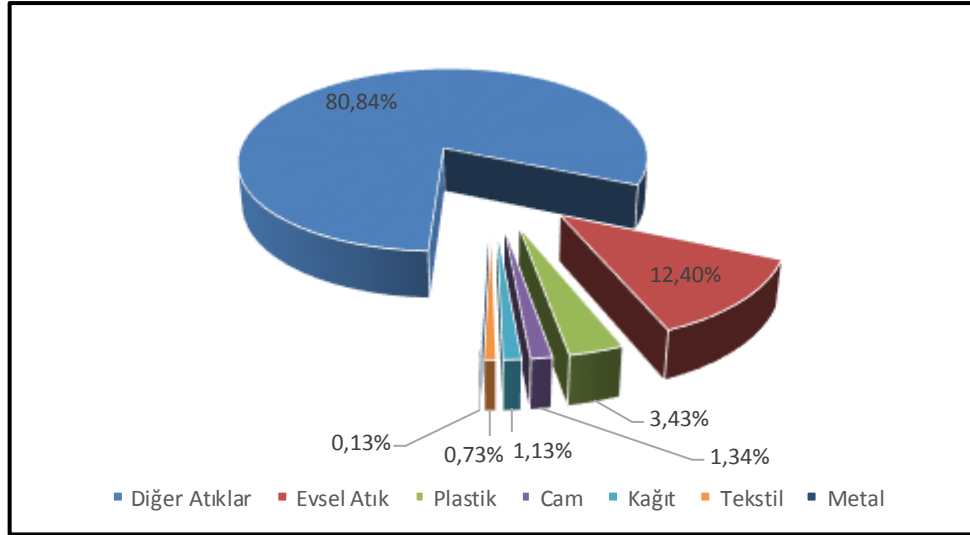
Yıl	Yumurtacı Tavuk Sayısı
2004	2.800.000
2005	2.100.000
2006	2.400.000
2007	2.300.000
2008	3.000.000
2009	3.488.200
2010	3.653.000
2011	3.492.618
2012	4.045.040
2013	4.853.600
2014	4.887.900

4.1.7 Çorum merkez ilçe katı atık miktarı

Evsel atıklar konteyner sistemi ile toplanmakta, sıkıştırılmalı kamyonlarla şehrimize 13 km uzaklıktaki Celilkırı mevkiindeki çöp depo alanına nakledilmektedir(Çorum Valiliği İl Çevre Durum Raporu, 2013). Çorum merkez ilçe için 2004-2014 yılları arasında belediye tarafından ya da belediye adına toplanan atık ve kişi başına düşen atık miktarı Çizelge 4.8’ de gösterilmiştir (Çorum belediyesi, 2014).

Çizelge 4.8. 2004-2014 yılları arası belediye atık istatistiği (Çorum belediyesi, 2014, T.C. Çorum valiliği il çevre durum raporu,2012).

Yıl	Atık hizmeti verilen belediye nüfusunun belediye nüfusuna oranı (%)	Belediye tarafından ya da belediye adına toplanan atık miktar (Bin ton/yıl)	Kişi başı ortalama belediye atık miktarı (kg/kişi-gün)
2004	99	112,188	1,67
2005	99	113,310	1,60
2006	98	114,443	1,16
2007	98	115,518	1,16
2008	99	126,783	1,14
2009	98	128,871	1,15
2010	98	130,696	1,5
2011	98	133,868	1,5
2012	98	135,538	1,5
2013	98	138,411	1,5
2014	98	149,780	1,5



Şekil 4.4. Çorum merkez ilçe atık kompozisyonu (Çorum valiliği il çevre durum raporu, 2013).

4.1.8 Çorum merkez ilçe elektrik kullanım miktarı

Çorum ili merkez ilçesinde sanayi faaliyetlerinin artması ve merkez ilçe nüfusunun önceki yıllara göre çoğalması ile birlikte elektrik tüketimi de artmıştır. Çorum merkez ilçesinde 2007-2011 yılları arasındaki toplam elektrik tüketim miktarı Çizelge 4.9 ile gösterilmektedir (Tüik,2013).

Çizelge 4.9. Çorum merkez ilçe elektrik tüketim miktarları (Türkiye istatistik kurumu,2013).

Yıl	Res.Da. MWh	San. İşt. MWh	Tic.Hane MWh	Mesken MWh	Tar. Sul. MWh	Sok. Ay. MWh	Diğ. Tük. MWh	Top. Tük. MWh
2007	19 910	274 480	70 452	199 165	11 819	21 105	46 406	643 338
2008	20 970	274 770	76 733	202 115	14 787	28 453	41 281	659 109
2009	23 704	231 982	80 407	214 570	9 966	28 071	37 926	626 626
2010	26 663	263 621	90 573	224 659	12 063	23 712	35 454	676 744
2011	32 173	313 223	91 677	248 305	19 442	30 971	29 347	765 139

4.1.9 Çorum merkez ilçe nüfus rakamları

Çorum merkez ilçesinin çöp depolama alanından oluşacak biyogaz potansiyelini belirlemek için kişi başına üretilen atığın kg/gün şeklinde bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda şehir merkezinin adrese dayalı nüfus bilgileri Çizelge 4.10’ da verilmiştir (TÜİK, 2013).

Çizelge 4.10. Çorum merkez 2007-2013 nüfus rakamları (Türkiye istatistik kurumu, 2013).

Yıl	Kişi Sayısı
2007	243600
2008	248109
2009	252194
2010	255767
2011	261973
2012	265242
2013	270864

4.2. Yöntem

Çorum merkez ilçesinin hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini belirlemek için öncelikle hayvan cinslerine bağlı olarak ayrı ayrı atık miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda hayvan türlerine göre üretilen atık miktarları Çizelge 4.11’de gösterilmiştir (Onurbaş Avcıoğlu, 2010).

Çizelge 4.11..Hayvan türlerine göre atık karakteristikleri ve biyogaz verimi (Omer and Fadalla, 2003, Köttner, 2003, Koçer vd., 2006, Başçetinçelik vd., 2007, Eryaşar, 2007).

Hayvan Türü	Canlı Ağırlık (kg)	Taze atık Miktarı		TK (%)	UK (%)	Kullanılabilirlik	Biyogaz Verimi l/kgUK
		Ağırlığın Yüzdesi	Kg/gün			Ahırda kalma süresi (%)	
Büyükbaş	135-800	5-6	10-20	5-25	75-85	Süt 65	200-350
						Et 25	
Küçükbaş	30-75	4-5	2	30	20	13	100-310
Kümes Yumurta Et	1,5-2,0	3-4	0,08-1,00	10-35 50-90	70-75 60-80	99	310-620 550-650

Elde edilebilecek atığın miktarını hesaplamakta büyükbaş hayvanlar için yaş atık verimini 10-20 kg/gün alınabileceği gibi, günlük atık miktarını belirlemekte hayvanın canlı ağırlığının % 5-6' sı alınabilir. Benzer bir şekilde koyun-keçi için birlikte yaş atığı 2 kg/gün ya da canlı ağırlığın % 4-5'i günlük atık üretiminde kullanılabilmektedir. Tavuklar için de yaş atık üretimi 0,08-0,1 kg/gün ya da canlı ağırlığının % 3-4'ü kullanılabilmektedir (Onurbaş Avcıoğlu, 2010).

Çorum merkez ilçesindeki atık verilerinin yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü, Çorum Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü yetkilileri ile yapılan bilgi alışverişinde Çorum il genelinde mevcut olan hayvancılık işletmelerindeki hayvanların günlük ürettikleri atık miktarı ve katı madde oranı ile ilgili yapılmış bir çalışma olmadığı tespit edildiğinden dolayı merkez ilçedeki hayvanların canlı ağırlıkları belirlenerek literatürdeki canlı ağırlık yüzdelerinden, günlük üretilen atık miktarına bağlı olarak katı atık miktarının tespit edilmesine çalışılmıştır. Bu doğrultuda Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü yetkilileri ile görüşülerek kesilen canlı hayvan ağırlığının büyükbaş hayvanlar için ortalama 458 kg, küçükbaş hayvanlar içinse 60-115 kg olduğu, kanatlı hayvanlar içinse (yumurtacı tavuk ve et tavuğu) 2,0-2,3 kg

arasında olduğu belirtilmiştir (Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü,2014).

Biyogaz potansiyelini belirlemek için hayvanların ahırda geçirdikleri süreler; süt sığırı için %65, et sığırı için %25, küçükbaş hayvanlar için %13 ve kanatlı hayvanlar için %99 olmaktadır (Onurbaş Avcıoğlu 2010).

Çorum merkez ilçesinin çöp depolama sahasından çıkan sera gazı emisyonunun hesabından yararlanılarak oluşacak CH₄ ve CO₂ hacimleri m³/ton atık cinsinden belirlenebilmektedir.

Çöp depolama sahalarında oluşabilecek biyogaz miktarı EPA'nın kullandığı Land Gem simülasyon programı ile tahmin edilebilmektedir. Bu simülasyon programının sonraki yıllar için oluşabilecek biyogaz miktarını belirlemek için kullandığı formül aşağıdaki gibidir;

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_o (M_i / 10) e^{-k t_{ij}} \quad (4.1)$$

Burada;

Q_{CH_4} = Hesaplanan yıllık metan miktarı m³/yıl

$i = 1$ yıldaki artış

n = Hesaplanacak yıl ile başlangıç yılı arasındaki zaman farkı

$j = 0,1$ yıllık zaman içerisindeki artış

k = Metan üretim oranı (yıllık)

L_o = Potansiyel metan üretim kapasitesi (m³/ton)

M_i = Herhangi bir yılda boşaltılan atık miktarı (ton)

t_{ij} = Atığın boşaltıldığı yıl içerisindeki ayın toplama oranı

Çöp toplama sahalarında oluşabilecek biyogaz hacminin belirlenebilmesi için kişi başı atık miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu oranı belirledikten sonra daha sonraki yıllar için bir biyogaz tahmini yapılabilir. Daha sonraki yılların biyogaz tahminini yapabilmek için tahmin yapılacak yılın o il veya bölge için nüfus bilgilerini belirlemek gerekmektedir. Nüfus bilgileri, tasarlanacak bir biyogaz tesisi ve depolama alanı için projelendirmede önemli bir parametredir. Nüfus hesabının tahmini için İller bankası nüfus hesabı ve aritmetik nüfus hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

İller Bankası Nüfus Hesabı;

$$\text{Ç} = (\sqrt{N_y/N_e} - 1) \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$N_y = N_e \cdot (1 + \text{Ç}/100)^n$$

Formülde;

Ç = Çoğalma Katsayısı

N_y = Sayılan son nüfus rakamı

N_e = Sayılan ilk nüfus rakamı

n = N_y-N_e

Aritmetik Yöntem İle Nüfus Hesabı;

$$\text{Ç} = (Y_s - Y_i) / (T_s - T_i) \quad (4.3)$$

$$Y_m = Y_i + \text{Ç} \cdot (T_m - T_i)$$

Formülde;

Ç = Çoğalma katsayısı

Y_s = Sayılan Son nüfus rakamı

Y_i = Sayılan ilk nüfus rakamı

T_s = Son sayım tarihi

T_i = İlk sayım tarihi

Y_m = İstenen yılın nüfus rakamı

T_m = İstenen tarih

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan araştırmada Çorum merkez ilçesinin hayvancılık ile ilgilenen işletmelerindeki mevcut hayvanların ürettikleri atıklar değerlendirmeye alınarak ve şehir ve alt bölgelerinde yaşayan insanların ürettikleri evsel atıkların miktarları dikkate alınarak 2014 yılı ve 2039 yılına kadar oluşabilecek biyogaz potansiyelinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu hesaplamayı yapabilmek için önce Çorum merkez ilçesinin büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları ve ayrıca Çorum merkez ilçesinden çöp depolama alanına taşınan yıllık evsel katı atık miktarı belirlenerek 2039 yılı için bir tahmin yapılmıştır.

5.1. 2014 Yılı Çorum Merkez İlçe Hayvansal Organik Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli

Oluşabilecek atığın değerini hesaplayabilmek için Çorum Tarım İl Gıda Ve Hayvancılık Müdürlüğü verileri dikkate alınarak yapılan değişiklikler hesaba katılmıştır. Hayvansal atıklardan biyogaz potansiyelini hesaplayabilmek için; büyükbaş hayvanlar için canlı ağırlık 460 kg, küçükbaş hayvanlar için 65 kg ve tavuk için 2 kg alınmıştır. İl kapsamında günlük yaş atık miktarı ile ilgili hiçbir değer olmadığından ve daha önce bununla ilgili bir çalışma yapılmadığından Günlük taze atık miktarı için; büyükbaş hayvanların canlı ağırlığının % 6'sı, küçükbaş canlı ağırlığının % 5'i ve tavuk canlı ağırlığının % 4'ü kabul edilmiştir. Atık kullanımı için hayvanların ahırda kalma süreleri göz önüne alınmış olup; büyükbaş için % 55, küçükbaş için % 13, tavuk için ise % 98 kabul edilmiştir. 2014 yılı için hayvan türlerine göre canlı hayvan sayıları çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu kapsamda hayvan türlerine göre oluşabilecek atık miktarları Çizelge 5.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. 2014 yılı hayvan türlerine göre canlı hayvan sayıları (Çorum tarım il gıda ve hayvancılık müdürlüğü, 2014).

Hayvan Türü	Canlı Hayvan Sayısı
Büyükbaş hayvan sayısı	50 720
Küçükbaş hayvan sayısı	34 472
Tavuk sayısı	4 887 900

Çizelge 5.2. Hayvan türüne göre oluşabilecek atık miktarları

Hayvan türü	Yaş atık üretimi (kg/gün.hayvan)	Katı madde oranı (%)	Katı madde atık üretimi (kgKM/gün.hayvan)	Elde edilebilirlik	Toplam elde edilebilir KM atık miktarı (kg/gün.hayvan)
Büyükbaş	27,6	20	5,52	0,55	3,036
Küçükbaş	3,25	30	0,975	0,13	0,126
Kanatlı	0,08	30	0,024	0,98	0,24

Günde, bir hayvandan oluşabilecek atık miktarı; katı madde oranları dikkate alınarak büyükbaş hayvanlar için 3,036 kg, küçükbaş hayvanlar için 0,126 kg ve tavuk için 0,24 kg olarak bulunmuştur. Bu değerler sonucunda hayvan sayılarındaki artışın tam olarak tespit edilememesinden dolayı her yıl için aynı miktarda hayvansal atık miktarı elde edileceği kabulünden 2014 yılı ve 2039 yılı biyogaz potansiyelleri Çizelge 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

Oluşabilecek Atık Bulguları;

2014 yılı için;

Büyükbaş Hayvan 50 720. $27,6.365/1000 = 510\ 953$ ton/yıl yaş atık,

Küçükbaş Hayvan 34 472. $3,25.365/1000 = 40\ 892$ ton/yıl yaş atık,

Kümes Hayvanı 4 887 900. $0,08.365/1000 = 142\ 727$ ton/yıl yaş atık,

Bu doğrultuda el edilebilecek katı atık miktarı;

Büyükbaş Hayvan 510 953. $0,20. 0,55 = 51\ 095$ ton. KM/yıl,

Küçükbaş Hayvan 40 892. $0,30. 0,13 = 1594,8$ ton. KM/yıl,

Kümes Hayvanı 142 727. $0,30. 0,98 = 41\ 967,7$ ton. KM/yıl,

meydana gelmiştir.

Oluşabilecek biyogaz değeri;

2014 yılı için;

Katı hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz değeri 1 ton atık başına 200 m^3 ' tür. Aynı zamanda ısı değeri $22,7 \text{ MJ/m}^3$ olarak alınmıştır (Acaroğlu 2007, Başçetinçelik vd, 2007, Onurbaş Avcıoğlu 2010).

Bu doğrultuda hayvansal kaynaklardan oluşabilecek biyogaz değeri;

Büyükbaş Hayvan $51\,095 \text{ ton. KM/yıl. } 200 \text{ m}^3/\text{ton. KM} = 10\,219\,000 \text{ m}^3/\text{yıl}$,

Küçükbaş Hayvan $1594,8 \text{ ton. KM/yıl. } 200 \text{ m}^3/\text{ton. KM} = 318\,960 \text{ m}^3/\text{yıl}$,

Kanatlı Hayvan $= 41\,967,7 \text{ ton. KM/yıl. } 200 \text{ m}^3/\text{ton. KM} = 8\,393\,540 \text{ m}^3/\text{yıl}$,

biyogaz potansiyeli oluşabilir.

Tahmini olarak oluşabilecek biyogaz potansiyelinin enerji eşitliği;

Büyükbaş hayvanlar için $10\,219\,000.22,7 = 231\,971\,300 \text{ MJ/yıl}$,

Küçükbaş hayvanlar için $318\,960.22,7 = 7\,240\,392 \text{ MJ/yıl}$,

Kanatlı hayvanlar için $8\,393\,540.22,7 = 190\,533\,358 \text{ MJ/yıl}$

Oluşabilecek biyogaz potansiyelinden elektrik enerjisi hesaplamak istersek; % 40 elektrik % 45 ısı dönüşümü ve % 15 kayıp ile çalışan bir kojenerasyon sistemi kullanılırsa;

Elektrik Enerjisi Hesabı;

Büyükbaş hayvanlar için $231\,971\,300.(1000/3600).0,40 = 25\,774\,589 \text{ kWh/yıl}$,

Küçükbaş hayvanlar için $7\,240\,392.(1000/3600).0,40 = 804\,488 \text{ kWh/yıl}$,

Kanatlı hayvanlar için $190\,533\,358.(1000/3600).0,40 = 21\,170\,373 \text{ kWh/yıl}$

elektrik elde edilebilmektedir.

5.2. 2039 Yılı Tahmini Çorum Merkez İlçe Hayvansal Organik Atık Miktarı Ve Biyogaz Potansiyeli

2039 Yılı için hayvansal kaynaklardan oluşabilecek biyogaz potansiyelini tahmin edebilmek, canlı hayvan sayılarının tam olarak tespitinin belirlenememesinden dolayı 2014 yılı verileri ile hesaplanmıştır. 2039 yılı için Çizelge 5.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. 2039 yılı hayvan türlerine göre canlı hayvan sayıları

Hayvan Türü	Canlı Hayvan Sayısı
Büyükbaş hayvan sayısı	50 720
Küçükbaş hayvan sayısı	34 472
Tavuk sayısı	4 887 900

Bu doğrultuda Oluşabilecek Atık Bulguları;

Büyükbaş Hayvan 50 720. $27,6.365/1000 = 510\ 953$ ton/yıl yaş atık,

Küçükbaş Hayvan 34 472. $3,25.365/1000 = 40\ 892$ ton/yıl yaş atık,

Kümes Hayvanı 4 887 900. $0,08.365/1000 = 142\ 727$ ton/yıl yaş atık,

Bu çerçevede elde edilebilecek katı madde miktarı;

Büyükbaş Hayvan 510 953. $0,20. 0,55 = 51\ 095$ ton. KM/yıl,

Küçükbaş Hayvan 40 892. $0,30. 0,13 = 1594,8$ ton. KM/yıl,

Kümes Hayvanı 142 727. $0,30. 0,98 = 41\ 967,7$ ton. KM/yıl

Oluşabilecek biyogaz değeri;

Büyükbaş Hayvan 51 095 ton. KM/yıl. $200\ m^3/ton. KM = 10\ 219\ 000\ m^3/yıl$,

Küçükbaş Hayvan 1594,8 ton. KM/yıl. $200\ m^3/ton. KM = 318\ 960\ m^3/yıl$,

Kümes Hayvanı 41 967,7 ton. KM/yıl. $200\ m^3/ton. KM = 8\ 393\ 540\ m^3/yıl$ biyogaz miktarına ulaşılabilir.

Tahmini olarak oluşabilecek biyogaz potansiyelinin enerji eşitliği;

Büyükbaş Hayvan İçin $10\ 219\ 000.22,7= 231\ 971\ 300$ MJ/yıl,

Küçükbaş Hayvan İçin $318\ 960.22,7= 7\ 240\ 392$ MJ/yıl,

Kümes Hayvanı İçin $8\ 393\ 540.22,7= 190\ 533\ 358$ MJ/yıl

Oluşabilecek biyogaz potansiyelinden elektrik enerjisi hesaplamak istersek; % 40 elektrik % 45 ısı dönüşümü ve % 15 kayıp ile çalışan bir kojenerasyon sistemi kullanılırsa;

Büyükbaş hayvanlar için $231\,971\,300 \cdot (1000/3600) \cdot 0,40 = 25\,774\,589$ kWh/yıl,

Küçükbaş hayvanlar için $7\,240\,392 \cdot (1000/3600) \cdot 0,40 = 804\,488$ kWh/yıl,

Kümes hayvanlar için $190\,533\,358 \cdot (1000/3600) \cdot 0,40 = 21\,170\,373$ kWh/yıl

elektrik enerjisi elde etmek mümkündür.

2014 yılı için tüm bu değerler özet olarak Çizelge 5.4 ve 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. 2014 yılı hayvansal atıklardan tahmini biyogaz miktarı

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)
Büyükbaş	50 720	510 953	51 095	10 219 000
Küçükbaş	34 472	40 892	1594,8	318 960
Kanatlı	4 887 900	142 727	41 967,7	8 393 540
Toplam	4 973 092	694 572	94 657,5	18 931 500

Çizelge 5.5. 2014 yılı hayvansal atıklardan enerji ve elektrik karşılıkları

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	50 720	231 971 300	25 774 589
Küçükbaş	34 472	7 240 392	804 488
Kanatlı	4 887 900	190 533 358	21 170 373
Toplam	4 973 092	429 744 850	47 749 450

2039 yılı hayvansal atıklardan meydana gelebilecek biyogaz değerleri ve elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarları Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.6. 2039 yılı hayvansal atıklardan tahmini biyogaz miktarı

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m³/yıl)
Büyükbaş	50 720	510 953	51 095	10 219 000
Küçükbaş	34 472	40 892	1594,8	318 960
Kanatlı	4 887 900	142 727	41 967,7	8 393 540
Toplam	4 973 092	694 572	94 657,5	18 931 500

Çizelge 5.7. 2039 yılı hayvansal atıklardan tahmini enerji ve elektrik karşılıkları

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	50 720	231 971 300	25 774 589
Küçükbaş	34 472	7 240 392	804 488
Kanatlı	4 887 900	190 533 358	21 170 373
Toplam	4 973 092	429 744 850	47 749 450

Çorum merkez ilçesinin 2014 yılı elektrik tüketim miktarını Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 ‘ dan yararlanılarak 2014 yılı nüfus bilgileri iller bankası ve aritmetik yöntem nüfus hesabı formüllerinden yararlanılarak bulunmuştur.

Bu doğrultuda;

2007-2013 ortalama çoğalma katsayısı (Ç) 0,98 bulunmuştur. İller bankası şartnamesine göre çoğalma katsayısı (1) alınmıştır.

$$N_y = 270\,864 \cdot (1 + 1/100)^1$$

$$2014 \text{ nüfusu} = 273\,573 \text{ kişi}$$

Aritmetik Yönteme göre Çoğalma katsayısı (Ç) 5622 bulunmuştur.

$$Y_m = Y_i + \text{Ç} \cdot (T_m - T_i)$$

$$Y_m = 270\,864 + 5622 \cdot (2014 - 2013)$$

$$2014 \text{ nüfusu} = 276\,486 \text{ kişi}$$

olarak bulunmuştur.

İki nüfus hesaplama yönteminin aritmetik ortalaması alınarak yaklaşık bir nüfus hesabı yapılarak 2014 nüfusu 275 030 kişi olarak kabul edilmiştir.

Bu çerçevede 2011 TÜİK il elektrik tüketimlerinden kişi başı elektrik tüketimi;
1 431 kWh olarak kabul edilmiştir (TÜİK,2012).

Buradan 2014 yılı için toplam elektrik tüketimi;

$$275\ 030.1431\text{ kWh} = 393\ 567\ 930\text{ kWh}$$

bulunmuştur.

Bu kapsamda hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı ile 2014 yılı için toplam nüfusun ihtiyacı olan elektrik miktarının % 12,13'lük kısmı karşılanabilir.

Benzer şekilde Çorum merkez ilçesinin 2039 yılı için elektrik tüketim miktarları Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'dan yararlanılarak 2039 yılı nüfus bilgileri iller bankası ve aritmetik yöntem nüfus hesabı formüllerinden yararlanılarak bulunmuştur.

Bu doğrultuda;

2007-2013 ortalama çoğalma katsayısı (Ç) 0,98 bulunmuştur. İller bankası şartnamesine göre çoğalma katsayısı (1) alınmıştır.

$$N_y = 275\ 030.(1+1/100)^{25}$$

$$2039\text{ nüfusu} = 352\ 707\text{ kişi}$$

Aritmetik Yönteme göre Çoğalma katsayısı (Ç) 4166 bulunmuştur.

$$Y_m = Y_i + \text{Ç}(T_m - T_i)$$

$$Y_m = 275\ 030 + 4166.(2039-2014)$$

$$2039\text{ nüfusu} = 379\ 180\text{ kişi}$$

İki nüfus hesaplama yönteminin aritmetik ortalaması alınarak yaklaşık bir nüfus hesabı yapılarak 2039 nüfusu 365 945 kişi olarak kabul edilmiştir.

Bu çerçevede 2011 TÜİK il elektrik tüketimlerinden kişi başı elektrik tüketimi;

1 431 kWh olarak kabul edilmiştir (Tük,2012).

Buradan 2014 yılı için toplam elektrik tüketimi;

$$365\ 945 \times 1\ 431 = 523\ 665\ 149\text{ kW}$$

Çorum merkez ilçesinin 2014 yılı için hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli sayesinde nüfusun elektrik ihtiyacının % 12'sini

karşılayabilirken 2039 yılında elde edilebilecek biyogaz potansiyeli sayesinde elde edilebilecek elektrik enerjisi nüfusun elektrik kullanımının yaklaşık % 8,9'unu karşılayabilmektedir.

5.3 2039 Yılı Çorum Merkez İlçe Çöp Depolama Sahasından Oluşabilecek Biyogaz Hacmi

2039 yılı tahmini biyogaz miktarı için çöp depolama sahası ile ilgili 2014-2039 yılları arasında oluşabilecek atık miktarlarının iller bankası nüfus hesaplama yöntemi ile bulunan nüfus rakamlarının kişi başı atık miktarının 1,5 kg/gün alınarak çarpılması ile bulunan değerlerin Land Gem v.3.02 çöp gazı simülasyon programına sayısal olarak veri girişi yapılması ile 2039 yılına kadar olan toplam biyogaz hacmi hesaplanmaya çalışılmıştır. İlgili programın input bölümünde çöp sahasına ait 2014-2039 yılları sayısal bilgileri aşağıdaki şekil 5.1’de gösterilmiştir..

USER INPUTS

Landfill Name or Identifier:

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year

2014

Landfill Closure Year

2039

Have Model Calculate Closure Year?

☐ Yes ☒ No

Waste Design Capacity

megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1})

Inventory Conventional - 0.04

Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg)

Inventory Conventional - 100

NMOC Concentration (ppmv as hexane)

CAA - 4,000

Methane Content (% by volume)

CAA - 50% by volume

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2014	144.701,00	159.171
2015	148.769,00	163.646
2016	152.334,00	167.567
2017	155.899,00	171.489
2018	159.464,00	175.410
2019	163.028,00	179.331
2020	166.593,00	183.252
2021	170.158,00	187.174
2022	173.723,00	191.095
2023	177.287,00	195.016
2024	180.852,00	198.937
2025	184.417,00	202.859

Şekil 5.1. Land Gem v.3.02 veri giriş bölümü

Land Gem v.3.02 programı ile 2039 yılına kadar oluşabilecek biyogaz potansiyeli ilgili programın sonuç raporları bölümünde aşağıdaki şekil 5.2’de gösterilmiştir.

RESULTS										
Landfill Name or Identifier: _____										
Closure Year (with 80-year limit) = 2039					Please choose a third unit of measure to represent all of the emission rates below.					
Methane = 50 % by volume					User-specified Unit: short tons/year					
Year	Waste Accepted		Waste-In-Place		Total landfill gas			Methane		
	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(short tons/year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(short tons/year)
2026	187.982	206.780	1.977.225	2.174.948	1.588E+04	1.272E+07	1.747E+04	4.242E+03	6.369E+06	4.667E+03
2027	191.546	210.701	2.165.207	2.381.728	1.710E+04	1.370E+07	1.881E+04	4.569E+03	6.848E+06	5.026E+03
2028	195.111	214.622	2.356.753	2.592.428	1.831E+04	1.466E+07	2.014E+04	4.892E+03	7.332E+06	5.381E+03
2029	198.676	218.544	2.551.864	2.807.050	1.951E+04	1.562E+07	2.146E+04	5.211E+03	7.811E+06	5.732E+03
2030	202.241	222.465	2.750.540	3.025.594	2.069E+04	1.657E+07	2.276E+04	5.528E+03	8.285E+06	6.080E+03
2031	205.805	226.386	2.952.781	3.248.059	2.187E+04	1.751E+07	2.405E+04	5.841E+03	8.755E+06	6.425E+03
2032	209.370	230.307	3.158.586	3.474.445	2.303E+04	1.844E+07	2.533E+04	6.151E+03	9.220E+06	6.767E+03
2033	212.935	234.229	3.367.956	3.704.752	2.418E+04	1.936E+07	2.660E+04	6.459E+03	9.682E+06	7.105E+03
2034	216.500	238.150	3.580.891	3.938.980	2.532E+04	2.028E+07	2.785E+04	6.764E+03	1.014E+07	7.440E+03
2035	220.064	242.070	3.797.391	4.177.130	2.645E+04	2.118E+07	2.910E+04	7.066E+03	1.059E+07	7.773E+03
2036	223.629	245.992	4.017.455	4.419.201	2.758E+04	2.208E+07	3.033E+04	7.366E+03	1.104E+07	8.103E+03
2037	227.194	249.913	4.241.084	4.665.192	2.869E+04	2.297E+07	3.156E+04	7.663E+03	1.149E+07	8.430E+03
2038	230.759	253.835	4.468.278	4.915.106	2.979E+04	2.386E+07	3.277E+04	7.958E+03	1.193E+07	8.754E+03
2039	234.323	257.755	4.699.037	5.168.941	3.089E+04	2.474E+07	3.398E+04	8.251E+03	1.237E+07	9.076E+03
2040	0	0	4.933.360	5.426.696	3.198E+04	2.561E+07	3.518E+04	8.542E+03	1.280E+07	9.396E+03

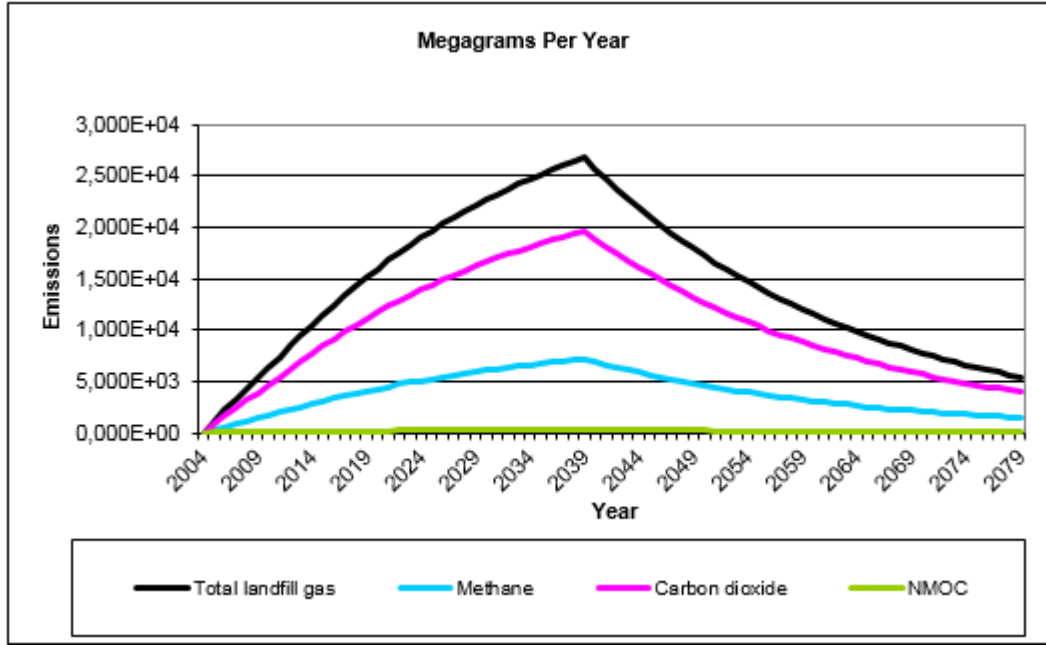
Şekil 5.2. Land Gem sonuç rapor bölümü

Land Gem v.3.02 programı ile 2014-2039 arasında oluşabilen tahmini biyogaz miktarı çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. 2039 yılına kadar çöp sahasından oluşabilecek toplam biyogaz miktarı

Yıl	Toplam Biyogaz (m ³)	Toplam Biyogaz (ton)
2014	0	0
2019	16 771 675	20 944
2024	60 166 094	75 136
2029	128 594 739	160 592
2034	220 757 040	275 686
2039	335 588 180	419 090

Çöp depolama sahasında oluşabilecek biyogazın zamansal oluşum eğrisi ilgili programın grafik bölümünde şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Land Gem v.3.02 grafik sonuç ekranı (çöp depolama sahasından oluşan biyogazın zamansal değişim eğrisi).

Toplam elde edilen biyogaz miktarının enerji eş değeri;

$$335\,588\,180.22,7 = 7\,617\,851\,686 \text{ MJ/yıl}$$

% 40 verim ile çalışan bir elektrik kojenerasyon sistemi için elde edilebilecek elektrik miktarı;

$$1,02604 \cdot 10^{10} \text{ MJ/yıl} \cdot (1000/3600) \cdot 0,40 = 846\,427\,965 \text{ kWh 2039 yılına kadar toplam olarak elektrik enerjisi elde etmek mümkündür.}$$

Çizelge 5.9. Çorum merkez ilçe 2014 yılı elde edilebilecek tahmini toplam biyogaz miktarı

Biyogaz Kaynak	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)
Büyükbaş	10 219 000
Küçükbaş	318 960
Kanatlı	8 393 540
Toplam	18 931 500

Çizelge 5.10. Çorum merkez ilçe 2014 yılı tahmini elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri

Biyogaz Kaynak	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	25 774 589
Küçükbaş	804 488
Kanatlı	21 170 373
Toplam	47 749 450

Çizelge 5.11. Çorum merkez ilçe 2039 yılı tahmini elde edilebilecek toplam biyogaz miktarı

Biyogaz Kaynak	Tahmini Biyogaz üretimi (m³/yıl)
Büyükbaş	10 219 000
Küçükbaş	318 960
Kanatlı	8 393 540
Çöp depolama sahası	335 588 180
Toplam	354 519 680

Çizelge 5.12. Çorum merkez ilçe 2039 yılı tahmini elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri

Biyogaz Kaynak	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	25 774 589
Küçükbaş	804 488
Kanatlı	21 170 373
Çöp depolama sahası	846 427 965
Toplam	894 177 415

SONUÇ

Fosil kaynaklı yakıtların gün geçtikçe mevcut rezervlerinin azalması ve kaynakların planlı ve programlı bir şekilde kullanılmaması birincil enerji ihtiyacını fosil yakıtlar üzerinden kullanan dünyamızda alternatif enerji kaynaklarının önemini ortaya çıkarmaktadır. Biyogaz enerjisi özellikle alternatif enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Özellikle Asya ülkelerinde nüfusun büyük bir çoğunluğunun kırsal kesimlerde yaşamasından dolayı aile tipi biyogaz reaktörleri çok yaygındır. Avrupa ülkeleri alternatif enerji kaynaklarını dikkatle ele alıp özellikle Almanya vb. ülkeler merkezi tip biyogaz reaktörler ile biyogaz üretimi gerçekleştirmektedir. Genellikle Asya ülkelerinde kırsal kesimde elde edilen biyogaz üretimi temel olarak hayvansal kaynakların kullanılması ile elde edilmektedir.

Yapılan bu çalışma ile önemi giderek artan alternatif enerji kaynakları içerisinde büyük bir yer kaplayan biyogazın tarımsal ve hayvansal faaliyetlerden dolayı Türkiye içerisinde ön sıralarda yer alan Çorum İli'nin merkez ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Çalışma alanına ait hayvansal kaynaklar ve şehir nüfusunun mevcut istatistikî verileri kullanılmış, mevcut durum (2014) ve 2039 yılı için biyogaz potansiyeli belirlenmiştir. Hayvansal üretiminin yaygın olarak yapıldığı Çorum ili merkez ilçesinde hesaplamalara göre mevcut durum (2014) için yıllık 694 572 ton elde edilebilir yaş atıktan 18 931 500 m³ biyogaz ve 429 744 GJ'luk (17 MTEP) enerji miktarı belirtilebilir. Çalışma sahası için düzenlenen veriler ışığında 2014 yılı hayvansal kaynaklardan, büyükbaş hayvanların ürettiği yıllık yaş atık miktarı toplam atık miktarının % 73,5'ini oluşturmaktadır. Aynı şekilde yıllık üretilen katı madde atığı büyükbaş hayvanlar için toplam atık miktarının % 54'ü dür. Çorum ilinin yumurta üretimi sektöründe Türkiye geneli içinde yumurta üretiminde % 7,2 ile 8. sırada olması kanatlı hayvanlardan oluşabilecek atık miktarını ve bu atıklardan oluşabilecek biyogaz miktarını artırmaktadır.

Çorum merkez ilçesinin 2039 yılı yapılan saha araştırmaları ve elde edilen veriler ile hayvansal kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin canlı hayvan sayısındaki artış veya azalışın tam olarak belirlenememesinden dolayı 2014 verileri ile eşit miktarda atık ürettiği kabul edilmiştir. Çöp depolama tesisinde 2014-2039 yıllarına ait atık verileri ışığında 2039 yılına kadar oluşabilecek tahmini toplam

biyogaz miktarı 354 519 680 m³ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer yaklaşık olarak 167 412 071 m³ doğalgaza eşdeğerdir. Çorum merkez ilçesinin biyogaz potansiyelinin 2014 yılı için hayvansal kaynaklardan üretilebilecek biyogaz miktarı dikkate alındığında, bölgedeki hayvansal işletmelerin kooperatif, şirket, vb. gibi birleşerek bu atık potansiyelini değerlendirmeleri önerilebilir. Bu potansiyel belediye, il özel idaresi, kalkınma ajanslarının desteklemesiyle verimli bir şekilde kullanılabilir.

Meydana gelen biyogaz evsel kullanımların (ısıtma, aydınlanma, mutfak ihtiyaçları, vb.) yanı sıra ilave edilecek enerji dönüşüm sistemleri ile elektrik enerjisi, sıcak su yardımıyla kalorifer sistemleri ve sıcak hava sistemlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Üretilen biyogaz işletmelerin kendi ihtiyaçları için kullanılabilir gibi şehir elektrik sistemlerinde de kullanmak mümkün olabilmektedir.

Çorum ili ve civarında üretilecek olan biyogazın en önemli etkilerinden biri hayvansal atıklardan kaynaklı çevre kirliliğini minimize edip, özellikle yumurta üretimi yapan işletmelerin bölgesinde oluşan koku problemini en aza indirebilmesidir. Ayrıca fermentasyon süreci sonunda çıkan son ürün işlenmiş gübre organik tarım alanlarında kullanılabilir gibi aynı zamanda dolgu malzemesi olarak da kullanılabilir. Benzer şekilde çöp sahasında açıkta yakma işlemine tabi tutulan kentsel atıkların biyogaza dönüştürülmesi işleminde büyük bir potansiyele sahip olduğu ve bu nedenle üretilebilecek elektrik enerjisi ile daha verimli kullanılabilir varsayılmaktadır. Bu çalışmanın daha sonra ki yıllar yapılacak çalışmalara alt yapı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma ile il ve civarında sayısı hızla artan yumurta işletmeleri ve büyükbaş hayvan tesislerinin enerji dönüşümleri konusunda desteklenerek ürettikleri atıkları etkili kullanmaları için desteklenebilecekleri göz önüne alınmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A. ve Dikici, A., 2004, “Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 2 (2), 36-41.
- Alçıçek, A. ve Başlar, S., 1995, Bitki ve Sularda Aşırı Nitrat Birikiminin Sonuçları, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 14, 15-18.
- Angelidaki, I. and Ahring, B.K. (1993), A Mathematical Model for Dynamic Simulation of Anaerobic Digestion of Complex Substrates: Focusing on Ammonia Inhibition. *Biotechnology Bioengineering*, 42, 159-166.
- Angelidaki, I. and Ahring, B.K. 1994, Anaerobic Thermophilic Digestion of Manure at Different Ammonia Loads: Effect of Temperature. *Water Research*, 28, 727-731.
- Anon, 1994, Biogas a Source of Rural Employment, *Tata Energy Research Institute, New Delhi*, 4-5.
- Anon, 1999, Biogas Digest Volume I- Biogas Basics, *Information and Advisory Service on Appropriate Technology*.
- Anon, 2000, Anaerobic Digestion of Farm and Food Processing Residues, *Good Practice Guidelines*, <http://www.mrec.org/biogas/adgpg.pdf>, Ziyaret Tarihi: 22.07.2014.
- Anon, 2008, Banglapedia, *Biogas* http://Banglapedia.Search.Com.Bd/HT/B_0520.Htm Ziyaret Tarihi: 22.07.2014.
- Aoki, K., Umetsu, K., Nishizaki, K., Takahashi, J., Kishimoto, T., Tani, M., Hamamoto, O. and Misaki, T., 2006, Thermophilic Biogas Plant for Diary Manure Treatment as Combined Power and Heat System in Cold Regions, *International Congress Series*, 238-241.
- Arboleda, C.R., 1992, Integrated Livestock-Fish Production System in the Philippines, *Philippines*, http://www.fao.org/DOCREP/004/AC155E/AC155E_14.Htm, Ziyaret Tarihi: 11.07.2014.
- Ardıç, İ. ve Taner, F., 2004, Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Sudaki Çözünürlüğüne Asidik Önışlemlerin Etkileri. *Ekoloji*, 14 (53), 39-43.
- Arnott, M., 1985, the Biogas/Biofertilizer Business Handbook, *Peace Corps, Information Collection and Exchange*, Reprint R-48, 3th Ed.
- Batzias, F.A., Sidiras, D.K. and Spyrou, E.K., 2005, Evaluating Livestock Manures for Biogas Production: A GIS Based Method. *Renewable Energy*, 30, 1161-1176.
- Berglund, M. and Börjesson, P., 2006, Assessment of Energy Performance in the Life-Cycle of Biogas Production, *Biomass and Bioenergy*, 39, 254-266.
- Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Marouani, L. and Hamdi, M. (2004), Effect of Temperature on The Performance of an Anaerobic Tubular Reactor Treating Fruit and Vegetable Waste. *Process Biochemistry*, 90, 2143-2148.

- Bouallagui, H., Lahdheb H., Romdan, E.B., Rachdi, B. and Hamdi, M. (2009), Improvement of Fruit and Vegetable Waste Anaerobic Digestion Performance and Stability with Co-Substrates Addition, *Journal of Environmental Management*, 1844-1849.
- Boyd, R. (2000), Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia, www.Green-Trust.Org/PigslurryAdproject.Pdf, Ziyaret Tarihi: 09.08.2014.
- Brummeler, E.T., Hulshoff, W.L., Dolfing, J., Lettinga, G. and Zehender, J.B. (1985), "Methanogenesis in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor At Ph 6 on an Acetate-Propionate Mixture" *Applied and Environmental Microbiology*, 49 (6), 1472-1477.
- Buğutekin, A. ve A.K. Binark, 2004, "Dünyada ve Ülkemizde Biyogaz Çalışmaları", *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul*, 593-600.
- Chakravarthi, J., 1997, Biogas and Energy Production from Cattle Waste. *Energy Conversion Engineering Conference*, Honolulu, HI, USA, 648-651.
- Chynoweth, D.P., Svoronos, S.A., Lyberatos, G., Harmon, J.L., Pullammanappallil, P., Owens, J.M. and Peck, M.J., 1994, Real-Time Expert System Control of Anaerobic Digestion, *Wat. Sci. Tech*, 30 (12), 21-29.
- Çeken, H.B., 1997, Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. Yayınlanmamış *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi*.
- Demir, İ., 1993, Hayvan Atıklarından Biyogaz Eldesi, *Türk Devletleri Arasında 2. İlmi İşbirliği Konferansı*, Almatı, Kazakistan, 179-186.
- Demir, İ. ve Öztürk İ., 1989, Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Kinetik Modellenmesi 5. Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kongresi, *Çevre Gen.Müd. ve Çukurova Üniversitesi*, Adana.
- Demirbaş A., 2006, Turkey's Renewable Energy Facilities in the Near Future, *Energy Sources*, 28, 527-536.
- Demirbaş A. (2008), Importance of Biomass Energy Sources for Turkey, *Energy Policy*, 36 (2), 834-842.
- Demirtaş, M. ve Gün, V., 2007, Avrupa ve Türkiye'deki Biyokütle Enerjisi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 49-56.
- Desai, M., Patel, V. and Madamvar, D., 1994, Effect of Temperature and Retention Time on Biomethanation of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung. *Environmental Pollution*, 83, 311-315.
- Deublein, D. and Steinhauser, A., 2008, Biogas from Waste and Renewable Resources, *Wiley-VCH Verlag GmbH*, Weinheim.
- Dong, L., Liu, H. and Riffat, S., 2009, Development of Small-Scale and Micro-Scale Biomassfuelled CHP Systems-A Literature Review, *Applied Thermal Engineerin*, 29, 2119-2126.
- Dzene, I., 2009, Biogas Potential in Latvia, *Summary Report*, <http://www.Big-East.Eu/Latvia/Latvia.Html>, Latvia

- EİEİ [Elektrik İşleri Etüt İdaresi] 2008, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (Eiei) 2009–2013 Stratejik Planı [Http://Www.Eie.Gov.Tr/2009–2013 Eie Stra Teji.Pdf](http://www.eie.gov.tr/2009-2013_Eie_Stra_Teji.Pdf), Ziyaret Tarihi: 09.08.2014.
- Elefsiniotis, P. and Oldham, W.K., 1994, Substrate Degradation Patterns in Acidphase, Anaerobic Digestion of Municipal Primary Sludge. *Environment Technology*, 15 (8), 741–751.
- Ertesvag, I.S., 2007, Exergetic Comparison of Efficiency Indicators for Combined Heat and Power (CHP), 32, 2038-2050.
- Eryaşar, A., 2007, ‘Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması’, Yayınlanmamış *Doktora Tezi*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eurobser’r., 2008, *Biogas Barometer*, 45-59.
- Eyidoğan, M., 2008, Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 49 (584), 18-24.
- Gustavsson M., 2000, Biogas Technology-Solution in Search of Its Problem, *Göteborg University*, Göteborg.
- Gültekin, H., 2009, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2000-2009 Yılları Arasında İşletmeye Açılan Üretim Santrallerinin, Verimlilik, Teknoloji ve Sektörlerine Yönelik Değerlendirme ve Piyasa Eğilimleri, ICCI 15. *Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*.
- Hanay, Ö. ve Koçer, N. 2006, Elazığ Kenti Katı Atıkları Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (4), 507-511
- Halalsheh, M., Koppes, J., Elzen, J., Zeeman, G., Fayyad, M. and Lettinga, G., 2005, Effect of SRT and Temperature on Biological Conversions and the Related Scum-Forming Potential. *Water Research*, 39, 2475–2482.
- Heinrichs, D.M., Poggi-Varaldo, H.M. and Olieskewicz, J.A., 1990, Effects of Ammonia on Anaerobic Digestion of Simple Organic Substrates. *J. Environmental Engineering*, 116, 698-710.
- Holm-Nielsen J.B., Seadi, T.A. and Oleskowicz-Popiel, P., 2009, The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization, *Bioresource Technology*, 100, 5478-5484.
- Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T. and Probert, S.D., 2008, Designs of Anaerobic Digesters for Producing Biogas from Municipal Solid-Waste, *Applied Energy*, 85, 430-438.
- İGDAŞ, 2007, *Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemleri*, 1-4.
- Jash, T. and Basu, S., 1999, Development of a Mini-Biogas Digester for Lighting in India, *Energy*, 24, 409–411.
- Jingura, R.M. and Matengaifa, R., 2009, Optimization of Biogas Production by Anaerobic Digestion for Sustainable Energy Development in Zimbabwe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1116-1120.

- Kalyuzhnyi, S., 2008, Energy Potential of Anaerobic Digestion of Wastes Produced in Russia Via Biogas and Microbial Fuel Cell Technologies, *Pure and Applied Chemistry*, 80(10), 80 (10), 2115–2124.
- Karaosmanoglu, F., “Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak ihtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları”, *Dünya ve Türkiye’deki Enerji ve Su Kaynaklarının Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri Sempozyumu*, İstanbul, 15-16 Ocak 2004.
- Kaygusuz, K. and Keleş, S., 2009, Use of Biomass as a Transitional Strategy to a Sustainable and Clean Energy System, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 31, 86-97.
- Kennedy, K.J., and Van Den Berg, L., 1982, Anaerobic Digestion of Piggery Waste Using a Stationary Fixed Film Reactor, *Agricultural Wastes*, 4, 151-158.
- Klingler, B., 2000, Environmental Aspects of Biogas Technology, *German Biogas Association*.
- Kobyay, M., 1992, Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları İçin Bir Biyogaz Tesisi Tasarımı. Yayımlanmamış *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 24724.
- Kocar, G., 2007, Anaerobic Digesters: from Waste to Energy Crops as Alternative Energy Source, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30 (7), 660 – 669
- Kocar, G. ve Eryaşar, A., 2004, Biyogaz Ünitesinin Oluşturulması ve Değişik Organik Kökenli Artıkların Değerlendirilmesi, *Ege Üniversitesi Araştırma Fonu*, Proje Raporu, Proje No. 2000/GEE/002
- Kossmann, W. and Pönitz, U., 1999, Biogas Digest, Biogas Basics Volume I, *Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany*.
- Kumar, T.S., 2000, The Afpro-Chf/Partners Biogas Project - Lessons Learned: the Indian Perspective, *Ottawa*, [Http://Www.Chf-Partners.Ca/Downloads/Ja99less.Pdf](http://www.chf-partners.ca/downloads/Ja99less.Pdf), Ziyaret Tarihi: 04.08.2014.
- Lay, J.J., Li, Y.Y. and Noike, T., 1997, Influences of Ph And Moisture Content on the Methane Production in High-Solid Sludge Digestion. *Water Research*, 31, 1518-1524.
- Leggett, J., Graves, R.E. and Lanyon, L.E., 2002, Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction From Manure, *College of Agricultural Sciences, U.S. Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating*. [Http://Www.Age.Psu.Edu/Extension/Factsheets/G/G77.Pdf](http://www.age.psu.edu/extension/factsheets/G/G77.Pdf), Ziyaret Tarihi: 20.07.2014.
- Lusk, P., 1998, Methane Recovery from Animal Manures: the Current Opportunities Casebook, *National Renewable Energy Laboratory*, Nrel/Sr-580-25145.
- Lühte, 2008, Biogas, [Http://Www.Lue-the-Heide.De/Download/Englisch/Biogas_Eng_Lisch.Pdf](http://www.lue-the-heide.de/download/englisch/Biogas_Eng_Lisch.Pdf), Ziyaret Tarihi: 02.07.2014.

- Macias-Coral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H. and Longworth, J., 2008, Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste and Agricultural Waste and the Effect of Co-Digestion with Dairy Cow Manure, *Biosource Technology*, 99, 8288-8293.
- Magbanua, B.S., Adams, T.T. and Johnston, P., 2001, Anaerobic Codigestion of Hog and Poultry Waste. *Biosource Technology*, 76, 165-168.
- Marchaim, U., 1992, Biogas Processes for Sustainable Development, *Food and Agriculture Organization of The United Nations*, İtalya.
- Mendis, M.S. and Van Nes, W.J., 2001, Biogas in Rural Household Energy Supply: the Nepal Biogas Support Program, *Policy and Best Practice Document No. 4 of the Ministry of Foreign Affairs*, Hollanda
- Mosey, F.E., and Foulkes, M., 1984, Control of The Anaerobic Digestion Process, in *Swage Sludge Stabilization and Disinfaction*, Ed. A.M. Bruce.
- Mueller, S., 2007, Manure's Allure: Variation of The Financial, Environmental and Economis Benefits from Combined Heat and Power Systems İntegrated with Anaerobic Digesters at Hog Farms Across Geographic and Economic Regions, *Renewable Energy*, 32, 248-256.
- Murphy, J.D. and Power, N., 2009, Technical and Economic Analysis of Biogas Production in Ireland Utilising Three Different Crop Rotations, *Applied Energy*, 86, 25-36.
- Murphy, J.D., Mckeogh, E. and Kiely, G., 2004, Technical/Economic/ Environmental Analysis of Biogas Utilisation, *Applied Energy*, 77, 407-427.
- Nelson, C. and Lamb, J., 2000, Final Report: Haubenschild Farms Anaerobic Digester, *the Minnesota Project*.
- Niccolas, P., Cheremisinoff, P. N. and Cheremisinoff, F. E., 1980, *Biomass, Applications, Technology and Production*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Ortenblad, H., 2000, "Anaerobic Digestion: *Making Energy and Solving Modern Waste Problems*", 5-7.
- Osorio, F. and Torres, J.C., 2009, Biogas Purification from Anaerobic Digestion in a Wastewater Treatment Plant for Biofuel Production, *Renewable Energy*, 34 (10), 2164-2171.
- Önenç, Ö., 2009, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Şube Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Yapılan Çalışmalar ve Mevzuat, Yapı Fuarı, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükşehir Şubesi Ekolojik Yapı Tasarımı, Malzeme, Teknoloji ve Çevre Paneli*, 1-48.
- Öner, B., 2009, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Avrupa Birliği Enerji Politikasındaki Gelişmeler: *Arz Güvenliğinin Sağlanması, ICCI 15.Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı Bildiriler Kitabı*, 37-43.
- Öztürk. M., 2005, Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara*.
- Öztürk, M. ve Karali, İ., 2009, *Çöp Depolama Alanlarında Biyogaz Üretimi*, 1-44.

- Parawira, W., Murto, M., Read, J.S. and Mattiasson, B., 2005, Profile of Hydrolases and Biogas Production during Two-Stage Mesophilic Anaerobic Digestion of Solid Potato Waste. *Process Biochemistry*, 40, 2945–2952.
- Rajoka M.I. and Malik, K.A., 1997, Cellulase Production by *Cellulomonas Biazotea* Cultured in Media Containing Different Cellulosic Substrates. *Bioresource Technology*, 59, 21–27.
- Rollon, A.P., 1999, Anaerobic Digestion of Fish Processing Wastewater with Special Emphasis on Hydrolysis of Suspended Solids. Ph.D. Thesis, *Wageningen University*, Wageningen, the Netherlands.
- Rozdilsky, J.L., 1997, Farm-Based Anaerobic Digestion in Michigan-History, Current Status and Future Outlook, *A Report of the Michigan Biomass Energy Program*.
- Samsunlu, A., 1999, “Çevre Mühendisliği Kimyası” *İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları*, İstanbul.
- Sarkar, S.C. and Bose, A., 1997, Role of Activated Carbon Pellets in Carbon Dioxide Removal, *Energy Convers Manage*, 38, 105–110.
- Sasse, L., 1988, Biogas Plants, a Publication of The Deutsches Zentrum Für Entwicklungstechnologien-GATE in: *Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*.
- Seadi, T.A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. and Janssen, R., 2008, *Biogas Handbook*, Biogas for Eastern Europe, 1-126.
- Sosnowski, P., Wiczorek, A. and Ledakowicz, S., 2003, Anaerobic Co-Digestion Of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, *Advances in Environmental Research*, 7, 609-616.
- Spiegel, R.J. and Preston, J.L., 2000, Test Results for Fuel Cell Operation on Anaerobic Digester Gas, *Journal of Power Sources*, 86, 283-288.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008, Yenilenebilir Enerji: *Biyoyakıt* <http://www.enerji.gov.tr/index.php?sf=webpages&b=biyoyakit&bn=235&hn=12&nm=384&id=387>, Ziyaret Tarihi: 20.08.2014.
- Taşçı, A., 1988, “Copten Hammaddeye”, *Bilim ve Teknik Dergisi (BTĐ)*, 253, TÜBİTAK Yayınları, Ankara.
- Topkaya, B., 2001, “Organik Atıklardan Metan Gazı Üretilmesi” Sunumu, *KAKAD Katı Atık Türk Milli Komitesi Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*.
- Tricase, C. and Lombardi, M., 2009, State of the Art And Prospects of Italian Biogas Production from Animal Sewage: Technical-Economic Considerations, *Renewable Energy*, 34, 477-485.
- Truong LV-A. and Abatzoglou, N., 2003, an Adsorption/Reaction Process for the Purification of Biogas prior to Its Use as Energy Vector. in: Brebbia CA, Sakellaris I, Editors. *Proceedings of The First International Conference on Sustainable Energy Planning and Technology in Relationship to the Environment*. Southampton/Boston: Witpress, 43–52.
- TÜİK, 2006, Belediye Katı Atık İstatistikleri, *Haber Bülteni*, 1-2.

- TÜİK, 2007, Seragazi Emisyon Envanteri, *Haber Bülteni*, 1-2.
- TÜBİTAK-MAM, 2001, Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi-*Başlangıç Raporu*.
- Twidell, J.W. and Weir A.O., 1986, Renewable Energy Resources, *Great Britain at the University Press*, Combridge.
- Onurbaş, A. ve Eliçin, A.K., 2010. Ankara'nın Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyeli ve Uygun Reaktör Büyüklüğünün Belirlenmesi. 26. *Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, 356-362
- Vanrolleghem, P.A., 1995, Sensors for Anaerobic Digestion: An Overview, *Int. Workshop on Monitoring and Control of Anaerobic Digestion Processes*, Narbonne, 1-7.
- Wellinger, R.: A., 1999, “Hygienic and Environmental Aspects of Anaerobic Digestion: *Legislation and Experiences in Europe*”, Stuttgart-Hohenheim, 73–79.
- Werner, U., Stohr, U. and Hees, N., 1989, Biogas Plants in Animal Husbandry, *Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*, 1- 55.
- Wiese J., 2007, Instrumentation, Control and Automation for Biogas Plants – A Full-Scale Example, [Http://Www.Freesen.De/Wte/2007/De/Ab/Wiese M.Pdf](http://www.freesen.de/Wte/2007/De/Ab/Wiese_M.Pdf), Ziyaret Tarihi: 21.08.2014.
- Yang, X., Chan, H., Gao, H. and Li, Z., 2001, Bioconversion of Corn Straw by Coupling Ensiling and Solid-State Fermentation. *Bioresource Technology*, 28, 277–280.
- Yılmaz, G., Cengiz, M. ve Bilginoğlu, Ali, 1989, “Çevre Sorunları ve Ekonomi (III)”, Verimlilik Dergisi, 3-4, Mart-, *Milli Produktivite Merkez Yayınları*, Ankara, Nisan.
- Yorgun, S., Şensöz S. ve Şölener M., 1998, Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Değerlendirme Çalışmaları, *Enerji Dergisi*, 8, 44-48.
- URL-1: www.eie.com.tr (Ziyaret tarihi: 10.07.2014).
- URL-2: www.cevreorman.gov.tr (Ziyaret Tarihi: 15.07.2014).
- URL-3: www.corum.bel.tr (Ziyaret Tarihi: 15.09.2014).
- URL-4: www.corum.tarim.gov.tr (Ziyaret Tarihi: 15.09.2014).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hamdi ÖBEKCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : İnebolu 02.09.1984

Adres:

E-Posta : hamdiobekcan@hitit.edu.tr

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans :

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Yayın ve Patent Listesi :