

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİVAS İLİNDEKİ HAYVANSAL ATIKLARIN BİYOGAZ POTANSİYELİ

İrfan YOKUŞ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

**ANKARA
2011**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİVAS İLİNDEKİ HAYVANSAL ATIKLARIN BİYOGAZ POTANSİYELİ

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU

Fosil kökenli enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve enerji açığının giderek artması mevcut kaynakların daha etkin kullanımını ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi gerekli kılmaktadır.

Sivas İli hem hayvan sayısı hem ekim alanı ile Türkiye'nin en büyük illeri arasındadır. Toprak büyüklüğü açısından ise 2. büyük şehridir. Bitkisel üretimin yoğun olarak yapıldığı Sivas'ta toplam işletmelerin % 87'si bitkisel üretimin yanında hayvansal üretim de yapmaktadır. Büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları yetiştiriciliği yapılan Sivas'ta yıllık 2,88 milyon ton yaş atık elde edilmektedir. Bu atıklar işletmeler için büyük sorun olmaktadır. Atıkların değerlendirilmesinin en iyi yolu biyogaz üretimidir.

Yapılan çalışmada belirlenen atık miktarına göre Sivas'ın hayvansal atıklarından elde edilebilir yıllık biyogaz miktarı 41 milyon m³ ve enerji eşdeğeri 0,917 PJ (917 715 GJ) olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında işletmeler için uygun tesis büyüklüğü ise büyükbaş hayvan sahibi işletmeler için 20 hayvan için 14 m³, 30 hayvan için 21 m³, 40 hayvan için 28 m³'tür. Kümes hayvanları için 30 000 hayvan için 356 m³, 40 000 hayvan için 474 m³'tür. Küçükbaş işletmeler için ise 500 hayvan için 16 m³'tür.

Aralık 2011, 135 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, hayvansal atık, Sivas, biyogaz potansiyeli

ABSTRACT

Master Thesis

BIOGAS POTENTIAL FROM ANIMAL WASTE OF SİVAS PROVINCE

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU

With the increasing energy deficit day by day and decreasing fossil-based energy sources, there is a tendency to use current energy sources efficiently and also renewable energy sources.

Sivas Province with the number of animals and cultivation areas is one of the largest provinces in Turkey. Also, It has second largest land surface. Crop production is intensive in Sivas. And also 87% of total farms engaged in crop production as well as animal production. Annually, 2,88 million tons wet animal waste are obtained in Sivas where is breeding cattle, sheep and poultry. These wastes are a big problem for farms. The best way is biogas to produce to take advantage of from waste.

Annual amount of biogas that can be obtained from animal waste in Sivas is 41 million m³ with an calculatory energy equivalent of 0,917 PJ (917 715 GJ). In addition, appropriate facility plant sizes for cattle farms are: 14 m³ for 20 animals, 21 m³ for 30 animals and 28 m³ for 40 animals. In case of poultry appropriate facility plant sizes are: 356 m³ for 30 000 animals and 474 m³ for 40 000 animals. The appropriate size for sheep farms should be 16 m³ for 500 animals.

December 2011, 135 pages

Key Words: Biogas, animal waste, Sivas, biogas potential

TEŞEKKÜR

“Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli” konulu tez çalışmamda; bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU’na (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü), yine bilgisini ve tecrübesini aktaran Sayın Prof. Dr. Peter HECK’e (Trier Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Materyal Akış Yönetimi Enstitüsü), Sivas İli verilerini temin etmemde verdiği destekten dolayı İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürü Sayın İhsan ASLAN’a, varlığını her daim hissettiren sevgili eşime ve bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan kız kardeşim Hatice’ye teşekkürü bir borç bilirim.

İrfan YOKUŞ

Ankara, Aralık 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. BİYOGAZ TEKNOLOJİSİ	11
2.1 Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi.....	11
2.2 Türkiye’de Biyogaz Gelişimi.....	14
2.3 Biyogazın Bileşimi ve Özellikleri	15
2.4 Biyogaz Oluşumu	19
2.5 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	26
2.5.1 Sıcaklık	28
2.5.2 Katı madde içeriği.....	31
2.5.3 Bekleme süresi	32
2.5.4 Yükleme oranı	33
2.5.5 pH değeri.....	33
2.5.6 C/N oranı.....	35
2.5.7 Karıştırma.....	37
2.5.8 Alkalinite ve uçucu asitler	38
2.5.9 Toksitler	38
2.5.10 Basınç	40
2.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler.....	41
2.7 Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	44
2.8 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler.....	49
2.8.1 Kuru proses	49
2.8.2 Yaş proses	50
2.9 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermentasyon Şekilleri.....	52
2.10 Biyogaz Üretim Tesisleri	53
2.10.1 Aile tipi biyogaz tesisleri.....	54
2.10.2 Çiftlik tipi biyogaz tesisleri.....	59
2.10.3 Merkezi biyogaz tesisleri	62
2.10.4 Atık su arıtma tesisleri.....	65
2.10.5 Belediye katı atık arıtma tesisleri	66
2.10.6 Endüstriyel biyogaz tesisleri	67
2.10.7 Çöp gazı geri kazanım tesisleri	68
2.11 Biyogaz Kullanım Alanları.....	69
2.11.1 Araçlarda yakıt olarak kullanımı.....	70

2.11.2 Biyogazın tarımda kullanımı.....	71
2.11.3 Biyogazın endüstriyel kullanımı	72
2.11.4 Biyogazın evsel kullanımı	78
2.11.5 Fermente gübre kullanımı.....	79
3. KAYNAK ÖZETLERİ	81
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	86
4.1. Materyal.....	86
4.1.1 Sivas ili tarımsal nüfus dağılımı.....	86
4.1.2 Sivas ili arazi dağılımı.....	87
4.1.3 Sivas ili işletme büyüklükleri ve dağılımı	88
4.1.4 Sivas ili tarımsal arazi dağılımı.....	89
4.1.5 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletmeleri dağılımı	89
4.1.6 Sivas İli küçükbaş hayvancılık işletmeleri dağılımı	93
4.1.7 Sivas ili kanatlı işletmeleri dağılımı.....	96
4.2 Yöntem	98
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	101
5.1 Sivas İli Hayvan Varlığının İlçelere Göre Yoğunluğu	101
5.2 Sivas İli Hayvansal Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli	103
5.3 Sivas İlçelerinin Hayvansal Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli	107
5.4 Sivas İli Hayvancılık İşletmeleri İçin Biyogaz Tesisi Büyüklükleri	120
6. SONUÇ.....	125
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ.....	135

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
AFC	Alkaline fuel cell (Alkali yakıt pili)
B	Biyokütle
BG	Beygir gücü
C	Karbon
CH ₄	Metan
C/N	Karbon ve azot oranı
Ca	Kalsiyum
CHP	Kojenerasyon
Co	Kobalt
Cu	Bakır
Cr	Krom
CO ₂	Karbondiyoksit
CO	Karbonmonoksit
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EJ	Egzajoule
Fe	Demir
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
GJ	Gigajoule
H ₂ S	Hidrojen sülfür
H ₂	Hidrojen
HBS	Hidrolik bekletme süresi
HCO ₃	Bikarbonat
HRT	Hidrolik bekletme süresi
K	Potasyum
KM	Katı madde
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
KVIC	Khadi and Village Industries Commission
kPa	Basınç ölçü birimi (Kilo paskal)
kWh	Kilowatt-saat (1×10^3 W)

L	Litre
MCFC	Molten carbonate fuel cell (Erimiş karbonatlı yakıt pili)
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
MJ	Megajoule
Mn	Manganez
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
Mt	Milyon ton
MTA	Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
MW	Megawatt
N	Azot
Na	Sodyum
NaHCO ₃	Sodyum bikarbonat
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
NaOH	Sodyum hidroksit
NaCl	Sodyum klorür
Ni	Nikel
NH ₂	Amino grubu
NH ₃	Amonyak
NH ₃ -N	Amonyak azotu
NH ₄	Amonyum
NH ₄ HCO ₃	Amonyum bikarbonat
NO ₃	Nitrat
O ₂	Oksijen
P	Fosfor
PAFC	Phosphoric acid fuel cell (Fosforik asit yakıt pili)
PJ	Petajoule
PEM	Polimer elektrolit membran
pH	Power of Hydrogen
PVC	Polivinil klorür

Sd	Beslenen hammadde miktarı
SO ₄	Sülfat
Kısaltmalar	
SOFC	Solid oxide fuel cell (Katı oksitli yakıt pili)
TK	Toplam katı
tKM	Toplam katı madde
TİGEM	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TOPRAK-SU	Toprak ve Su Genel Müdürlüğü
TUA	Toplam uçucu asit
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAS	Uçucu madde alıkoyma süresi
UK	Uçucu katı
UKM	Uçucu katı madde
UNICEF	United Nations Childrens Emergency Fund
Vd	Reaktör hacmi
W	İlave edilmesi gereken su miktarı
ΣB	Toplam biyokütle

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Avrupa biyokütle enerjisi ticareti ve biyokütle dolaşımı	5
Şekil 2.1 Biyogaz döngüsü	18
Şekil 2.2 Biyogaz üretim döngüsü	19
Şekil 2.3 Aneorobik çürüme safhaları	20
Şekil 2.4 Biyogaz oluşum süreci	20
Şekil 2.5 Biyogaz oluşum evreleri	21
Şekil 2.6 Metan bakterileri	21
Şekil 2.7 Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi	22
Şekil 2.8 Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun özel mikroskop altında görünümü	26
Şekil 2.9 Sıcaklık ve bekleme zamanına bağlı olarak biyogaz verimi	29
Şekil 2.10 Metan bakterilerinin nisbi büyüme oranları	29
Şekil 2.11 Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi	31
Şekil 2.12 Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü	34
Şekil 2.13 Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin faaliyeti	34
Şekil 2.14 Farklı basınç değerlerinde günlük metan üretimi	40
Şekil 2.15 Farklı basınç değerlerinde toplam metan üretimi	41
Şekil 2.16 Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi	47
Şekil 2.17 Kuru sistemdeki farklı reaktör tasarımları	50
Şekil 2.18 Yaş sistemdeki Waasa reaktör çalışma prosesi	51
Şekil 2.19 Yaş sistemde tasarlanmış BIMA reaktör tasarımı	52
Şekil 2.20 Fermentasyon şekilleri	53
Şekil 2.21 Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü	54
Şekil 2.22 Çin tipi tesisin şematik görünümü ve imalat ölçüleri	55
Şekil 2.23 Hint tipi tesisin şematik görünümü	57
Şekil 2.24 Tayvan-Çin tipi reaktörün şematik görünümü	58
Şekil 2.25 Ökobit firması tarafından işletilmekte olan mısır silajı kaynaklı çiftlik tipi bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld	59
Şekil 2.26 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü	60
Şekil 2.27 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisini oluşturan parçaların şematik görünümü	61
Şekil 2.28 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinde analitik kontrol paneli	62
Şekil 2.29 Danimarka’da inşa edilmiş merkezi bir biyogaz tesisi	63
Şekil 2.30 Merkezi bir biyogaz tesisinin çalışma döngüsü	63
Şekil 2.31 Merkezi bir biyogaz tesisinin çalışma prensibi	64
Şekil 2.32 51 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi	64
Şekil 2.33 60 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi	65
Şekil 2.34 Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü	66
Şekil 2.35 Brezilya’da evsel katı atıklar için tasarlanmış bir biyogaz tesisi	67
Şekil 2.36 Endüstriyel bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld	68
Şekil 2.37 Yeni Zelenda’da inşa edilmiş bir çöp gazı geri kazanım tesisi	69
Şekil 2.38 Biyogazın genel kullanım alanları	69
Şekil 2.39 Biyogazın otobüslerde kullanımı Malmö-İsveç	70
Şekil 2.40 Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımı	70
Şekil 2.41 Biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması	71

Şekil 2.42 Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı	73
Şekil 2.43 Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor	73
Şekil 2. 44 Biyogaz mikro-türbin yapısı	74
Şekil 2.45 Yakıt pili	75
Şekil 2.46 Almanya’da işletilmekte olan biyogaz için yakıt pili	76
Şekil 2.47 Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 2.48 Biyogazın saflaştırılarak doğalgaz hattına verilmesi	78
Şekil 2.49 Biyogazın evsel kullanım araçları	78
Şekil 2.50 Anaerobik fermentasyonda kütle denkliği	79
Şekil 2.51 Aneorobik fermentasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin kullanım şekilleri	80
Şekil 2.52 Aneorobik fermentasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin paketlenmesi	80
Şekil 4.1 Sivas ili arazi dağılımı	87
Şekil 4.2 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletme büyüklükleri.....	91
Şekil 4.3 Sivas ili büyükbaş hayvan sayıları dağılımı.....	93
Şekil 4.4 Sivas ili küçükbaş hayvan sayıları dağılımı.....	94
Şekil 4.5 Sivas ili küçükbaş işletme sayıları dağılımı.....	95
Şekil 4.6 Sivas ili kümes hayvan sayıları dağılımı	97
Şekil 5.1 Sivas ili büyükbaş hayvan varlığı yoğunluğu	102
Şekil 5.2 Sivas ili küçükbaş hayvan varlığı yoğunluğu	102
Şekil 5.3 Sivas ili kümes hayvan varlığı yoğunluğu.....	103
Şekil 5.4 Sivas ili yaş atık miktarı yoğunluğu	108
Şekil 5.5 Sivas ili elde edilebilir katı atık miktarı yoğunluğu.....	108
Şekil 5.6 Sivas ili tahmini biyogaz üretim potansiyeli.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynakları tahmini	3
Çizelge 1.2 Dünya biyokütle potansiyeli	3
Çizelge 1.3 Dünya biyokütle enerji miktarları	4
Çizelge 1.4 Türkiye’de yenilenebilir biyoenerji potansiyeli	6
Çizelge 1.5 2005 yılı itibariyle Türkiye’de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli	7
Çizelge 1.6 Türkiyenin hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyeli	8
Çizelge 2.1 Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı	13
Çizelge 2.2 Biyogaz bileşim değerleri	16
Çizelge 2.3 Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması	16
Çizelge 2.4 Biyogazın enerji değeri açısından diğer yakıtlarla karşılaştırılması	17
Çizelge 2.5 Biyogazın teknik özellikleri	17
Çizelge 2.6 Patates posasının aneorobik çürütmesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun PH ve sıcaklık değerleri	23
Çizelge 2.7 Metan oluşumundaki optimum fermentasyon koşulları	25
Çizelge 2.8 Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları	27
Çizelge 2.9 Sıcaklık aralıkları ve bekleme zamanları	28
Çizelge 2.10 Biyogazda bulunan bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasındaki ilişki	30
Çizelge 2.11 Organik maddelerin C/N oranları	36
Çizelge 2.12 Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları	39
Çizelge 2.13 Amonyakın metan üretimine olan etkisi	39
Çizelge 2.14 Biyogaz üretiminde kullanılabilecek maddeler ve biyogaz verimleri	42
Çizelge 2.15 Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri	43
Çizelge 2.16 Aneorobik arıtma ile kompostlama arasındaki farklar.....	48
Çizelge 4.1 Sivas ili arazi dağılımı	87
Çizelge 4.2 Sivas ili tarımsal işletme sayıları	88
Çizelge 4.3 Sivas ili tarımsal arazi dağılımı	90
Çizelge 4.4 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletmeleri.....	91
Çizelge 4.5 Sivas ili büyükbaş hayvan sayıları.....	92
Çizelge 4.6 Sivas ili küçükbaş hayvan sayıları.....	94
Çizelge 4.7 Sivas ili küçükbaş işletme büyüklükleri	95
Çizelge 4.8 Sivas ili kanatlı hayvan sayıları	96
Çizelge 4.9 İşletme büyüklüklerine göre kümes hayvanı ve işletme sayısı.....	97
Çizelge 4.10 Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri	98
Çizelge 5.1 Hayvan cinsine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları	104
Çizelge 5.2 Sivas ili biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	106
Çizelge 5.3 Sivas ili biyogaz üretim potansiyeli enerji eş değeri tahmini	106
Çizelge 5.4 Sivas ili Merkez İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	110
Çizelge 5.5 Sivas ili Akıncılar İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	111

Çizelge 5.6 Sivas ili Altınyayla İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	111
Çizelge 5.7 Sivas İli Divriği İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	112
Çizelge 5.8 Sivas İli Doğanşar İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	112
Çizelge 5.9 Sivas İli Gemerek İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	113
Çizelge 5.10 Sivas İli Gölova İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	113
Çizelge 5.11 Sivas İli Gürün İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	114
Çizelge 5.12 Sivas İli Hafık İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	115
Çizelge 5.13 Sivas İli İmranlı İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	115
Çizelge 5.14 Sivas İli Kangal İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	116
Çizelge 5.15 Sivas İli Koyulhisar İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	117
Çizelge 5.16 Sivas İli Suşehri İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini.....	117
Çizelge 5.17 Sivas İli Şarkışla İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	118
Çizelge 5.18 Sivas İli Ulaş İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	119
Çizelge 5.19 Sivas İli Yıldızeli İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	119
Çizelge 5.20 Sivas İli Zara İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini	120
Çizelge 5.21 Sivas İli büyükbaş hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre uygun biyogaz tesisi büyüklükleri	123
Çizelge 5.22 Sivas İli küçükbaş hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre biyogaz tesisi büyüklükleri	123
Çizelge 5.23 Sivas İli Merkez ve Şarkışla İlçesi kanatlı hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre biyogaz tesisi büyüklükleri.....	124

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan fosil yakıtların gün geçtikçe azalması ve dünyanın sahip olduğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması ile ozon tabakası incilmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi sorunların ortaya çıkması, dünyayı belki de geriye dönüşü zor bir çevre kirliliği ile karşı karşıya bırakmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların sonlu bir rezerve sahip olması nedeni ile önümüzdeki yıllarda bu yakıtların tamamen tükeneceği de bilinmektedir. Dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 2376 kWh/kişi/yıl iken, Türkiye ortalaması, kaçak ve kayıplar dışında net 1281 kWh/kişi/yıl düzeyindedir (Kumbur vd. 2001).

Dünyanın yıllık enerji talebi yaklaşık 400 EJ'dir ve bunun %80'i halen fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Yine kabaca bu talebin %10-15'i bugüne kadar çok önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olma özelliğini koruyan biyokütle kaynaklarındandır. Ortalama olarak sanayileşmiş ülkelerde biyokütlenin toplam enerji kaynaklarındaki oranı %3-13 arasındadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran daha fazladır (Braun vd. 2009).

Dünyadaki toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu fosil yakıtların rezervlerinin kısıtlı olması ve toplumların enerji üretirken ekonominin ve çevrenin de gözetildiği sürdürülebilir enerji üretim modellerine yönelmeleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi günden güne artırmaktadır. Ülkemizde de benzer bir durum gözlemlenmektedir. Enerji ihtiyacımız büyük oranda ithalatla karşılanmaktadır. Diğer taraftan ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli fosil yakıtlara alternatif olacak seviyededir. Ancak bu kaynakların kullanımı oldukça düşüktür. Her ne kadar son zamanlarda hidrolik, güneş, jeotermal ve rüzgâr enerjisi yaygınlaşmaya başlasa da biyokütleden büyük oranda doğrudan yakmayla faydalanılmaktadır.

Türkiye'de yılda 50-65 MTEP (milyon ton eş-değer petrol) tarımsal atık ve 11,05 MTEP hayvansal atık üretilmesine rağmen, üretilen bu atıkların sadece % 60'ı enerji üretimi için kullanılabilir niteliktedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde

edilebilecek enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27'sine eşit olduğu bilinmektedir. Buna rağmen ülkemizde enerji politikalarında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu konularda teknolojiler geliştirmek yerine, enerji ihtiyacını ithalatla karşılama yoluna gidilmektedir. Türkiye' nin birincil enerji ihtiyacı 2001 yılında 77,04 MTEP iken buna karşılık enerji üretimi 26,3 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Enerji üretiminin az, tüketiminin ise fazla olmasından dolayı, Türkiye enerji açığını enerji ithalatı yaparak kapatma yoluna gitmiş ve toplam enerji gereksiniminin 1990'da % 54'ünü ve 2001'de % 66'sını net ithalatla karşılamıştır (Koçer Nacar vd. 2006).

Avrupa Birliği 2020 yılında tüketiminin % 20'sini tasarruf etmeyi hedeflemektedir. Öngörülen hedefin başarılması, 390 MTEP enerji tasarrufuna, yıllık 780 milyon ton CO₂ azalımına, hane başına yıllık 200–1000 € arasında tasarrufa imkân sağlamaktadır (Ersoy 2007).

Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve temiz enerji üretimi bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık % 43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik vd. 2007).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının, mevcut teknik ve ekonomik sorunların çözümlenmesi halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir. Çizelge 1.1'de 2020 yılı tahmini yenilenebilir enerji kaynakları miktarları verilmiştir (Kumbur vd. 2001).

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütlenin toplam enerji eşdeğeri 65 376 MTEP olup bu değer 1997 yılı dünya enerji tüketiminin yaklaşık 8 katına eşittir. Günümüzde ise ancak % 7'si kullanılabilir. Dünya genelinde 2020 yılında yenilenebilir kaynaklardan yapılacak üretim 2,3-3,3 MTEP sınırlarında bulunacaktır. Bu payın içinde klasik biyokütle ve klasik hidrolik enerji yer aldığı gibi, modern biyokütle ve diğer yenilenebilir kaynaklar da yer almaktadır (Acaroğlu 2003).

Çizelge 1.1 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynakları tahmini (Kumbur vd. 2001)

Enerji Kaynağı	2020 Yılında En Düşük		2020 Yılında En Yüksek	
	MTEP	(%)	MTEP	(%)
Modern Biyokütle	243	45	561	42
Güneş	109	20	355	26
Rüzgar	85	15	215	16
Jeotermal	40	7	91	7
Küçük Hidrolik	48	9	69	5
Deniz Enerjileri	14	4	55	4
Toplam	539	100	1 346	100

2020 yılının tahminine bakıldığında enerji kaynağı olarak modern biyokütle, güneş ve rüzgar enerjisi kullanımının artacağı jeotermal ve deniz enerjilerinin pek değişmeyeceği küçük hidrolik enerji kaynağı kullanımının ise azalacağı tahmin edilmektedir.

Dünyada mevcut biyokütle enerji potansiyeli ve enerji miktarları çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2 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

Dünya biyokütle potansiyeline bakıldığında büyük tarımsal alanlardaki uzun süreli biyokütlenin çok geniş bir alanda seyrettiği görülmektedir. Bu biyokütlelerden dünyada belirli oranlarda da enerji elde edilmektedir. Dünya biyokütle enerji miktarları Çizelge 1.3’de verilmiştir.

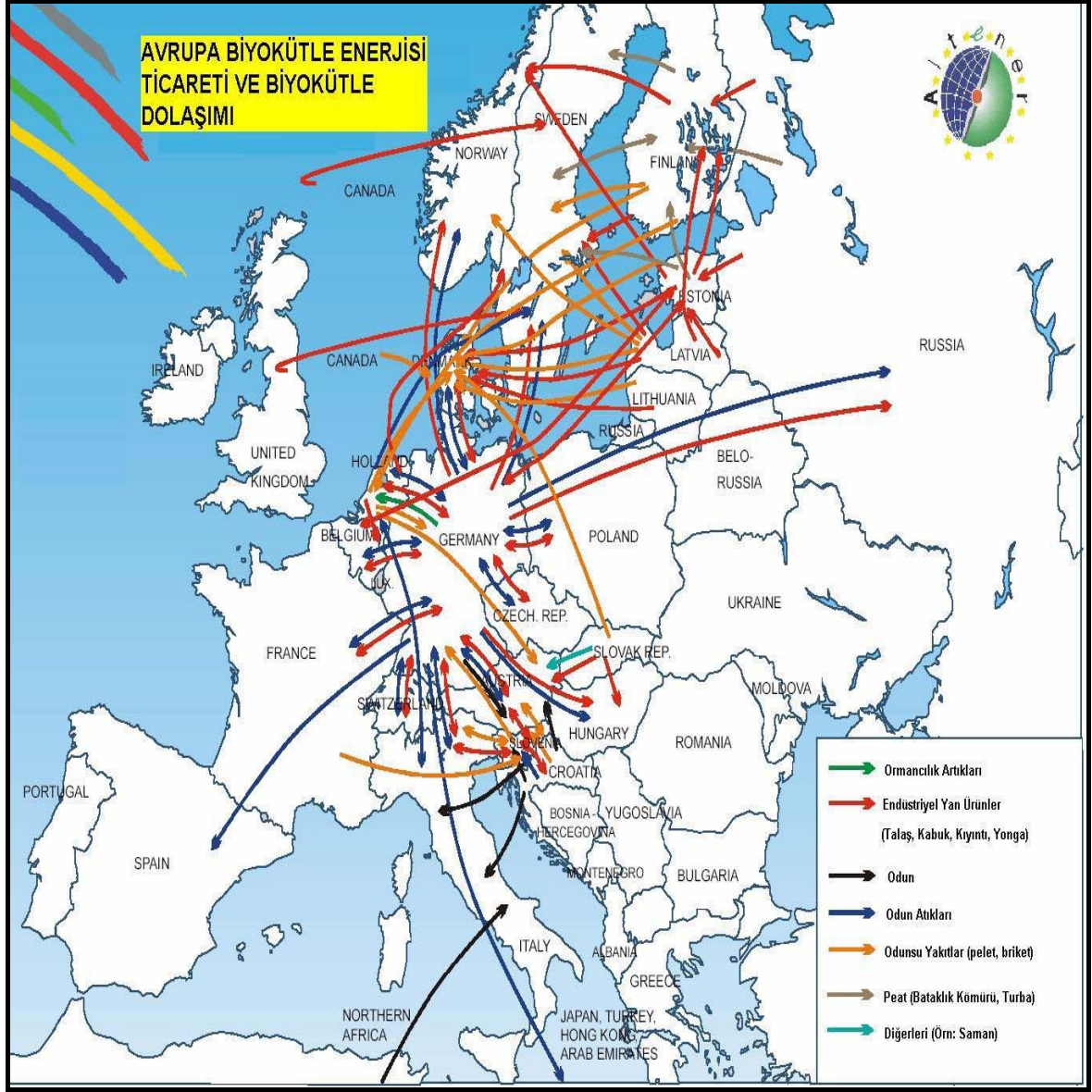
Çizelge 1.3 Dünya biyokütle enerji miktarları (Ersoy 2007)

Bölge	1995				2020			
	Biyokütle (MTEP)	Konvans, Enerji (MTEP)	Toplam (MTEP)	Biyokütle Payı (%)	Biyokütle (MTEP)	Konvans, enerji (MTEP)	Toplam (MTEP)	Biyokütle Payı (%)
Çin	206	649	855	24	224	1524	1748	13
Doğu asya	106	316	422	25	118	813	931	13
Güney Asya	235	188	423	56	276	523	799	35
Latin Amerika	73	342	416	18	81	706	787	10
Afrika	205	136	341	60	371	260	631	59
Gelişmekte Olan Ülkeler	825	1 632	2 456	34	1 071	3 825	4 896	22
OECD Olmayan Ülkeler	849	2 669	3 518	24	1 097	5 494	6 591	17
OECD Ülkeleri	81	3 044	3 125	3	96	3 872	3 968	2
Dünya	930	5 713	6 643	14	1 193	9 365	10 558	11

Avrupa’da biyokütle ticareti ve dolaşımı yaygın olarak yapılmaktadır. Avrupa’daki biyokütle ticareti ve dolaşımı haritası şekil 1.1’de verilmiştir.

Avrupa’daki biyokütle ticareti ve dolaşımına bakıldığında Almanya’nın hemen hemen tüm komşularıyla endüstriyel yan ürünler ve odun atıkları ticareti yaparken odunsu yakıt

ticareti Hollanda, Letonya, Litvanya, Finlandiya ve Danimarka arasında gerçekleştiği görülmektedir.



şekil 1.1 Avrupa biyoktle enerjisi ticareti ve biyoktle dolaşımı (Acaroğlu 2003)

Türkiye’de ise biyoktle enerjisinin birincil enerjiler içerisinde kullanımı 1989’ da %15,2, 1994’de ise % 12,4 oranında gerçekleşmiştir (Gençoğlu 2001). 2007 yılında ise % 9 civarındadır (Kılıç 2008).

2020 yılında birincil enerji ihtiyacı 298,4 MTEP, buna karşılık enerji üretiminin 70,2 MTEP ve enerji ithalatının ise % 76 değerlerine ulaşması tahmin edilmektedir (Kaygusuz 2002).

Türkiye’de yılda 50–65 Mt tarımsal atık ve 11 Mt hayvansal atık üretilmektedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye’nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27’sine eşit olduğu bilinmektedir. Türkiye’deki toplam yenilenebilir biyoenerji potansiyeli Çizelge 1.4’de verilmiştir.

Çizelge 1.4 Türkiye’de yenilenebilir biyoenerji potansiyeli (Ersoy 2007)

Biyokütle Tipi	Enerji Potansiyeli (MTEP)
Kuru tarımsal atıklar	4,56
Nemli tarımsal atıklar	0,25
Hayvansal atıklar	2,35
Orman ve işleme atıkları	4,30
Belediye katı atıkları	1,30
Yakacak odun	4,16
Toplam	16,92

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyokütlenin Dünya ve Türkiye’deki potansiyelinin yüksek olması, çok çeşitli yerlerde yetiştirilebilmesi ve de yetişmesi, kolayca depolanması, sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması ve çevresel etkilerinin daha olumlu olması nedeniyle, günümüzde farklı endüstrilerde elektrik, kimyasal hammadde ve sıvı yakıt eldesinde yararlanılmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması da enerji sorununu çözmek için biyokütle kullanımının giderek önem kazanmasını sağlamıştır.

Biyokütle kaynakları modern ve klasik biyokütle kaynakları olarak bir ayrıma da tabi tutulmaktadır. Klasik biyokütle kaynakları; normal ormanlardan elde edilen yakacak odun ile bitki ve hayvan atıklarından oluşur. Modern biyokütle kaynakları olarak da;

enerji ormancılığı ürünleri, orman ve ağaç endüstri atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel ve hayvansal atıkları, biyodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, kentsel atıklar, tarımsal endüstri atıkları olarak ifade edilebilir.

Ülkemizin biyokütle potansiyelinin sadece % 60'ının değerlendirildiği varsayıldığında bu potansiyel 300 MW güce sahip bir enerji tesisine eşdeğerdir. Keban Barajı'nın kurulu gücünün 1330 MW olduğu düşünüldüğünde her 4,5 yılda bir Keban Barajı'nın ürettiği enerji kadar enerji depolama alanlarına gönderilmektedir (Ersoy 2007). Çizelge 1.5'de 2005 yılı itibariyle Türkiye'de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 1.5 2005 yılı itibariyle Türkiye'de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli (Ersoy 2007)

Organik Atık	Miktar (t KM/yıl)		Biyometan(m^3CH_4 /yıl)		Enerji (MWh/yıl)	
	Toplam	Geri Kazanılabılır Miktar	Toplam	Geri Kazanılabılır Miktar	Toplam	Geri Kazanılabılır Miktar
Kentsel Organik Atık	8 351 200	5 010 720	1 503 216 000	901 929 600	4 374 359	2 624 615
Arıtma Çamuru	1 084 050	650 430	227 590 300	136 590 300	662 463	397 478
Çiftlik Atıkları	24 283 538	13 337 339	3 399 695 320	1 867 227 460	9 893 113	5 433 632
Toplam	33 718 788	18 998 489	5 130 501 620	2 905 747 360	14 929 935	8 455 725

Biyokütleden fiziksel, biyokimyasal ve termokimyasal yöntemler kullanılarak katı, sıvı ve gaz yakıt elde etmek mümkündür. Yenilenebilir enerjiler içerisinde yer alan biyokütle enerji kaynaklarından bir tanesi de biyogazdır. Çevresel ve sağlıksal sorunlara yol açan organik atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve bu atıkların enerjiye dönüştürülmesini sağlayan biyogaz teknolojisi yenilenebilir enerji üretiminde en ön sırada yer almaktadır.

Biyogaz teknolojisi, organik kökenli atıklardan hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir. Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 2.5-4.0 milyar m³ (takriben 25 milyon kWh) olarak belirlenmiştir (Armağan vd. 2008). Türkiye'nin hayvansal atık kaynaklı biyoenerji potansiyeli Çizelge 1.6'da verilmektedir.

Çizelge 1.6 Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyeli (Armağan vd. 2008)

Hayvan Cinsi	Toplam Hayvan Sayıları (Bin Baş)	Toplam Enerji Potansiyeli (MTEP)	Geri Kazanılabılır Enerji (MTEP)
Sığır	12 121	3,0	0,9
Eşek, Katır, At, Deve	1 370	0,3	0,1
Kümes hayvanları	311 500	0,9	0,3
Koyun, Keçi	75 095	3,6	1,1
Toplam	400 086	7,8	2,4

Biyogaz üretiminden sonra arta kalan organik maddenin gübre olarak kullanılması durumunda ürün verimliliğinde ciddi artışlar söz konusu olacağından biyogaz üretiminin enerji değerinin yanında çevreye olan katkısı da göz ardı edilmemelidir. Hem fermentasyon sırasında zararlı birçok organizma yok olmaktadır. Hem de gübre kokusu kalkmaktadır. Biyogaz üretiminin çevreye olan bir başka katkısı ise biyogaz doğal gazın alternatif bir gaz yakıt olarak elektrik eldesinde, yakıt hücresi yakıtı olarak ve doğalgaz için katkı maddesi olarak kullanılabilir. Aneorobik bozunma işleminin atıklar için kullanımının yeni olması nedeniyle, sera gazı emisyonları ve azaltımlarında aneorobik bozunmanın rolü hakkında sınırlı düzeyde bilgi vardır. Bir ton organik katı atığın parçalanması ile 50-110 m³ CO₂ ve 90-140 m³ CH₄ atmosfere bırakılmaktadır. Aneorobik bozunma ile atıkların organik kısımları enerjiye dönüştürülürken, çevre üzerine olumsuz etkiler azaltılmakta ve fosil kaynakların kullanımının azaltılmasına katkı sağlanmaktadır (Güç ve Yılmaz 2008).

Yapılan çalışmalarda ülkemizin biyogaz potansiyelinin 2,8-3,9 milyar m³ olduğu, petrol eşdeğerinin 1,4-2 milyon ton/yıl, enerji eşdeğerinin 24,5 milyon kWh ve kimyevi gübre karşılığının 2 792 000 ton/yıl olduğu bildirilmektedir (Toruk ve Eker 2003).

Ülkemizde hayvan gübresi büyük oranda kırsal kesimin ısınma aracı olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda gübre girdilerinin maliyetinin artması ve hayvan gübresinin faydalarının anlaşılmaya başlanması ile birlikte çiftlik gübresi olarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu haliyle bile bir enerji kaybı söz konusudur. Şöyle ki biyogaz üretiminde kullanılan hayvan gübresi fermentasyona uğradığından gübre kalitesi de artmaktadır.

Fosil kökenli enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve enerji açığının giderek artması mevcut kaynakların daha etkin kullanımı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi gerekli kılmıştır. Bu çalışmada; yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve ülkemizde 1980'lerde çok ilgi gösterilen daha sonra bir anda uzaklaşan şu an ise değeri tekrar fark edilen biyogazın, hem hayvan sayısı hem de ekim alanı ile Türkiye'nin en büyük illeri arasında olan Sivas ilinin yetiştiriciliği yapılan büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığı durumunu incelemek ve Sivas ili hayvancılığı mevcut istatistikî değerleri kullanılarak ve belirli bilimsel kriterler çerçevesinde elde edilebilecek biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri ve biyogaz tesisleri için optimum çalışma koşulları belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca; ilin hayvancılık yapan işletme büyüklüklerine göre uygun biyogaz reaktör kapasitelerinin belirlenmesi de planlanmaktadır.

Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır:

GİRİŞ Bölümünde; biyokütle enerjisi konusunda genel açıklamalar yapılarak tez çalışmasının amacı, önemi ve kapsamından söz edilmiştir.

BİYOGAZ TEKNOLOJİSİ Bölümünde; biyogazın tarihçesi, dünyadaki ve Türkiye’deki durumu, biyogazın biyolojisi, biyogaz üretimini etkileyen faktörler ve optimum çalışma koşulları, biyogaz üretiminde kullanılan atık türleri, biyogaz üretiminin avantaj ve dezavantajları, biyogaz üretiminde kullanılan prosesler ve fermentasyon şekilleri, biyogaz üretim tesisleri ve biyogaz kullanım alanları gibi biyogaz konusunda genel bilgilere yer verilmiştir.

KAYNAK ÖZETLERİ Bölümünde; Tez çalışmasına dayanak olan kuramsal temeller ile ilgili kriterler ve yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM Bölümünde; araştırma kapsamında Sivas İli’nde mevcut hayvancılık işletmelerinin özellikleri, hayvan sayıları ve kapasiteleri ortaya konulmuştur. Bu çerçevede Sivas Tarım İl Müdürlüğü verileri araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur. Yöntemde ise; ilin biyogaz üretim potansiyelini ortaya koyabilmek için hayvan cinslerine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarının ve reaktör büyüklüğü için kullanılan literatür değerleri dikkate alınmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA Bölümünde; hayvanların günlük taze atık miktarları, ahırda kalma süreleri dikkate alınarak kullanılabilir atık miktarı ve atıkların katı madde oranları kullanılarak hayvanlardan elde edilebilecek katı atık miktarları hesaplanarak hayvansal atıkların biyogaz potansiyel değerleri ve eşdeğer enerji karşılıkları hem il hem de ilçe bazında haritalarla verilmiş olup aynı zamanda işletmelerin hayvan sayılarına göre hesaplanan reaktör büyüklükleri verilmiştir.

SONUÇ Bölümünde; hazırlanan biyogaz potansiyeli ve reaktör kapasitelerinin sağlayacağı faydalardan söz edilmiştir.

2. BİYOGAZ TEKNOLOJİSİ

2.1 Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi

Biyogaz, organik materyallerin anaerobik koşullarda biyokimyasal fermentasyonu ve mikrobiyolojik faaliyetler sonucu parçalanması ile elde edilen, havadan % 20 daha hafif olan yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz, % 40-70 CH₄, % 60-30 CO₂ ve diğer gazlardan (H₂S, N₂, H₂, CO) oluşmaktadır. İçerisinde bulunan metan, biyogazın yakıt olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Onurbaş 1993).

Biyogaz 2000-3000 yıl öncesinin eski Çin kayıtlarına kadar dayanmaktadır. İlk olarak Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında kullanılmaya başlanmıştır (Eryaşar 2007). M.S. 23–79 yılları arasında yaşayan Plinius, bataklıkların üzerinde titreyerek yanan alevlerden bahsetmektedir (Marchaim 1992). 17.yüzyılda Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozunumuyla yanıcı gazın üretildiğini belirtmiştir. Robert Boyle, 1682 yılında hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesiyle gaz üretimi oluştuğunu belirtmiştir (Eryaşar 2007).

Aneorobik fermentasyon ilk olarak Benjamin Franklin tarafından tanımlanmıştır (Martineau ve Worley 2009).

Kont Alessandro Volta 1776 yılında, bozunan organik madde miktarı ile üretilen yanıcı gaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermiştir (Eryaşar 2007).

1804–1810 yıllarında John Dalton, Sir Humphry Davy ve William Henry sığır gübresinden anaerobik fermentasyonla metan üretimini ispatlamışlardır (Marchaim 1992).

Avogadro CH₄'ü 1821'de tanımlamıştır. 1868'de Bechamp ve 1873'de Popoff, metan üretimine neden olan olguyu bakterilere bağlamışlardır. 1876'da Herter lağım suyundaki asetatin, eşit oranda CO₂ ve CH₄'de dönüştüğünü rapor etmiştir. Pasteur

1884’de, hayvan atıklarından biyogaz eldesiyle ilgili araştırmalar yapmış ve at gübresinden biyogaz elde edilerek sokak lambalarının yakılmasını önermiştir. İlk modern biyogaz reaktörü 1859’da Bombay’da işletilmeye başlamıştır (Eryaşar 2007).

İlk pratik uygulama 1895 yılında İngiltere’nin Exeter şehrinde yapılmıştır. şehir kanalizasyonunun toplandığı özel bir tesiste elde edilen biyogaz sokak lambalarında kullanılmıştır. Dünyada 1900’l yıllardan sonra mikrobiyoloji ve bilimdeki gelişmeler doğrultusunda bu konudaki araştırmalar artmış, anaerobik bakteriler ve özellikleri saptanarak metan üretimi teşvik edilmiştir (Szer ve Yaldız 2006).

Buswell 1920’lerin sonunda aneorobik fermentasyon çalışmalarına başlamıştır. Endüstriyel atıkların ve çiftlik atıklarının enerji üretiminde kullanırken azotun aneorobik fermantasyonun kaçınılmaz bir parçası olduğunu ortaya koymuştur. Barker’ın 1956 yılında yapmış olduğu temel biyokimya çalışmaları metan bakterileri hakkındaki bilgilerin zenginleşmesine büyük katkı yapmıştır (Marchaim 1992).

1973–1975 yılında başlayan petrol sıkıntısı ve dünyada enerji fiyatlarının yükselmesi biyogaz konusunu tekrar gündeme getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve onların önderliğindeki güney ülkeleri ve Doğu Asya lkelerinde araştırma, demonstrasyon ve üretim amaçlı ülkelerin kendi koşullarına uygun biyogaz reteleri kurulmaya başlanmıştır. Almanya’ da 3 yıl içerisinde 58 adet tesis kurulmuştur. Aynı yıl Avrupa Topluluğu lkelerindeki tesis sayısı da 300’ bulmuştur. 1985–1990 yılları arasında biyogaz tesisi yapımı yavaşlamıştır. 1990 yılından itibaren özellikle Almanya’da enerji yasasındaki değişiklikler, fermentasyon teknolojisindeki gelişmeler, gaz motoru ve jeneratör ikilisinin kolay kullanımı, H₂S’nin gaz içerisinden temizlenebilmesi biyogaz teknolojisinin tekrar kullanılmaya başlanmasına yardımcı olmuştur (Buğutekin 2007).

1900’l yılların ilk çeyreğinde biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Dünya’da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin % 80’i Çin’de, %10’u Hindistan, Nepal ve Tayvan’da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur (Buğutekin 2007). Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı izelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki 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 tesislerin 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 (Buğutekin 2007).

Hindistan'da toplam nüfusun % 70'i, Çin'de ise % 80'i kırsal kesimde yaşamaktadır. Buna da bağlı olarak her iki ülkede de kırsal kesim biyogaz sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin'de ilk biyogaz tesisi 1936'da, Hindistan'da ilk deneysel tesis 1946'da kurulmuştur. Fakat Hindistan'da bu çalışmaların başlangıcı 1939'a uzanmaktadır. Biyogaz üretiminde Çin'de domuz atıkları önemli rol oynarken, kırsal kesim ailelerinin % 59-80'inin kendi sığırlarına sahip olduğu Hindistan'da, sığır atıkları ön planda tutulmuştur. Hindistan'da çiftlik tipi tesislerin kurulumu 1974 yılında başlatılmıştır. 1981 yılında başlatılan Ulusal Biyogaz Kalkınma Programına kadar yaklaşık 80 bin biyogaz tesisi varken, 10 yıl içinde 1,67 milyon rakamına ulaşılmıştır. Bu rakam 1997 yılında 2,7 milyona ulaşmıştır. Fakat kurulu sistemlerin yaklaşık olarak 1/3'ü bakımsızlık, yetersiz atık ve atıkların ulaştırılmasındaki organizasyon eksiklikleri nedeniyle çalıştırılmamaktadır. Hindistan'da aile tipi biyogaz tesislerinin potansiyeli 12 milyon olarak tahmin edilmektedir. Çin'de çiftlik tipi reaktörlerle ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda yoğunlaşmış, orta ölçekli ve endüstriyel tip sistemler 70'lerin sonunda kurulmaya başlanmıştır. Çin'de 11–13 milyon aile tipi biyogaz tesisinden yılda yaklaşık

3,3 Gm³ biyogaz elde edilmektedir. Küçük ölçekli tesisler genellikle 8 m³ hacme sahiptir. Yaklaşık 2200 orta ve büyük ölçekli tesiste ise yılda 1,2 Gm³ biyogaz üretilmektedir. Çin’de biyogaz sistemine sahip olan ailelerin sayısı kırsal kesim nüfusunun yaklaşık %10’una ulaşmıştır. Bazı bölgelerde bu oran % 15’e kadar yükselmektedir (Eryaşar 2007).

Çin ve Hindistan gibi asya ülkelerinde aile tipi sayılabilecek 5-10-15 m³’lük küçük tesisler tercih edilirken Avrupa’da ise orta ve büyük ölçekli tesisler tercih edilmektedir.

2.2 Türkiye’de Biyogaz Gelişimi

Türkiye’de biyogaz ile ilgili çalışmaları 1980 öncesi ve sonrası diye ikiye ayırmak olasıdır. 80 öncesinde çalışmalar birkaç üniversite ve kamu kurumunda yetersiz teknolojik bilgiyle ayrı ayrı yürütülmüştür. İlk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlatılmıştır. 1960’lı yıllarda biyogazla ilgili yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı Devlet Üretim Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur (Eryaşar 2007).

1960’lı yıllardaki çalışmalar “Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü” ile "Eskişehir Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü"nde yoğunlaşmıştır (Koçer Nacar vd. 2006).

Tarım Bakanlığı’na bağlı Topraksu Araştırma Enstitüsü bünyesinde 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, 5 adedi Eskişehir Topraksu Araştırma Enstitüsünde, 2 adedi Eskişehir’in köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam sekiz adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Çalışmalar 1969 yılına kadar sürmüştür. Bunların bir kısmından iyi sonuç alınmasına karşılık, yönetimlerin biyogaza sıcak bakmamaları, çalışmaları yönlendirecek ve yürütecek kurumun olmaması, teknik eleman ve çiftçilerin yeterince eğitilememeleri gibi sebeplerden tesislerin bir kısmı yarım bırakılmış ya da bir müddet kullanıldıktan sonra istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle terk edilmiştir (Eryaşar 2007).

1975 yılından sonra Toprak Su Araştırma Enstitüsü ve 1980’li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları uluslararası bazı anlaşmalarla desteklenmiştir (Buğutekin 2007).

Daha sonraki dönemlerde, özellikle 1980'li yılların başlarında tüm dünyada yaşanan petrol krizinin etkisiyle Köy Hizmetleri Ankara Topraksu Araştırma Enstitüsü'nde bir biyogaz birimi kurulmuş ve biyogazın ülke çapında yaygınlaştırılma çalışmaları hız kazanmıştır (Koçer Nacar vd. 2006).

Bu çalışmaların bir kısmı UNICEF'in teknik bilgi ve finans yönünden desteklediği, koordinasyonun DPT tarafından sağlandığı çalışmalardır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı gibi kurumlar yanında MTA, TOPRAK-SU gibi kuruluşlar da bu çalışmalara katılmışlardır. Doğu illerinden başlayarak biyogaz tesislerini kırsal kesimde yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmalar ilk olarak, Muş-Alpaslan Devlet Üretim Çiftliğinde 35 m³'lük bir tesis kurularak başlatılmıştır. Çeşitli Devlet Üretim Çiftliklerinde, farklı iklim koşullarında pilot tesisler kurularak, test edilmiştir. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk TOPRAK-SU'ya verilmiş, devletin köylülere sağladığı 1600 Amerikan Doları limitli, % 16 yıllık faizli kredilerle 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m³ boyutlarda biyogaz sistemleri kurulmuştur. Yine 1984–1987 yılları arasında Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsünde, Ankara'da ve Erzurum'da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Ayrıca bu yıllarda küçük ölçekli biyogaz tesislerinin projeleri dergilerde ve kitaplarda kullanıcıya sunulularak yaygınlaştırma çalışmalarına başlanmıştır. Kurulan sistemler bazı değişiklikler dışında Hint-Çin tipi sistemler olmuştur. Bu çalışmalar da organizasyon eksiklikleri ve projeler arasında iletişim kopukluğu nedeniyle başarılı olamamıştır. Yapılan uygulamalarda verim alınamamasının en önemli sebebi olarak, reaktör sıcaklığının istenilen seviyede tutulamaması gösterilmektedir (Eryaşar 2007).

Biyogaz ile ilgili çalışmalar 1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle kesilmiştir (Buğutekin 2007).

2.3 Biyogazın Bileşimi ve Özellikleri

Biyogaz, artık organik maddelerin, havasız fermentasyonu sonucu açığa çıkan, renksiz, kokusuz, havadan hafif, havaya karşı yoğunluk oranı 0,83 ve oktan sayısı 110 olan, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminin % 60-75'i metan (CH₄) ve % 25-40'ı da

karbondioksit (CO₂) olan bir gaz karışımıdır. Biyogaza “bataklık gazı”, “gübre gazı”, “gobar gaz” gibi isimler de verilmektedir. Biyogaz; renksiz, yanıcı, ana bileşenleri metan ve karbondioksit olan, az miktarda hidrojen sülfür, azot, oksijen ve karbon monoksit içeren bir gazdır. Genellikle organik maddenin %40 -%60 kadarı biyogaza dönüştürülür. Biyogazın genel bileşimi %60 CH₄ ve %40 CO₂’den oluşmakta ve ısı değeri 17-25 MJ/m³’tür. Geri kalan atık ise kokusuz gübre olarak kullanmaya uygun bir katı veya sıvı atıktır (Aktaş 2008). Biyogazın bileşim değerleri, doğalgaz ve diğer yakıtlarla karşılaştırılması çizelge 2.2- 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.2 Biyogaz bileşim değerleri (Aktaş 2008)

Bileşenler	Hacim %'si
Metan (CH ₄)	40-80
Karbondioksit (CO ₂)	20-50
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	0,0005-0,0002
Amonyak (NH ₃)	0,0005-0,0001
Azot (N ₂)	0-3
Hidrojen (H ₂)	0-5

Çizelge 2.3 Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması (Aktaş 2008)

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim (hacim %'si)	95-98	55-65
Mol ağırlığı (kg/mol.kg)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl değer (MJ/m ³)	36,14	21,48
Maksimum tutuşma hızı (m/sn)	0,39	0,25

Çizelge 2.4 Biyogazın enerji değeri açısından diğer yakıtlarla karşılaştırılması (biyogazın metan miktarı % 60) (Aktaş 2008)

Yakıt Cinsi	Isıl Değer (kcal/kg)	Biyogaz Miktarı Karşılıkları (kg)
1 kg No:6 Fuel-Oil	9 200	0,56
1 kg Karışık Dökme Gaz	11 000	0,46
1 kg Propan Dökme Gaz	11 000	0,46
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	11 000	0,46
1 kg Motorin	10 200	0,50
1 m ³ Doğalgaz	8 250	0,62
1 kg Soma Kömürü	4 700	1,09
1 kg ithal Linyit Kömürü	6 500	0,79

Biyogazın diğer gazlarda olduğu gibi kendine has bazı özellikleri bulunmaktadır. Biyogazın teknik özellikleri Çizelge 2.5’de verilmiştir.

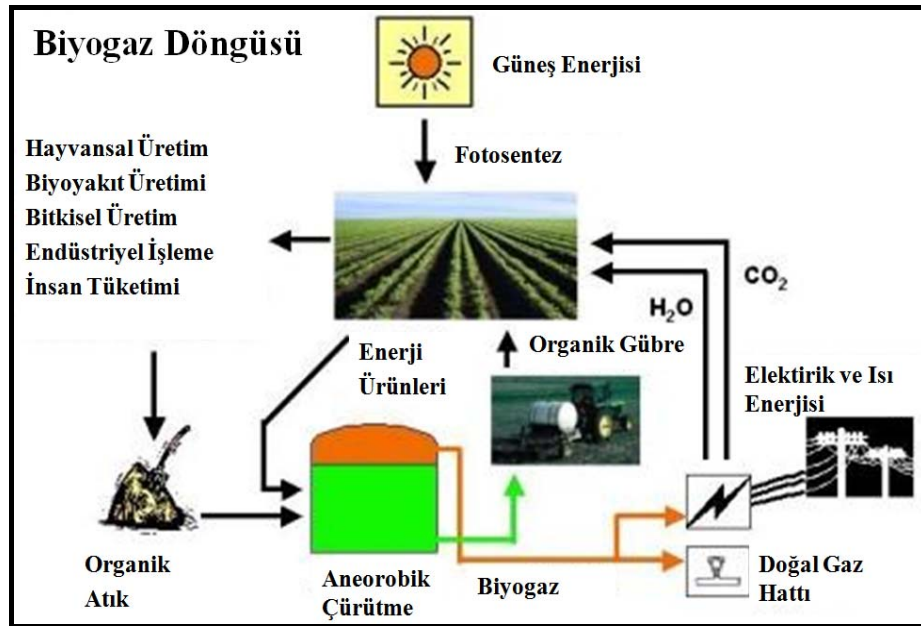
Çizelge 2.5 Biyogazın teknik özellikleri (Buğutekin 2007)

Özellik	Açıklama
Yanma	Yüksek derece
Kullanım alanları	Elektrik enerjisi, pişirme, ısıtma, kurutma
Yoğunluk	1,2 kg/m ³ (havanın yoğunluğu 1,3 kg/m ³)
Tutuşma sıcaklığı	700 °C
Tutuşabilir sıcaklık	CO ₂ içerdiğinden düşüktür
Tutuşma oranı	hava-gaz karışımını 6/12 biyogaz
Yanma için gerekli hava	Teorik olarak 5,7 m ³ hava/m ³ biyogaz
Patlama	Biyogaz tek başına yanmaz, çok dikkatli bir şekilde depolanmalıdır, hava ile teması veya gaz depolama kısmında sızma yoksa tehlikesi yoktur.
Rengi	Renksiz
Biyogazın ısıl değeri ortalama	23000 kJ/m ³ (4700-6000 kcal/m ³)
Kokusu	Metan kokusuzdur, fakat diğer gazların içeriğinden dolayı sarımsak kokusuna benzer bir kokusu vardır.

Biyogazın hava içerisinde yanma hızı (0,25 m/s) düşüktür. Bunun nedeni CO₂ içermesidir. Yanması için hava içerisinde en az % 5 oranında bulunmalıdır. Yanması

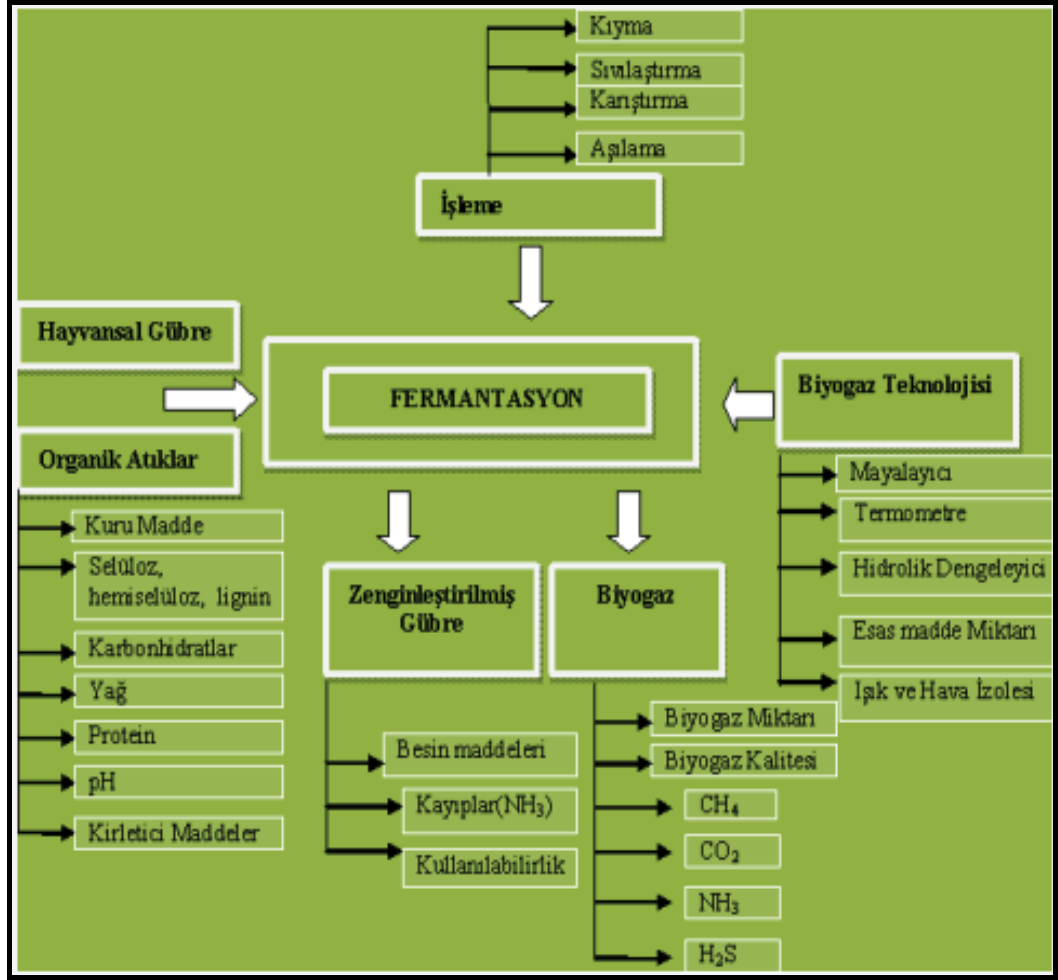
için 1m^3 biyogaza $5,7\text{ m}^3$ hava gereklidir. Ancak bu oran ideal bir yanmanın sağlanması için % 20–30 olarak seçilmektedir. Biyogaz içerisindeki metan gazı yanma ve ısı değerleri yönünden diğer gazlara benzemekle birlikte bazı fiziksel özellikleri yönünden propan ve bütan gazlarından farklıdır. Metan gazı miktarı uzun bekleme sürelerinde yüksektir. Bekleme süresi kısaltılırsa metan içeriği % 50'nin altına düşer, bu durumda biyogaz uzun süreli yanmaz. Propan, bütan vb gazlar oda sıcaklığında, düşük basınçlar da sıvılaştırılabilirken biyogazın sıvılaştırılması çok yüksek basınç ve düşük sıcaklık gerektirdiğinden ekonomik olarak çok masraflıdır. Bu nedenle tüplere doldurulmamakta ve ancak üretildiği yerde kullanılabilen veya taşınması borularla yapılabilir. Biyogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir. Metan gazı değeri beslenme materyallerine bağlıdır (Buğutekin 2007).

Biyogaz üretimi belirli döngü halinde gerçekleşmektedir. Biyogaz döngüsü Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Biyogaz döngüsü (Wilkie 2007)

Bir biyogaz üretim süreci içerisinde süreç için gerekli olan girdiler ve süreç sonunda meydana gelen çıktıların oluşabileceği bir üretim döngüsü vardır. Biyogaz üretim döngüsü Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2 Biyogaz üretim döngüsü (Amon ve Boxberger 2000)

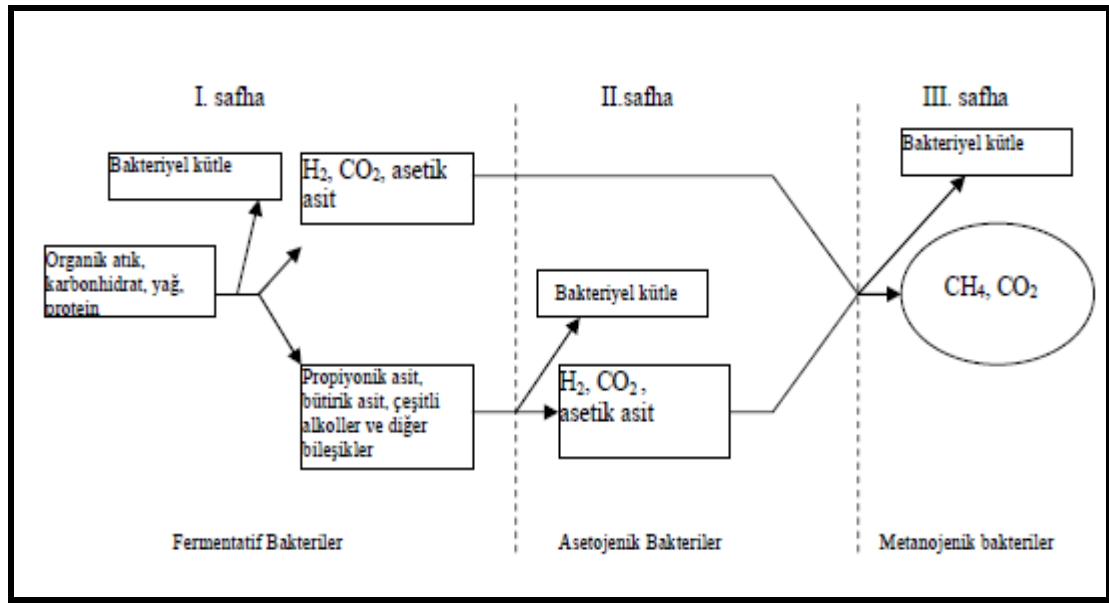
2.4 Biyogaz Oluşumu

Biyogaz basit anlatımla organik materyallerin oksijensiz ortamda yapısı bozularak üretilen bir gazdır. Biyolojik orijinlidir ve bir tür biyoyakıttır. Bu gaz biyomas, bitkisel atık, hayvansal atık, kanalizasyon atıkları vb atıklardan üretilmektedir. Bu tür üretilen gazlar metan ve karbondioksit içermektedirler, aneorobik çürüme ve metan oluşumu 3 aşamada gerçekleşmektedir (Kampeis 2011).

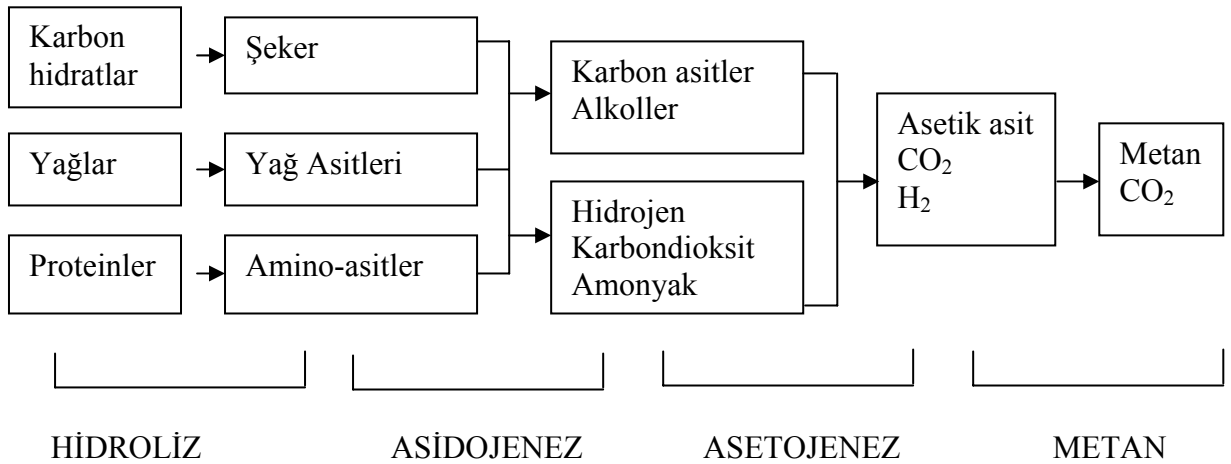
1.Aşamada, makro moleküler bileşiklerin hidroliziyle yağ asitleri ve disakkaritler meydana gelmekte iken,

2.Aşamada, bu bileşikler enzimler vasıtasıyla asitlere, alkollere, hidrojen ve karbondioksite dönüşür. Yine bu safhada nitrojen ve sülfür bileşikleri amonyak ve hidrojen sülfüre dönüşmektedir.

3.aşamada ise ağır aneorobik şartlar altında metan, karbon dioksit, amonyak, hidrojen ve hidrojen sülfür vb. türevleri meydana gelmektedir. Aneorobik çürüme safhaları şekil 2.3 - 2.4’de görülmektedir.

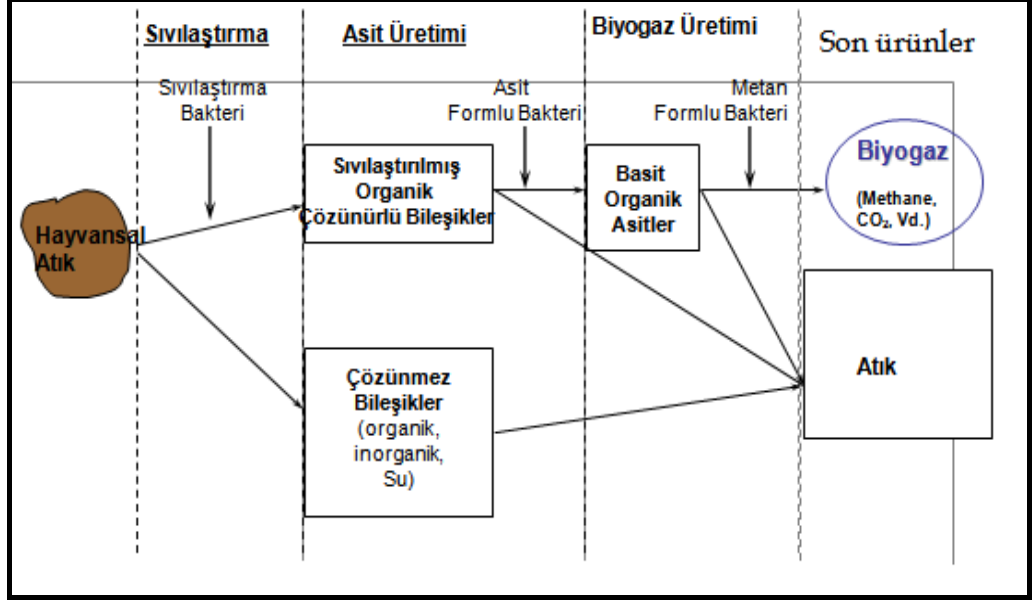


Şekil 2.3 Aneorobik çürüme safhaları (Gül 2006)

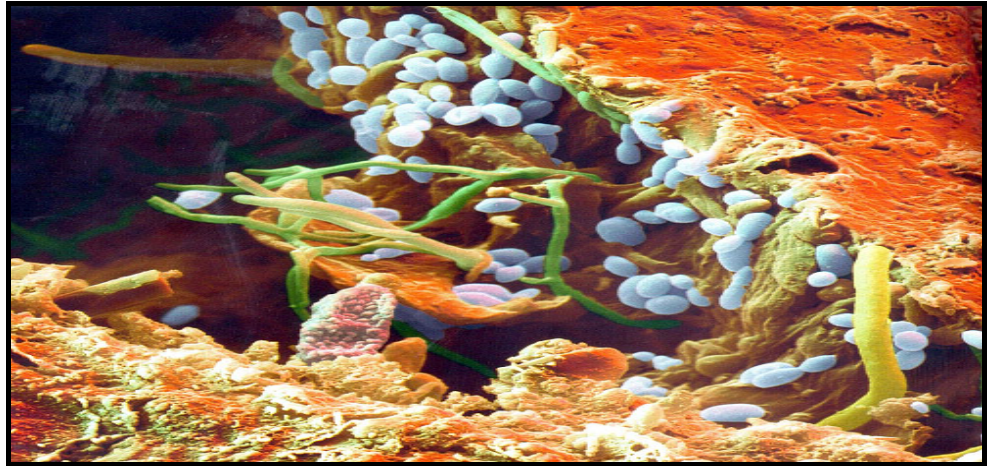


Şekil 2.4 Biyogaz oluşum süreci (Anonymous 2011a)

Şekil 2.5’deki biyogaz oluşum evrelerinde de görüldüğü üzere organik maddeler çözünerek 3.aşamadaki Şekil 2.6’da görülen metan formülü bakterilerin vasıtasıyla aneorobik şartlar altında metan (biyogaz) oluşumu gerçekleşirken inorganik maddeler atık olarak ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 2.5 Biyogaz oluşum evreleri (Ilic ve Miletic 2010)

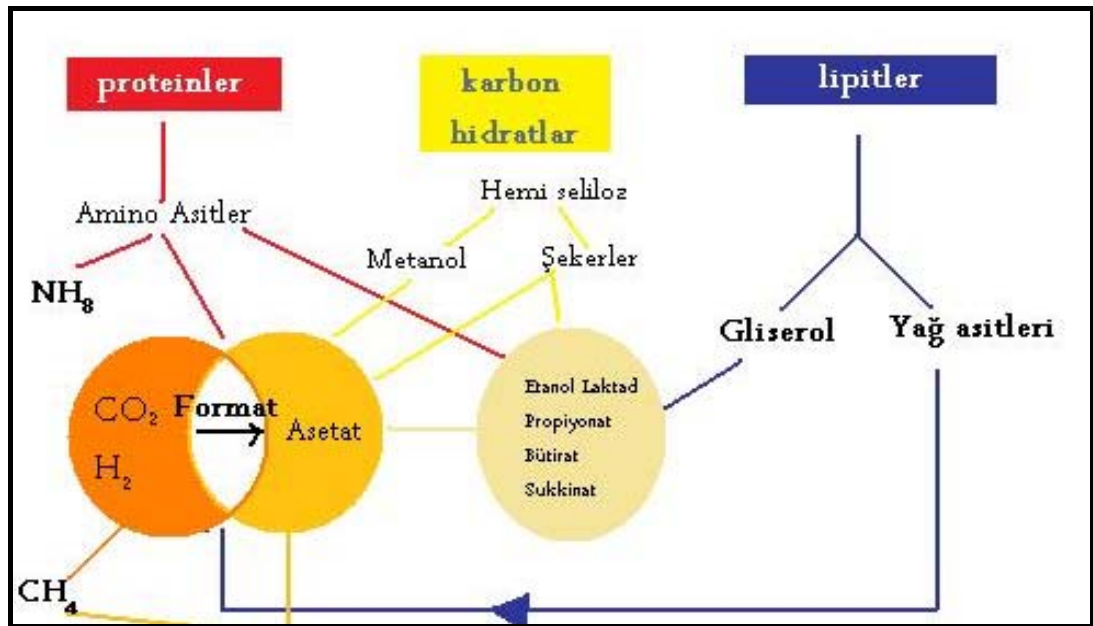


Şekil 2.6 Metan bakterileri (Heck 2011)

Metan oluşumunun gerçekleştiği 3 aşama şu şekilde açıklanabilir;

1-Fermentasyon ve hidroliz: Bu aşamada fermentatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları ($C_6 H_{10} O_5$) n, proteinleri ($6C 2NH_3 3H_2O$) ve yağları ($C_5 OH_{90} O_6$) parçalayarak CO_2 , asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin $[CH_3 (CH_2)_n COOH]$ oluşum aşaması adı da verilir (Anonim 2011b).

Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7 Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi (Anonim 2011g)

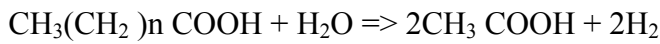
Bu aşama organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından monomerlerine (yapı taşı) dönüştürülmesi olayıdır. Hidroliz boyunca kompleks yapıda olan çözünemeyen substrat makromoleküller bakteriler tarafından daha basit ve daha çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar. Bakterilerin hücre dışı enzimleri 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 (Gül 2006). Bu enzimlerin çalışabilmesi için belirli bir sıcaklık ve pH gerekmektedir. Aneorobik çürümeye rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Patates posasının aneorobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Gül 2006)

Enzimler	pH	Sıcaklık (°C)
Amilaz	5-9	50
Karboksimetil Selüloz	5	60
Xylanaz	6	50
Pektinaz	7-9	50
Proteaz	6	50
Filtre kağıdı selüloz	6	50

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



Diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır (Anonim 2011a).

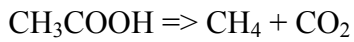
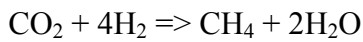


Asit oluşturucu bakteriler, çözüner hale dönuşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapılı maddelere dönuştürürler. Bu bakteriler anaerobiktir. Asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Asit oluşturucu bakteriler metan oluşturucu bakteriler için anaerobik şartlar oluştururlar (Gül 2006).

Uçucu yağ asitlerinden başka asit bakterileri organik bileşikleri daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre dönuştürürler (Asplund 2005).

Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve PH'ın düşmesine neden olur. Bu da metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar (Gül 2006).

3-Metan oluşumu: Anaerobik fermentasyonun bu son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte, ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO₂ ve H₂'yi kullanarak metan (CH₄)'e suyu (H₂O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadırlar (Anonim 2011a).



Metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermentasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır. Bu bakteriler ve optimum faaliyet sıcaklıkları aşağıdadır:

Psikofilik Bakteriler: 5-25 °C,

Mezofilik Bakteriler: 25-38 °C,

Termofilik Bakteriler: 50-60 °C.

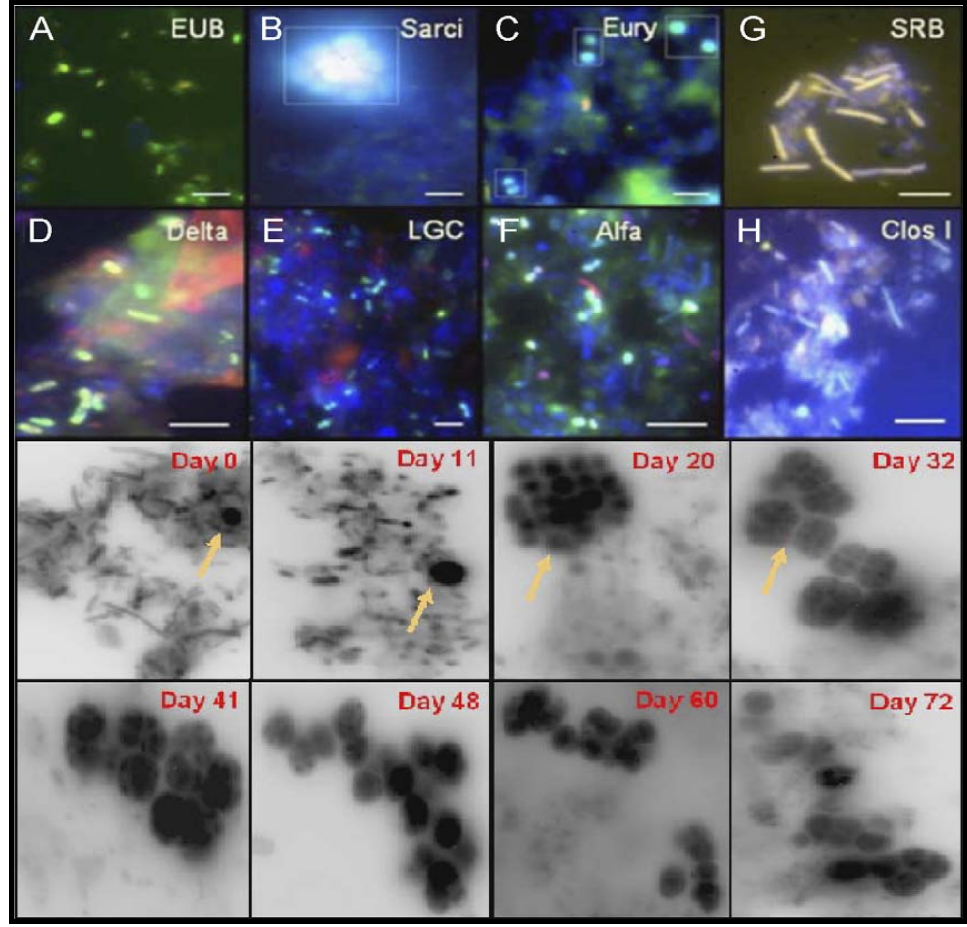
Psikofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar (Gül 2006).

Bu bakteri gruplarından mezofilik bakteriler sığır gübresinde bulunmasına karşın, 1. ve 3. grupta yer alan psikofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda mezofilik fermentasyon uygulanır (Anonim 2011a). Metan oluşumundaki optimum fermentasyon koşulları Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Metan oluşumundaki optimum fermentasyon koşulları (Buğutekin 2007)

Faz	Proses	Işık	Oksijen	Sıcaklık (°C)	Uçucu asit	pH	Oksidasyon redüksiyon gerilimi
Faz 1	Hidroliz ve Asit fermentasyonu	Karanlık	Fakultatif	30-40	% 2-4	4-4,5	+100/-100
Faz 2	Metan fermentasyonu	Karanlık	Obligate	Mesofilik 30-40 Termofilik 50-55	300 mg/l daha az	6,5-7,5	-150/-400

Biyogaz üretiminin olmazsa olmaz şartlarından biri olan ısı ve atığı bekletme süresi birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Ortam sıcaklığı arttıkça alıkonma süresi de düşmektedir (Onurbaş Avcıoğlu 2010). Bunun yanında alıkonma süresi ile metan bakterilerinin çalışması arasında da önemli bir bağlantı vardır. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere belli bir alıkonma süresinde bakteri oluşumunda artış olurken 60 günlük bekleme süresinden sonra bakteri oluşumunda azalma meydana gelmektedir (Lübken vd. 2007).



Şekil 2.8 Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun mikroskop altında görünümü (Lübken vd. 2007)

2.5 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimini etkileyen biyogaz tesisinde kullanılacak materyal ile ilgili, biyogaz sistemindeki üreteçle ilgili ve işlem süreci ile ilgili olmak üzere 3 temel faktör vardır (Buğutekin 2007).

1. Biyogaz tesisinde kullanılacak materyal ile ilgili faktörler:

Biyogaz farklı organik atıkların aneorobik şartlarda meydana gelen reaksiyonu sonucu oluşan bir gaz olduğu için reaksiyona giren organik maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle materyalin cinsi ve içeriği, kuru madde ve organik kuru madde oranı, içerdiği yataklık miktarı, partikül büyüklüğü, yabancı madde oranı ve yoğunluğu gibi faktörlere bağlıdır.

2. Biyogaz sistemindeki üreteçle ilgili faktörler:

Biyogaz üretiminde üretecın de optimum üreteç koşulları yerine gelmelidir. Üretece ise üretecın boyutları ve hacmi, üretecın yapıldığı malzeme, karıştırma, yükleme ve boşaltma sisteminin özellikleri, ısıtma sistemi ve yalıtım özellikleri ve bulunduğı yer etkilemektedir.

3. İşlem süreci ile ilgili faktörler:

Uçucu katı madde (UKM) oranı ve organik kuru madde oranı, hidrolik yükleme oranı ve bekleme süresi, fermentasyon sıcaklığı, kuru madde ve organik kuru madde oranıdır. Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları Çizelge 2.8’de görölmektedir.

Çizelge 2.8 Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları (Aktaş 2008)

Parametre	En Uygun Şartlar
Aritılan atığın bileşimi,	Karbon, temel (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı, O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} gibi oksitleyici maddeler, zehirli ve inhibitör elementler içermemeli
KOI/N/P	300/5/1
pH	6,5-8,2
Sıcaklık	25-40 (35-37)°C 50-60 (55)°C
Alkalinite	1000-4000 (2000) mg/L $CaCO_3$
TUA	<1000-1500 mg/L (astetik asit olarak)
TUA/Alkalinite	<0,1

Biyogaz üretimini etkileyen özelliklerden sıcaklık, katı madde içeriğı, hidrolik bekleme süresi, yükleme oranı, pH, C/N oranı, karıştırma, alkanite ve uçucu asitler ve toksitler gibi fermentasyon esnasında biyogaz üretimini doğrudan etkileyen özelliklerdir (Burke

2001 Asplund 2005 Gül 2006, Yiğit 2007, Buğutekin 2007 ve Aktaş 2008, Al Seadi vd. 2008, Dennis,).

2.5.1 Sıcaklık

Sıcaklık, diğer çevresel etkenlere göre, arıtma tesislerinin hem tasarımında hem de işletilmesinde en önemli parametrelerden biridir. Anaerobik arıtmada, mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri büyük oranda sıcaklığa bağlıdır (Yiğit 2007).

Aneorobik çürüme farklı sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Üç sıcaklık aralığı tanımlanabilir (Buğutekin 2007).

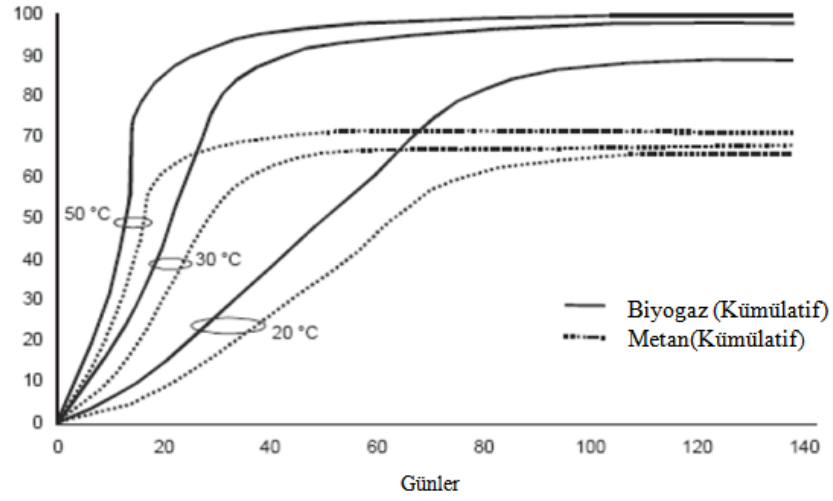
- Sakrofilik (Fizofilik) bakteriler ≤ 20 °C,
- Mezofilik bakteriler 20 °C ve 40 °C arası,
- Termofilik bakteriler ≥ 40 °C.

Sıcaklık aralığı ile atığı bekletme süresi arasında doğrudan bir ilişki vardır. Sıcaklık aralıkları ile atığın bekletme süreleri Çizelge 2.9'da görülmektedir.

Çizelge 2.9 Sıcaklık aralıkları ve bekleme zamanları (Al Seadi vd. 2008)

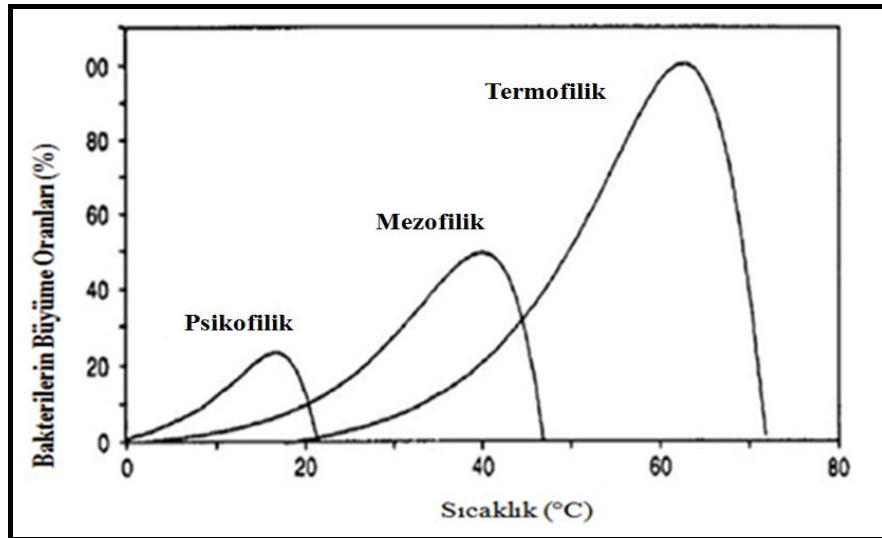
Sıcaklık Safhası	İşlem Sıcaklığı (°C)	Minumum Bekleme Süresi (Gün)
Psikofilik	<20	70-80
Mezofilik	30-42	30-40
Termofilik	43-55	15-20

Göreceli olarak biyogaz üretiminin verimi ile sıcaklık ve atığın bekletme süresi arasında bir ilişki söz konusudur. Biyogaz veriminin bekletme süresi ve sıcaklıkla ilişkisi grafik Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Sıcaklık ve bekleme zamanına bağlı olarak biyogaz verimi (Al Seadi vd. 2008)

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki termofilik sıcaklık aralıklarında kurulan tesislerdeki bakteri faaliyeti mezofilik sıcaklık aralığında kurulan tesislerden daha yüksektir (Al seadi vd. 2008). Sıcaklık aralıkları ile bakteri faaliyeti arasındaki ilişki Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Metan bakterilerinin nisbi büyüme oranları (Al Seadi vd. 2008)

Biyogazda bulunan bazı maddelerin çözünürlükleri de sıcaklığa bağlıdır. Biyogazda bulunan bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasındaki ilişki Çizelge 2.10 'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 Biyogazda bulunan bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasındaki ilişki (Al Seadi vd. 2008)

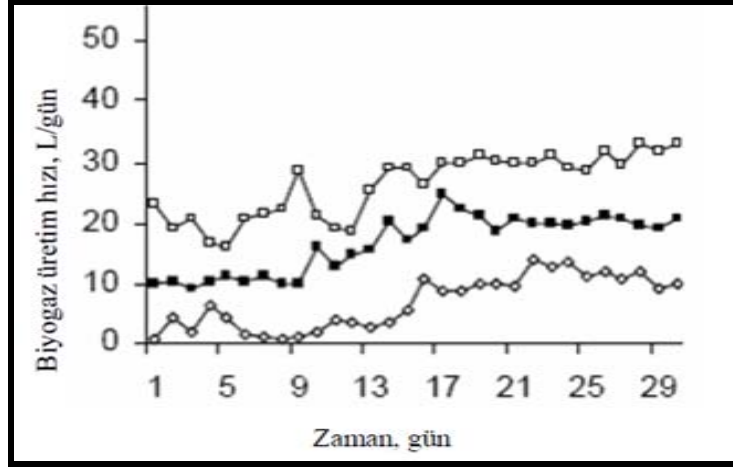
Gaz	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (mmol/L su)	Değişen Çözünürlük (50°C-35°C)
H ₂	35	0,749	% 3,3
	50	0,725	
CO ₂	35	26,6	% 36
	50	19,6	
H ₂ S	35	82,2	% 31
	50	62,8	
CH ₄	35	1,14	% 19
	50	0,962	

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 (Gül 2006). Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11 Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi (Gül 2006)

2.5.2 Katı madde içeriği

Biyogaz fermentasyonunda kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği pek çok faktöre bağlıdır. Günümüzde biyogaz teknolojisinin ulaştığı düzey ve kullanılan materyal çeşitliliği dikkate alınırse içerdiği kuru maddenin ne denli farklı olacağı açıktır. Bunlardan tavuk gübresi ortalama % 22, sığır gübresi % 10, koyun gübresi % 24 kuru madde içermektedir. Yüksek kuru madde konsantrasyonlarının gaz üretimini artırdığı ve gerekli olan üreteç hacmini azalttığı yapılan çalışmalarla bilinmektedir. Bunun yanında hammadde özgül gaz üretimini azalttığı da yine çalışmalar sonucu açıklanmıştır (Buğutekin 2007).

Aneorobik çürütmede organik atıkların katı madde içeriği, oluşan biyogazın içerisindeki metan yüzdesini büyük oranda etkilemektedir. Biyoreaktöre doldurulan katı madde oranı % 7-9 arasında olmalıdır. Düşük katı oranlarında havasız ortam koşullarını sağlamak zorlaşırken, yüksek katı derişiminde bakteriyel etkinliğin yavaşlaması nedeni ile biyogaz üretim hızı düşmektedir (Aktaş 2008).

Kullanılan substratta katı madde içeriğindeki artış, metanojenlerin aktivitesini kademeli olarak yavaşlatır ve sonuç olarak biyogazın kalitesi düşer. Biyogaz tesislerinde katı madde oranının % 7-12 civarında olması önerilmektedir. 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. Anaerobik ayrışma ortamındaki katı madde oranı çok yüksek ise karıştırma işleminin zor olmasından ve karıştırma için harcanan enerji daha fazla olacağında 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 (Gül 2006).

2.5.3 Bekleme süresi

Aneorobik sistemlerde uçucu organik maddelerin reaktörde kaldığı süredir. Tümüyle organik maddenin bileşimine ve sıcaklığa bağlıdır. Alıkoyulma süresinin artması organik maddenin parçalanma hızını artırmaktadır. Ancak en uygun alıkoyulma süresi belirlenmelidir. Uçucu madde alıkoyulma süresi ve hidrolik alıkoyulma süresi olmak üzere iki türlü kullanımı vardır. Uçucu madde alıkoyulma süresi (UAS), sistemdeki mikroorganizmaların uçucu maddeyi dönüştürmek için kullandıkları süredir ve sistemdeki uçucu madde kütlesinin, sistemden çıkan uçucu maddenin kütleli hızına oranıdır. UAS, havasız sistemlerde 2-6 gün arasında değişmektedir (Aktaş 2008).

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir. HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. 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 sıvı sığır gübresinde 12-30 gün, saman yataklı sığır gübresinde 18-36 gün, sıvı domuz gübresinde 10-25 gün, bitki ile karıştırılmış sığır gübresinde 50-80 gün ve sıvı tavuk gübresinde 20-40 gün arasındadır. Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir (Gül 2006).

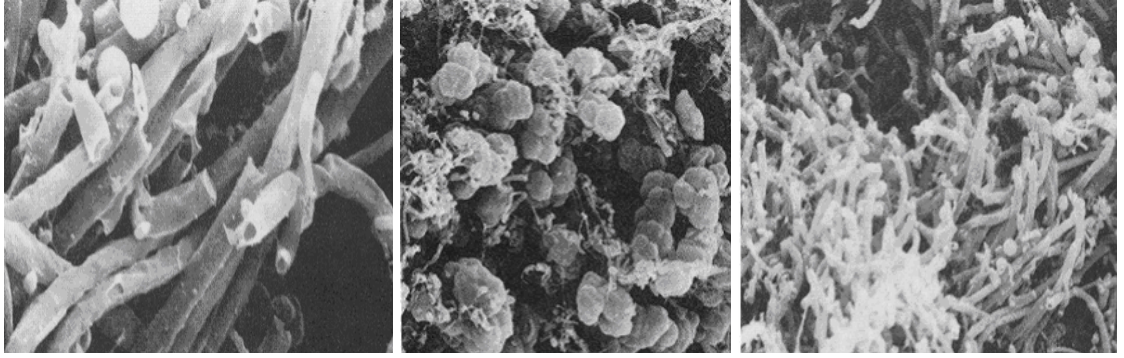
2.5.4 Yükleme oranı

Yükleme oranı kuru madde içeriği ve bekleme süresi bağımlılığında oluşan bir faktördür. Birim üreteç hacmine günde yüklenen organik kuru madde miktarını tanımlamaktadır (Buğutekin 2007).

2.5.5 pH değeri

Metan oluşturuıcı bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemleri anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH, normal olarak 7-7,5 arasında değişir. Karbondioksit-bikarbonat ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$) ve amonyak-amonyumun ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) tamponlama etkisinden dolayı pH seviyesi nadiren değişir. Biyokarbonatlar pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önler. Çünkü bikarbonatlar çürüme esnasında oluşan uçucu yağ asitlerinin serbest yağ asitleri halinde değil de bağlı halde tutulacağı için pH düşürme etkisini önler (Öztürk 2005).

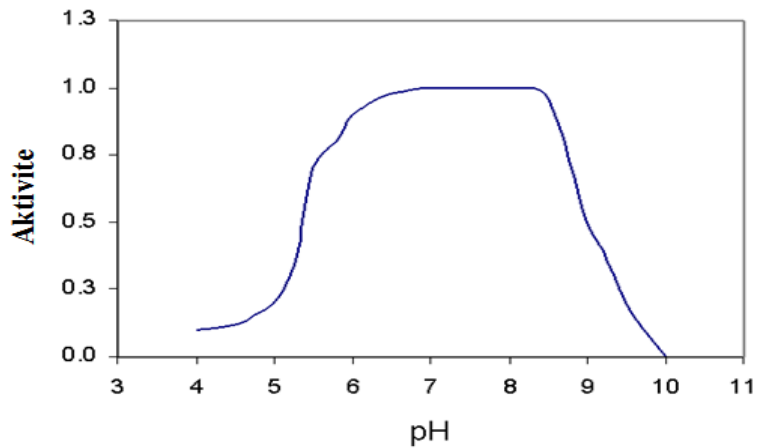
Bütün canlı hücrelerin iç ortam pH'ı 7 civarındadır. Asit üreten bakterilerin 5.5 gibi düşük pH'da faaliyet göstermesine karşın metan üreten bakteriler pH 6.5 olan ortamlarda yaşayamazlar; bunlar için en uygun pH 6.8-7.2 arasında veya 6,5-8,5 olabilir fakat 0,5 artma veya azalma sistemin gaz üretimine zarar vermez (Buğutekin 2007). Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12 Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü (Buğutekin 2007)

Mezofilik sistemlerde metan bakterileri için optimum pH aralığı 6,5-8,0 arasındadır. pH 6,0'ın altına ve 8,3'ün üstüne çıktığı durumlarda proses ciddi şekilde sınırlandırılmış olur. (Al seadi vd. 2008).

pH>8 için aktivitenin aniden düşmesi ortamdaki serbest amonyak miktarıyla ilgilidir. pH<5,5 halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar. Havasız arıtmada, işletmeye alma ve aşırı yükleme devreleri dışında genellikle pH denetimi gerekmez (Aktaş 2008). Farklı pH değerlerine göre metan bakterilerinin faaliyeti Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.13 Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin faaliyeti (Topper 2011)

2.5.6 C/N oranı

Karbon ve azot gibi elementler anaerobik bakteriler için temel besinlerdir. Karbon elementi enerji için, azot ise yapı hücresinin inşası (yapımı) için kullanılmaktadır. Bakteriler karbonu azota oranla 25–30 kat daha hızlı kullanırlar, bu yüzden C/N oranı, 25–30:1 olmalıdır. Eğer karbon azot oranı dengede (uygun) değilse belli miktarlarda üre veya alçı taşı kullanılarak bu oran düşürölüp yükseltilebilir (Buğutekin 2007).

Besin maddesindeki bileşikler, biyoreaktörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranı 23/1 den büyük olduğunda optimum çürüme için uygun değildir. Yine C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Çalışmalar göstermiştir ki, hayvan gübresinde azot (N) kaynağı idrardır. Deneysel çalışmalardan görölmüştür ki hayvan atığı içinde 5000 mg/L azotun bulunması biyokimyasal reaksiyon üzerine olumsuz etki yapmaktadır. Organik madde içinde azot 8000 mg/L ise azot amonyak azotuna dönüşür. Bu engelleyici etkide en önemli rolü amonyum iyonu yerine serbest amonyak azotu oynamaktadır. Serbest amonyak azotu özellikle hidrojen (H₂) ile karbon dioksit gazlarından metan üretimi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır (Göl 2006). Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Organik maddelerin C/N oranları (Öztürk 2005)

Gübre	C %Kuru	N %Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
Sığır Gübresi	30	1.66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83.6	3.80	22	75-80	1:1
Kümes Hav. Güb.	87.5	6.55	14	70-80	1:3
Domuz Güb.	76	3.8	20	75-80	1:2
At Güb.	33.4	2.3	15	80-85	2:3
Kaz	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Güb.	50	2	25	70-80	1:3
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesim hane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	
Evsel Ve Tarımsal Atıklar					
İnsan Dışkısı	48	6.0	8	50-70	3:7
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7.0	10	50-70	
Patates Kabuğu	37.5	1.5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62.5	2.5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0.05	800	5-15	
Taze çim	48	4	12	40-60	
Yulaf samanı	50.4	1.05	120	20-40	
Pirinç samanı	18	0.3	60	20-40	
Yapraklar	55	1.0	55	25-40	
Yer fıstığı Kabuğu	40	2.0	20	25-40	
Soya fasulyesi sapı	64	2.0	32	25-40	
Ağaç yaprakları	75	1.5	50	40-60	
Şeker kamışı	45	0.3	150	25-40	
Soya fasulyesi	17.5	3.5	5	10-15	
Pamuk tohumu	12.5	2.5	5	10-15	
Hardal	39.0	1.5	26	10-15	
Su sümbülü	30.4	1.9	16	85-90	

2.5.7 Karıştırma

Anaerobik çürütücülerin performansı öncelikle reaktördeki substratın bekleme süresinden, yaşayabilecek durumda olan bakteriyel popülasyon ve giren substratın birbirleri arasındaki temas derecesinden etkilenir. Çürütücü içerisindeki substratın karıştırılması sayesinde mikroorganizmalar üniform bir biçimde dağıtılır ve aynı zamanda ısı transferi gerçekleşir. Karıştırma, mekanik karıştırıcılarla, biyogaz geri devri ile veya çamur geri döngüsüyle çok iyi yapılabilir. Mekanik karıştırıcılar, karıştırılan her bir galon (1 gal=3.78Lt) başına tüketilen enerji açısından en verimli olduğu kaydedilmiştir. Buna karşılık gaz sirkülasyonu ile karıştırma yapılan çürütücülerde gaz sirkülasyon hızının artmasıyla metan üretim hızının azaldığı kaydedilmiştir. Bunun nedeni ise gazın sirkülasyonu hava pompasıyla yapıldığı için bu esnada sisteme bir miktar hava sızmaktadır (Gül 2006).

Karıştırmanın en önemli hedefleri şunlardır (Kossmann vd.1999a):

1. Metanojenler tarafından üretilen metabolitlerin (gaz) giderimi,
2. Bakteriyel popülasyon (aşı) ve taze substratın karışması (aşılama),
3. Çökmenin ve köpük oluşumunun engellenmesi,
4. Üniform bir bakteriyel popülasyon yoğunluğunun sağlanması,
5. Etkin çürütücü hacmini azaltan ölü bölge oluşumunun önlenmesi.

Karıştırmanın avantajları ise şu şekilde sıralanabilir (Anonymous 1999):

1. Metanogenisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak.
2. Bakteri popülasyonu ile taze atığın birbirine karışımı sağlanarak reaksiyonu hızlandırma,
3. Fermantasyon esnasında atığın üst yüzeyindeki köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partükülerin fermentörün (reaktörün) taban kısmına çökmesini engeller,
4. Fermenterlerdeki atığın sıcaklık dağılımını eşitleme,

2.5.8 Alkalinite ve uçucu asitler

Havasız sistemlerde, alkalinite ile uçucu asit derişimleri arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Alkalinite, havasız sistemlerde, sistemi nötralize etmeye çalışarak bir tamponlama görevi görür. Uçucu asitlerin birikmesi söz konusu olursa pH'da azalma oluşur. Yani havasız sistemlerde pH dengesinin sağlanabilmesi için alkaliniteye gereksinim vardır. Ortamda işletme sırasında TUA/Alkalinite oranı 0,1 değerini aşmamalıdır. Ortamın pH'ının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda sistemin alkalinitesinin ek kimyasallar ile artırılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallara örnek olarak Ca(OH)_2 , NaHCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , NH_3 veya NH_4HCO_3 verilebilir (Aktaş 2008).

Uçucuların bileşiminde asetik asit, propionikasit, bütirik asit, vb asitler bulunmaktadır. Uçucu asitler fermenterdeki bulamacın gerçek durumunu belirttikleri için pH'tan daha önemlidir. Ölçümleri kolay değildir (Buğutekin 2007).

Anaerobik sistemlerde uçucu asit derişiminin artması ve ani pH düşüşlerine karşı güvenliği sağlamak için kullanılan parametre, alkalinitedir. Ani pH düşüşlerinden sistemi korumak için, tampon görevi gören alkali metaller (sodyum ve potasyum bikarbonatlar, kireç vs.) kullanılır. 2500 mg/L alkalinite, uçucu yağ asitlerinden dolayı oluşan ani pH düşüşlerine karşı veya pH dalgalanmalarına karşı tampon görevi görerek sistemi korur. Küçük reaktörlerde ise 1000mg/L bikarbonat alkalinitesi de sistemi başarılı olarak korur (Yiğit 2007).

2.5.9 Toksitler

Bakterilerin büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/l amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/l amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken, yüksek

konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir (Öztürk 2005). Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.12 Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları (Öztürk 2005)

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

Sığır gübresinin çürümesinde amonyak toksisitesi yaklaşık olarak 2.5 g/L amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) olarak kaydedilmiştir. Domuz ve kümes hayvanları gübrelerinin çürümesinde ise 4 g/L ($\text{NH}_3\text{-N}$)’den daha fazla değerlerde amonyak toksisitesi kaydedilmiştir (Gül 2006). Anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine amonyak konsantrasyonunun olumlu ve olumsuz etkisi Çizelge 2.13’de gösterilmiştir.

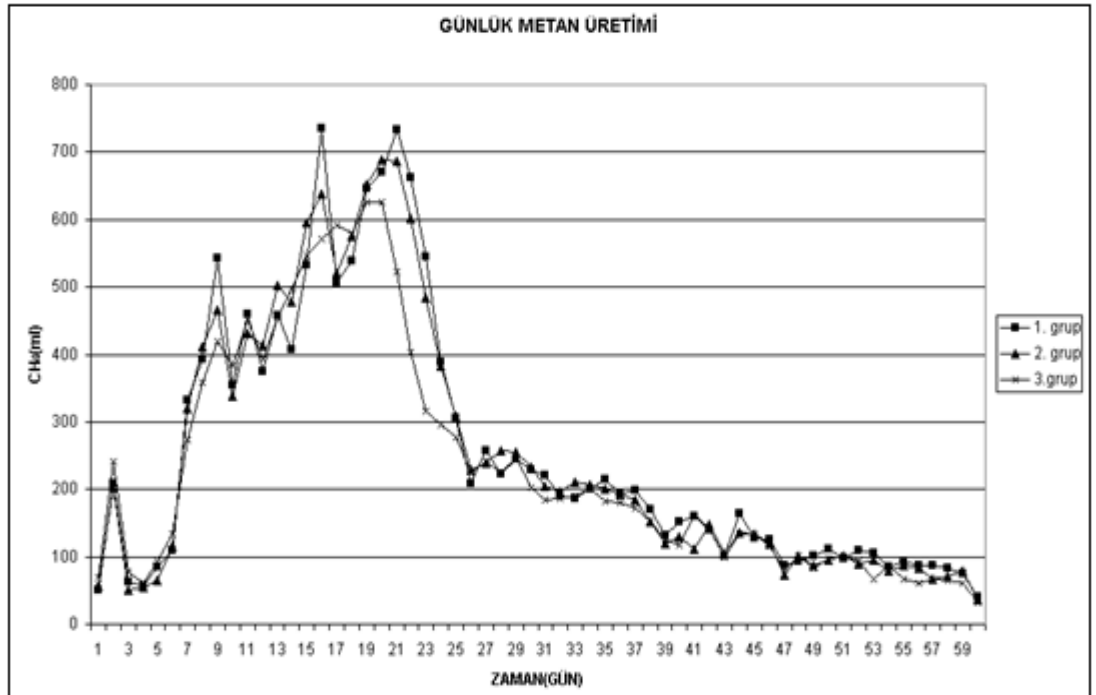
Çizelge 2.13 Amonyakın metan üretimine olan etkisi (Öztürk 2005)

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

2.5.10 Basınç

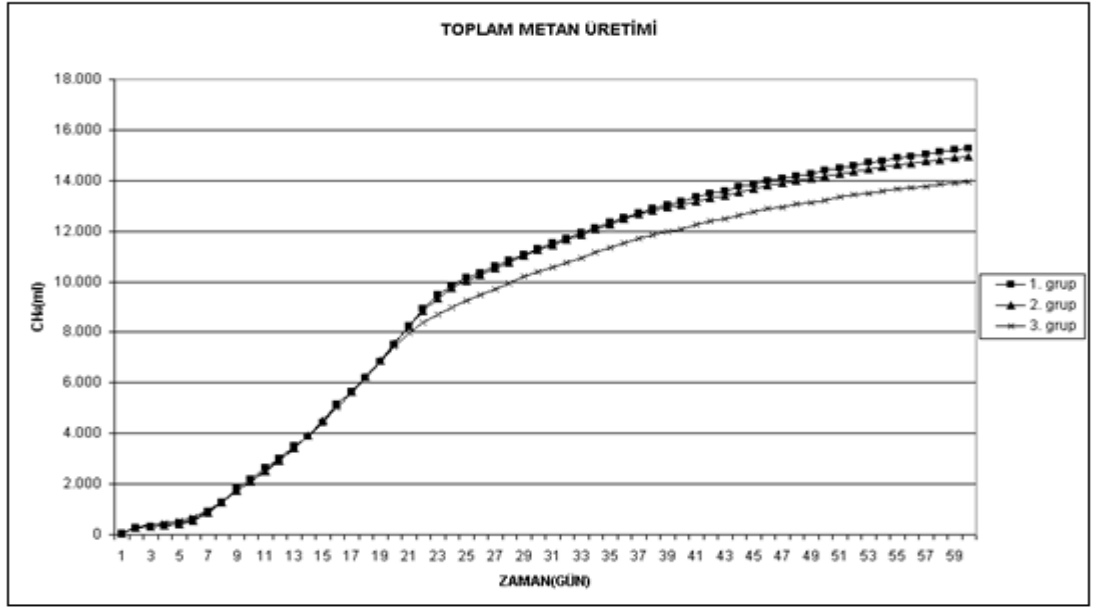
Reaktör içerisinde oluşacak basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz üretim verimine etkisi söz konusudur. Literatürde konuyla ilgili olarak 0,75 – 1,5 kPa mutlak basınç aralığının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağı belirtilmektedir. Fakat özellikle büyük reaktörlerin alt kısmında bulunan metan bakterileri oldukça büyük hidrolik basınç altında faaliyetlerini sürdürmektedir ve bir performans düşüklüğü rapor edilmemiştir (Eryaşar 2007).

Her ne kadar 1,5 kPa basınç değeri biyogaz üretiminde sınır değeri olarak kabul edilse de farklı basınç değerlerinde yapılan üretimlerde metan üretiminde ciddi bir fark olmadığı ortaya konmuştur. Farklı basınç değerlerinde günlük ve toplam üretilen biyogaz değerleri Şekil 2.14 ve Şekil 2.15’de verilmiştir.



1. Grup: $\approx 19,6$ kPa (mutlak) 2. Grup: $\approx 9,8$ kPa (mutlak) 3. Grup: $\approx 1,5$ kPa (mutlak)

Şekil 2.14 Farklı basınç değerlerinde günlük metan üretimi (Eryaşar ve Koçar 2009)



1. Grup: $\approx 19,6$ kPa (mutlak) 2. Grup: $\approx 9,8$ kPa (mutlak) 3. Grup: $\approx 1,5$ kPa (mutlak)

Şekil 2.15 Farklı basınç değerlerinde toplam metan üretimi (Eryaşar ve Koçar 2009)

Grafikler incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen, en düşük sistem basıncına sahip 1,5 kPa üretim değerlerinin, diğer gruplara göre daha düşük seviyede gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, 1,5 kPa mutlak basınç üzerindeki basınçların, metan üretimini zorlaştırdığı şeklindeki literatür bilgisince desteklememektedir. Bu da, 1,5 kPa basınç değerini metan üretiminde sınır değer alan yorumların, bu etkiler göz önüne alınmadan yapıldığını düşündürmektedir (Eryaşar ve Koçar 2009).

2.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

Genel olarak içerisinde karbonhidrat, selüloz, hemiseliloz, yağ veya protein bulunan her türlü biyokütle biyogaz üretimi için kullanılabilir. Önemli olan burada seçilen biyokütleye göre uygun fermantasyon prosesin seçilmesidir (Deublein ve Steinhauser 2008). Biyogaz üretimi için genel olarak kullanılan maddeler şunlardır (Karaosmanoğlu 2004):

- Orman endüstri atıkları,
- Zirai atıklar,

- Deri ve tekstil endüstri atıkları,
- Kâğıt endüstri atıkları,
- Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi),
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstri atıklar,
- Bahçe atıkları,
- Yemek atıkları,
- Hayvan gübreleri büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk vb.,
- Şeker endüstri atıkları,
- Evsel katı atıklar,
- Atık su arıtma tesisi atıkları,

Biyogaz üretiminde kullanılabilen tüm materyallerin biyogaz verimi ve metan oranı farklılık göstermektedir. Kullanılabilecek maddeler ve biyogaz verimleri Çizelge 2.14’de verilmiştir.

Çizelge 2.14 Biyogaz üretiminde kullanılabilecek maddeler ve biyogaz verimleri (Anonim 2011b)

Kaynak	Biyogaz Verimi (Litre/kg)	Metan Oranı (Hac. %’si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

Belediyelere ait atık su arıtımında anaerobik fermentasyonun kullanımı diğer uygulamalara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar toksik maddeler ve ağır metaller içermektedir. Fakat hayvansal atıklar anaerobik fermentasyona daha uygundur (Eryaşar 2007). Biyogaz üretiminde biyogaz verimini doğrudan etkilediğinden kullanılan materyallerin toplam kuru madde miktarı ve uçucu kuru madde miktarlarının bilinmesi önemlidir. Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri Çizelge 2.15’de verilmiştir.

Çizelge 2.15 Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri (Eryaşar 2007)

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

Sığır atığında biyogaz verimi ortalama 0,2 m³/kg-UK iken domuz atığında bu değer yaklaşık 0,3–0,45 m³/kg-UK'dır. Bu fark domuz atığında, toplam katıda yağ oranının % 7–12,3 sığır atığında % 3,5–7,5 civarında olmasından kaynaklanmaktadır (Boyd 2000).

Sığır atığındaki sorun, metanın bir kısmının hayvanın sindirim sistemi içerisinde dönüştürülmesi ve kg atık başına biyogaz eldesinin düşmesidir. Sığır atığı gibi geviş getiren hayvanların atıkları sindirim sistemindeki metan bakterileri tarafından dönüştürülemeyen maddeleri içerir. Bu nedenle biyogaz verimleri görece daha düşük olmaktadır. Geviş getiren hayvanların atığı, tavuk ve domuz atığından farklı olarak kuruduktan sonra su absorblamaya izin vermez ve yüzeyde yüzer. Parçalamak dahi bu duruma engel olmaz. Sığır atığında, hayvanın sindirim sisteminden gelen metan bakterileri bulunduğu için, biyogaz üretiminde doğal aşı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat saman, yaprak, tarımsal atıklar, endüstriyel atıklar fermente olabilmelerine rağmen aşılama yapılmadığında fermantasyonun başlaması aylarca sürebilir. İçerdiği yüksek miktardaki fibre ve bu materyalin fermantasyonunun zor olması, sığır atığının dezavantajıdır (Eryaşar 2007).

2.7 Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Hayvancılık artıklarının değerlendirilmesinde kullanılan biyogaz teknolojisi son 15 yıldan beri özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanım imkânı bulmuştur. Biyogaz üniteleri tarımda çalışan insanların iş ve hayat şartlarının iyileştirilmesinden önemli görevler üstlenmektedir. Bu yönüyle biyogaz üretim üniteleri ekolojik önemi yanında giderek mekanize olan tarım işletmelerine uyum sağlayan modern bir teknolojidir (Alçıçek ve Demiruluş 1994).

Gübre eldesi, patojenlerin giderilmesi, sera gazlarının azaltılması ve toplam oksijen ihtiyacının düşürülmesi gibi oldukça önemli potansiyel ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Anaerobik çürütme sistemlerinin biyogaz üretimine yön veren bir proses olarak değerlendirilmesi, birçok uygulama alanı için yenilenebilir enerji kaynağı

sağlayacağı gibi atık miktarının azaltılmasına ve atık yönetim maliyetinin düşürülmesine de önemli katkılarda bulunacaktır (Entürk vd. 2006).

Genel olarak biyogazın faydaları şunlardır (Aktaş 2008):

- 1-Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır.
- 2-Atık geri kazanımı sağlar.
- 3-Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder.
- 4-Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.
- 5-Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır.
- 6-Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.

Biyogaz teknolojisi kullanımının çevreye, topluma ve çiftçilere olmak üzere birçok faydaları vardır. Bunlar (Al seadi vd. 2008, Kossmann vd.1999b, c):

- 1-Günümüzde geleneksel tarım ürünlerine olan baskı sürekli artmaktadır. Bununla birlikte birçok çiftçi de geleneksel alışkanlıkları terk etmektedirler ve böylece tarım alanları daha etkin ve verimli kullanılmaktadır. Biyogaz üretimi bu çerçevede çiftçilere ek gelir olması açısından birçok ülke tarafından sübvansiyon edilmektedir. Aynı zamanda biyogaz üretimi aneorobik şartlarda gerçekleştiğinden aerobik bozunmaya nazaran 20 kat daha düşük enerji tüketimi ve hava kirliliği vardır.
- 2-Fermentasyon tesislerinden çıkan atık depolandığında daha az koku, metan ve NO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Azot içeriği iyileştirilmemiş çiftlik gübresi ile kıyaslandığında yüksektir.
- 3-Metan gazı, sera gazlarını etkisi oluşturan gazlardan biridir ve son buz çağından buyana atmosferdeki miktarı 1,7 mLm⁻³ değeri ile iki katına çıkmıştır. Bu değer son yıllarda düzenli olarak artmaktadır. Metanın antropojenik seragazı etkisi % 20 civarındadır. Bunun yaklaşık % 50'si insan kaynaklı olup büyükbaş hayvan

çiftliklerinden kaynaklanmaktadır. % 30'dan fazlası ise pirinç tarlalarından kaynaklanmaktadır. Metanın atmosferde çürümesi çok kısa sürede sadece 8 günde gerçekleşirken CO₂'nin çürümesi 50-200 yıl arasında gerçekleşmektedir.

4-Fotosentez vasıtasıyla güneş enerjisinin yaşayan bir depolaması olan biyokütleden üretilen fosil yakıtlarının aksine sürekli yenilenebilir bir yakıt türüdür. Biyogaz bir ülkenin enerji üretimi dengesini iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda doğal kaynakların ve çevrenin korunmasında önemli bir katkı sağlamaktadır.

5-Sera gazlarının azaltılmasına ve küresel ısınmaya katkısı vardır. Fosil yakıtları olan linyit, kömür, ham petrol ve doğal gazdan kullanımın ardından CO₂ ortaya çıkmakta ve atmosferde birikmektedir. Atmosferdeki CO₂ artışı küresel ısınmaya neden olduğundan sera gazı olarak anılmaktadır. Biyogaz tüketiminde de bir CO₂ meydana gelmektedir. Ancak ana fark, biyogaz karbonu fosil yakıtlarınki ile karşılaştırıldığında bitkilerin fotosentetik aktivitesi ile atmosferden alındığı ortaya çıkmıştır. Biyogazın karbon döngüsü de çok kısa zaman içerisinde (birkaç yıl) gerçekleşmektedir. Ayrıca biyogaz üretiminde aneorobik arıtma ile metan (CH₄)'ın emisyon azaltımı, gübre olarak depolanması ve kullanımı ile de Azot (N₂O)'un salınımı azaltılmaktadır.

6-Fosil yakıtlara olan ithalat bağımlılığını azaltmaktadır.

7-Atıkların azaltılması ve katma değer sağlanmaktadır.

8-Yeni iş alanları yaratılmaktadır

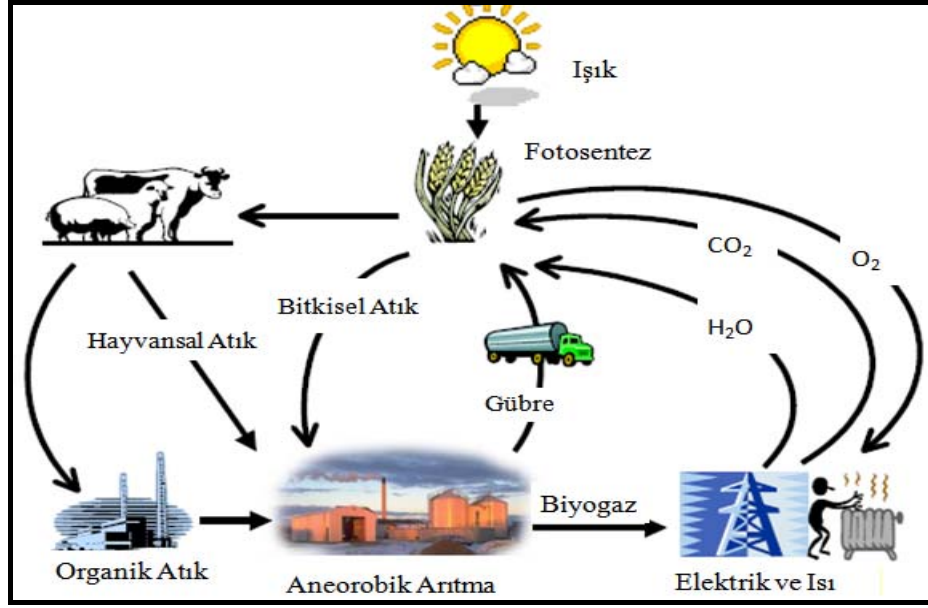
9-Biyogaz pişirme ve ısklandırmada olduğu gibi doğrudan ve günümüzde ısı ve güç kombinasyonu sağlayan kojenerasyon (CHP) sistemi ile ısı, güç veya doğrudan gaz hattına verilebildiği gibi araçlarda yakıt olmak üzere esnek ve verimli kullanım sağlamaktadır.

10-Biyogaz üretim sürecinin diğer biyoyakıt üretim süreçleri ile kıyaslandığında süreç içerisinde düşük su tüketimi yapılmaktadır. Yakın gelecekte suyun dünyadaki öneminin daha da artacağı düşünüldüğünde bu önemli bir avantajdır.

11-Çiftçiler için bir ek gelir sağlamaktadır.

12-Fermantasyon süreci sonunda oluşan atığın mükemmel bir gübre olarak kullanılabilmesi.

13-Biyogaz kullanımı elde edilen metanın enerjide kullanımı, ortaya çıkan karbondioksitin fotosentezde kullanımı ve gübreninde toprağa uygulanması ile Şekil 2.16'da görüldüğü gibi kapalı besin döngüsü sağlamaktadır.



Şekil 2.16 Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi (Anonymous 2011c)

14-Biyogaz üretiminde hayvansal atıklardan, bitkisel atıklara belediye atıklarından atıksu arıtma tesisi atıklarına kadar çok farklı hammadde kullanımında esneklik sağlamaktadır.

15-Üretim süreci sonunda oluşan atık koku ve sineklerden arındırılmış olmaktadır.

Biyogaz üretiminde kullanılan aneorobik sürecin aerobik sürece göre kıyaslandığında bazı avantajları olduğu gibi bazı sınırlamaları da vardır. Bu avantajlar şunlardır (Topper 2011, Sung 2008);

- 1-Havaya gereksinim olmadığı için daha az enerji gereksinimi vardır.
- 2-Metan gazı şeklinde bir enerji üretimi sağlar.
- 3-Daha az çamur üretimi sağlar
- 4-Aerobik sürece nazaran daha az besin gereksinimi vardır.
- 5-Aerobik süreçlerle kıyasla 5-10 kat daha yüksek organik yükleme hızı sağlar.
- 6-Yüksek yükleme hızı küçük reaktör hacimleri ile çalışma olanağı sağlar.
- 7-Kloroform, trikloretilen gibi en zararlı maddeleri bile dönüştürme olanağı sağlar.

Sınırlamaları ise şu şekildedir;

1-Düşük biyokütle sentez hızından dolayı biyokütle konsantrasyonu için daha fazla zamana ihtiyaç vardır.

2-Şok yükleme, zehirli maddeler veya başka bir sebeple sistemde meydana gelebilecek olan bir arızadan dolayı sistemin normal çalışma koşullarına dönmesi uzun zaman alabilir.

3-Aneorobik mikroorganizmaların çalışabilmesi için Fe, Ni veya Co gibi özel besinlere de ihtiyaç duyabilir.

4-Aneorobik mikroorganizmalar özellikle metan bakterileri sıcaklık, pH vb. şartlardan etkilenebilir.

5-Sülfat varlığı hem metan üretimini etkileyebileceği gibi hem de metan bakterilerinin yaşam koşullarını da etkileyebilmektedir.

Aneorobik çürütme, kompostlama veya düzenli depolamaya nazaran emisyon azaltılması daha yüksek olan bir yöntemdir. Düzenli depolama ile karşılaştırıldığında açık kompostlama daha fazla su ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Tüm biyolojik proseslerde belirli oranlarda sera gazı salınımı vardır. Bunlar metan, karbondioksit, amonyak, nitrat ve hidrojen sülfür. Bu teknolojilerin tamamında metan emisyonlarının yüksek olacağı belirtilmektedir. Bunun yanında aneorobik teknolojiler değerlendirildiğinde temel olarak sera gazları salınımı açısından yakma ve kompostlamadan daha yüksek performansa sahiptir. Ancak açık kompostlama yakma ve kapalı kompostlamadan daha yüksek performansa sahiptir (Rapport vd. 2008). Aneorobik arıtma ile kompostlama arasındaki farklar Çizelge 2.16’da verilmiştir.

Çizelge 2.16 Aneorobik arıtma ile kompostlama arasındaki farklar(Anonymous 2011b)

Özellik	Aneorobik Arıtma	Kompostlama
Alan Gereksinimi	% 50	%100
Koku	%20	%100
Tavuk Atığı (Et)	50-90	60-80
Enerji Dengesi	Enerji fazlası	Enerji talebi
Biyogaz Üretimi	100-150m ₃ /Mg	Yok

2.8 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler

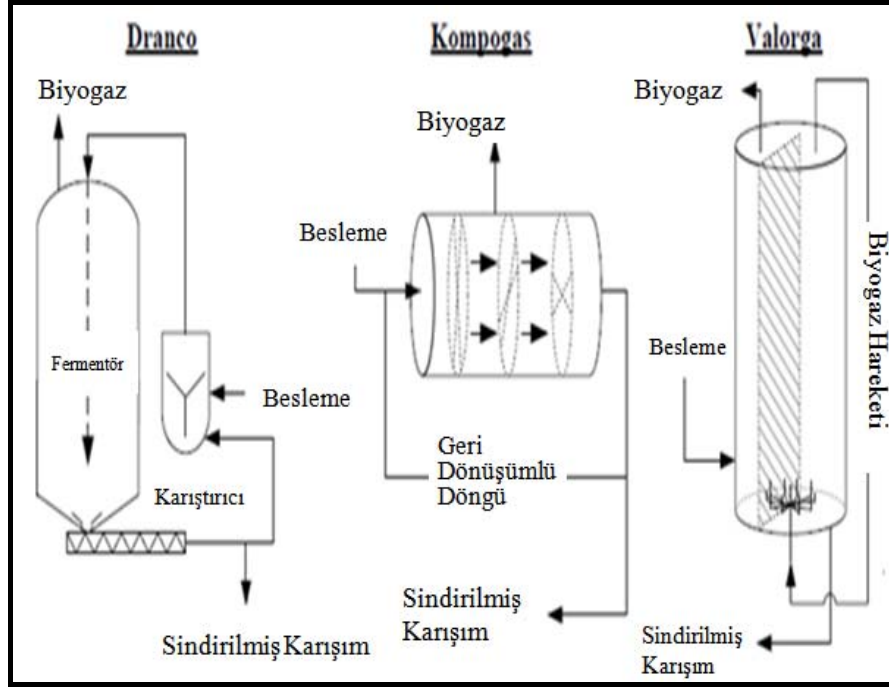
Biyogaz üretiminde kullanılan prosesler üretimde kullanılacak olan atığın katı miktarına göre değişmektedir. Bu prosesler genel olarak kuru ve yaş olarak adlandırılmaktadır. Kuru prosesde fermente olacak kütlenin katı atık miktarı % 20-40 arasındadır. Daha az suya gereksinim olurken daha yüksek gaz üretimi vardır. Yaş proseste ise fermente olacak kütlenin katı atık miktarı % 15'den azdır. Bu değeri sağlamak için sisteme daha fazla su ilavesi gerekir (Onurbaş Avcıoğlu vd. 2011).

2.8.1 Kuru proses

Kuru sistemlerin taşıma ekipmanları özellikle pompalar ıslak sisteme nazaran pahalı olsalar da kaya, cam, metal, plastik ve ahşap gibi atıklara karşı esnektirler. Bu atıklar biyolojik olarak parçalanamaz ve biyogaz üretimine katkı sunmazlar ancak biyokütlenin yapısını bozmadan reaktörden geçebilirler. Bu sistemde yapılması gereken yalnızca 5cm²'den büyük parçaların ayrılması ve katı içeriğin istenilen oranda tutmak için çok az bir miktar suyla seyretme yapılmasıdır (Rapport vd. 2008).

Katı atıkların yeterli derecede karışmalarını sağlamak için kuru proseste üç farklı tasarım geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi olan, Dranco prosesinde karıştırma fermante olmuş atıkların reaktörün altından alınarak taze atığın (6 birim çürümüş atık için 1 birim taze atık) reaktörün tepesine pompalanmasıyla sağlanır. Yani karışma atıkların sirkülasyonu ile meydana gelir. Bu basit tasarım %20 – 40 katı atık içeren atıkların arıtılmasında etkilidir. İkincisi olan Kompogas prosesi de benzer şekilde çalışır, yalnız silindirik reaktör yatay olarak yerleştirilmiştir. Ve akış o doğrultuda verilir. Yatay akışa reaktörün içine yerleştirilmiş yavaş dönen tekerlekler yardım eder. Bu sistemde atığın katı miktarı yaklaşık % 23 olmalıdır. Daha düşük değerlerde kum ve cam gibi ağır partiküller yüzebilir ve reaktörün içinde birikir; daha yüksek değerler ise yüksek akış direncine sahip olur. Üçüncüsü olan Valorga sistemi biraz daha farklıdır, bu sistemde yatay akış silindirik bir reaktörün içinde daireseldir ve karıştırma 15 dakikada bir reaktörün dibinden yüksek basınçta biyogaz enjeksiyonu ile sağlanır (Akpınar 2006,

Rapport vd.2008). Kuru sisteme göre tasarlanmış farklı reaktör tasarımları Şekil 2.17’de görülmektedir.



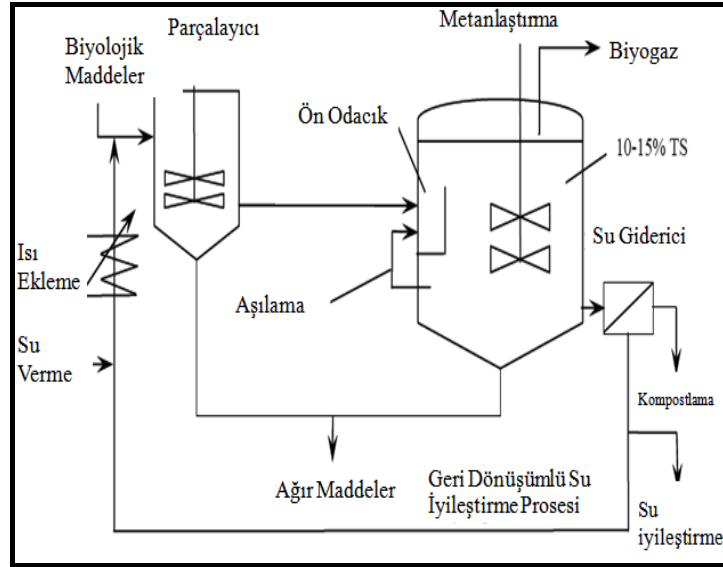
Şekil 2.17 Kuru sistemdeki farklı reaktör tasarımları (Worrell ve Vesilind 2011)

2.8.2 Yaş proses

Bu sistem Avrupa’da farklı birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Çalışma sistemindeki katı atık miktarının azlığı nedeniyle atık su tesisleri için cazip gelmektedir. Yaş sistemlerde klasik olarak tam karıştırılmalı reaktör kullanılabilir. Yaş sistemlerde eklenen suyun sonucu olarak çok sulandırılmış çürümüş çamur oluşur, bu çamurun bertarafı için susuzlaştırılması gerekir. Susuzlaştırmadan gelen sıvı akımın da arıtılması gereklidir, bu durum sıvı sistemlerin en büyük dezavantajıdır. Prosesin basit görünüşüne karşı başarılı bir performans için birçok teknik gerekliliğin hesaba katılması ve çözülmesi gerekir. Ön arıtma prosesi atıkların çamurda yeterli kıvamda (yoğunlukta) ve kaba iri taneli, ağır kirleticilerden yoksun olmalarını sağlamak açısından önemlidir. Ön arıtma prosesi elekler, tamburlar, ezme makineleri, presler, kırıcılar ve yüzdürme ünitelerinden oluşan komplike bir tesistir. Çamur haline getirilmiş atıklar ağır maddeler ve yüzen hafif maddeler nedeniyle

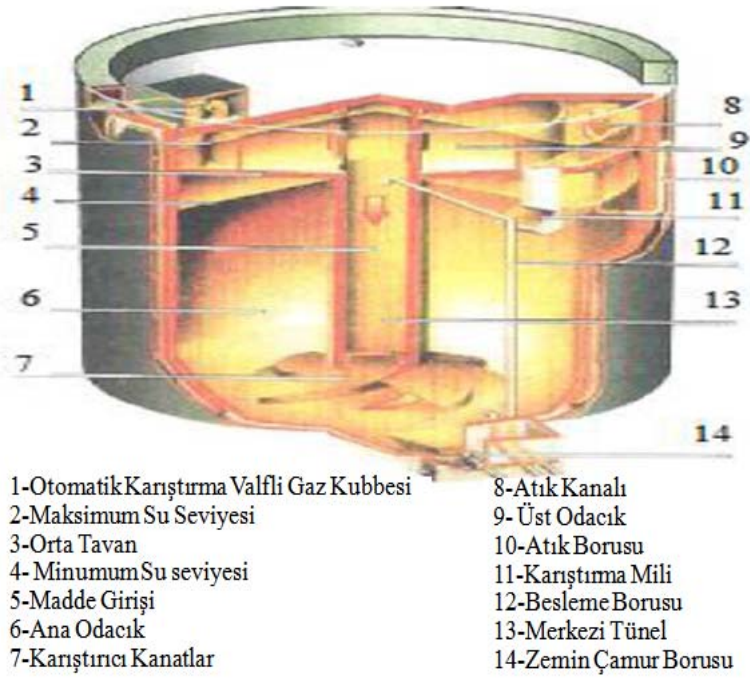
homojen bir yoğunlukta değildir. Dibe çöken ağır maddelerin ve yüzen hafif maddelerin periyodik olarak reaktörden dışarı alınması gerekir. Tam karıştırmalı reaktörün bir başka teknik dezavantajı ise kısa çevrimin olmasıdır. Reaktörün kısa çevrim yapması biyogaz dönüşümünü azaltmasının yanı sıra atıkların hijyenini de etkiler, örneğin patojen mikroorganizmaların ölmesi için minimum bir kalma zamanı gerekmektedir. (Akpınar 2006, Rapport vd. 2008).

Genellikle Waasa ve BIMA bu sistemle tasarlanmış reaktörlerdir. Waasa sistemi yaş prosesle çalışan ve 1989'da geliştirilmiş ve Finlandiyada kullanılmaya başlandıktan sonra ünlülmüştür (Rapport vd. 2008). Yaş sistemle çalışan Waasa reaktörün çalışma prosesi Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18 Yaş sistemdeki Waasa reaktör çalışma prosesi (Rapport vd. 2008)

Yaş sistemle tasarlanmış bir diğer reaktör tasarımı ise BIMA'dır. Tarımsal, endüstriyel ve belediye atıkları için Avusturya'da tasarlanmıştır. Bu sistemde Şekil 2.19'da görülen reaktör içindeki iki oda arasındaki basınç farkı ortadan kalkmıştır (Rapport vd. 2008).



Şekil 2.19 Yaş sistemde tasarlanmış BIMA reaktör tasarımı

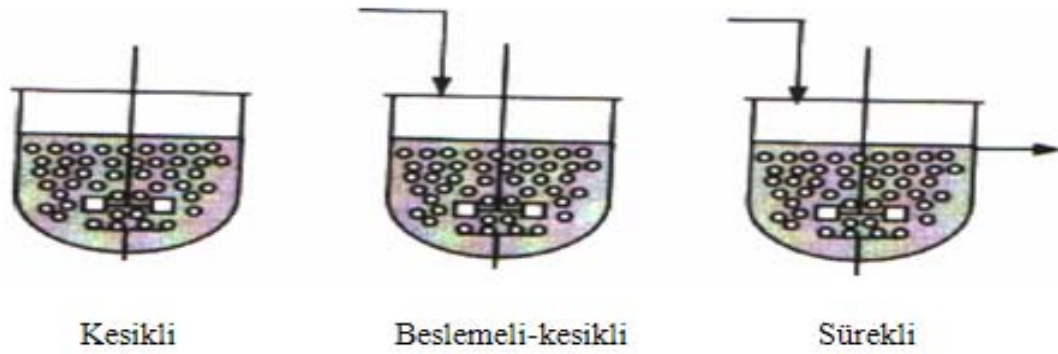
2.9 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermentasyon Şekilleri

Biyogaz üretim sistemlerinde 3 farklı fermentasyon şekli kullanılmaktadır (Anonim 2011c):

1-Kesikli (Batch) Fermentasyon: Tesisin fermantörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma - bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermantörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır

2-Beslemeli-Kesikli (Yarı Kesikli) Fermantasyon: Burada fermantör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermantör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3-Sürekli Fermantasyon: Bu fermantasyon biçiminde fermantörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alıkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır. Biyogaz üretim sitemlerinde kullanılan fermentasyon şekilleri Şekil 2.20’de görülmektedir.



Şekil 2.20 Fermentasyon şekilleri (Onurbaş Avcıoğlu 2010)

2.10 Biyogaz Üretim Tesisleri

Biyogaz üretim tesisleri genel olarak 5’e ayrılmaktadır (Al Seadi vd. 2008):

1-Tarımsal biyogaz tesisleri:

- a-Aile tipi biyogaz tesisleri (Çok küçük ölçekli),
- b-Çiftlik tipi biyogaz tesisleri (Küçük ölçekli),
- c-Merkezi biyogaz tesisleri (Orta ölçekli),

2-Atık su arıtma tesisleri,

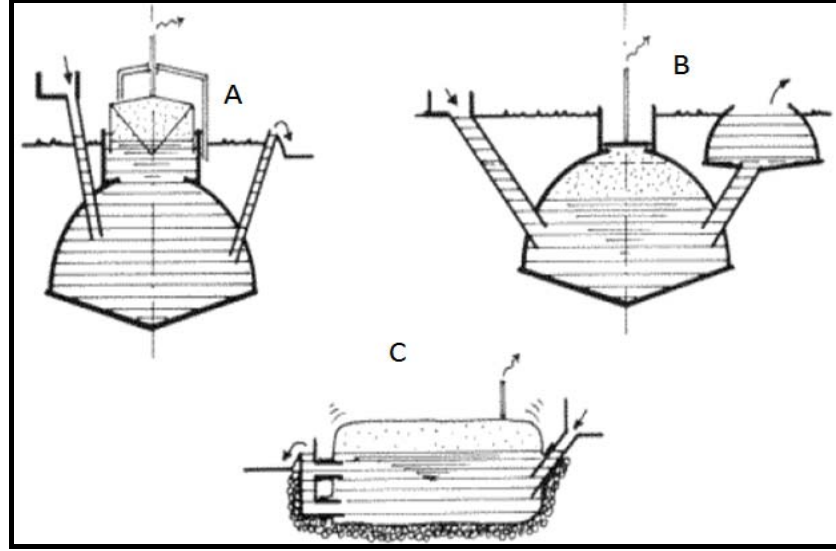
3-Belediye katı atık arıtma tesisleri,

4-Endüstriyel biyogaz tesisleri,

5-Çöp gazı geri kazanım tesisleri.

2.10.1 Aile tipi biyogaz tesisleri

Aile tipi biyogaz tesisleri genel olarak Hint tipi, Çin tipi ve Tayvan-Çin tipi olarak üçe ayrılmaktadır (Kossmann vd.1999d). Aile tipi biyogaz tesisleri Şekil 2.21’de görülmektedir.



Şekil 2.21 Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü (Kossmann vd.1999d)

A.Hint Tipi, B.Çin Tipi, C. Tayvan-Çin tipi

1. Çin tipi reaktörler bir çürütücü (fermantasyon tankı) ve onun üzerinde hareketli olmayan bir gaz tutucudan ibarettir. Gaz üretimi başladığında bulamaç tankın dengeleme bölümünden alınır. Tankın dengeleme bölümündeki bulamaç ile çürütücüdeki bulamaç arasında mesafe artarsa ve depolanmış gazın hacmiyle gaz basıncı artar. Hareketli parçası olmadığından ve paslanmaz çelikten imal edildiğinden yatırım maliyeti düşüktür. Kaliteli imalat yapıldığında ömürleri uzundur. Yer altı inşaatı hem alandan kazandırır hemde sıcaklık değişimlerine karşı koruma sağlar. Tuğladan yapılmış gaz tutucularında meydana gelebilen gaz sıkışması en sık rastlanılan problemdir. Tuğlalardaki ufak bir çatlak ciddi gaz kayıplarına yol açabilir (Kossmann vd.1999d). Çin tipi tesisin şematik görünümü ve imalat ölçüleri Şekil 2.22’de verilmiştir.

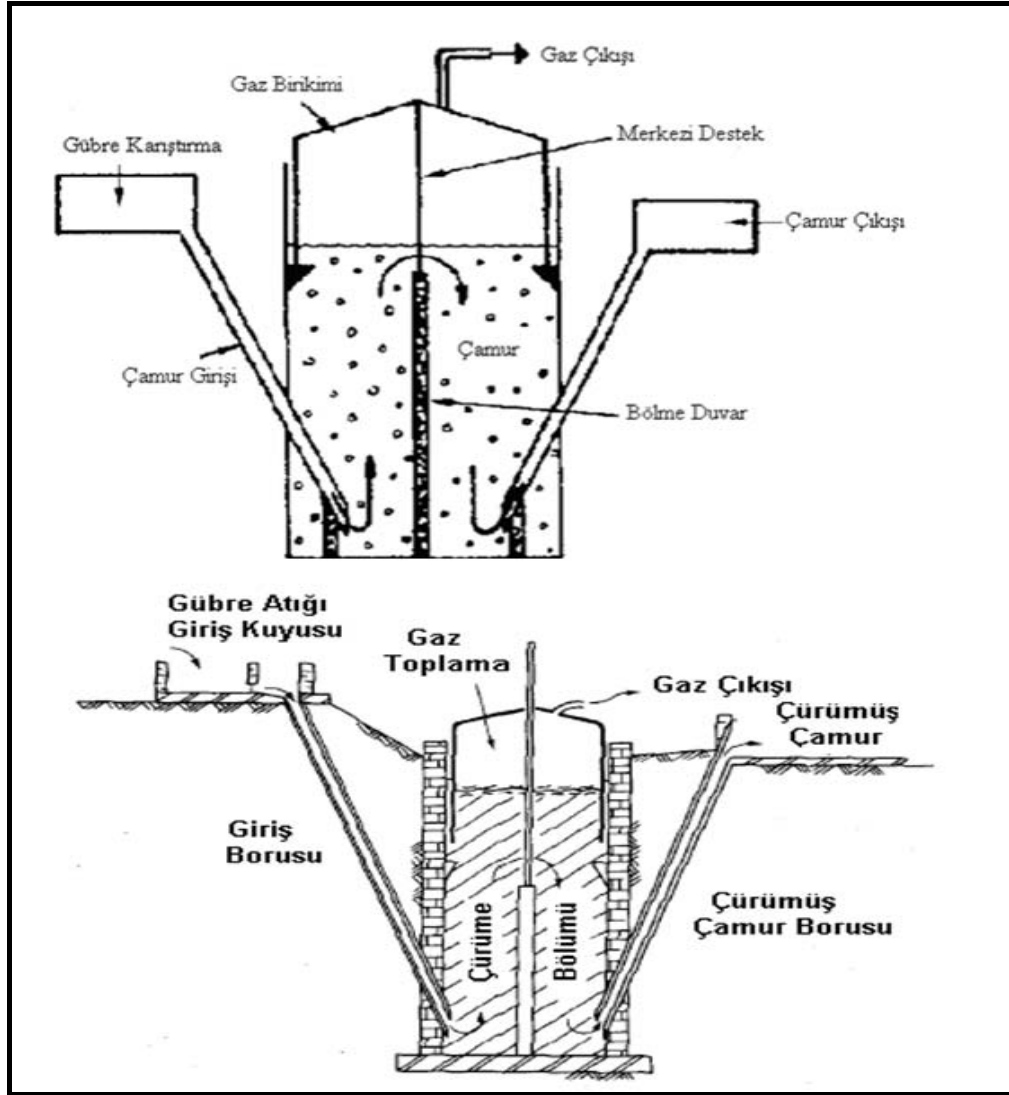
tutum geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tesislerde sığır ve domuzlardaki atığın bekletme süresi 35 ve 40 gün kadardır. Toplam katı madde oranı ise sığırlarda %5-8, domuzlarda ise %4-7 arasındadır. Gaz üretimi ortam sıcaklığına bağlı olmak üzere 0,15-0,6 m³/gün arasındadır (Marchaim 1992).

2. Hint tipi reaktör Şekil 2.23'te görüldüğü gibi yer altındaki bir çürütücü ve hareketli bir gaz tutucudan ibarettir. Gaz tutucu ya doğrudan bulamaç üzerinde yüzer yada kendisine ait bir su ceketini oluşturur. Gaz, depolanan gazın miktarına göre yukarı ve aşağı hareket eden bir gaz tamburunda toplanır. Şayet gaz tamburu bir su ceketinde yüzerse yüksek katı madde içerikli karışımlarda bile takılma olmaz. Uygulanması basit ve anlaşılabilir olan bu tesiste depolanan gaz görülebilir durumdadır. Gaz basıncı sabit olup gaz tutucunun ağırlığıyla belirlenir. İnşaatı yapılan hatalar gaz veriminde ve uygulamada büyük problemlere yol açmaz. Bunun yanında korozyona karşı duyarlı olması nedeniyle yumuşak çelik tamburun maliyeti yüksektir. Bundan dolayı çin tipi tesislerden daha kısa ömürlüdür ve bakım maliyetleri daha fazladır (Kossmann vd.1999d).

1937 yılında Hindistan'da geliştirilen bu tasarım Khadi and Village Industries Commission (KVIC) adlı kuruluş tarafından 1962'de Bombay'da uygulanmaya başlanmıştır. Yaygın olarak 6 ve 8 m³ kapasiteli olanları kullanılmaktadır. Sıcak iklimlerde bulamaçın bekleme süresi 30-40 gün iken, 20°C-30°C arasındaki sıcaklıklarda 40-50 gün ve 5°C'nin altındaki sıcaklıklarda ve özellikle 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda 50-80 gün kadardır. Genel olarak besleme maddesi sığır gübresi olmasına rağmen tarımsal atıklarda kullanılabilir. Sığır gübresi yaklaşık % 20 katı içerdiğinden beslemeden önce %10'a kadar su ile seyreltilmelidir (Marchaim 1992).

Bu tesislerde gaz üretim kapasitesi yaklaşık 6-8 m³ olup besleme yarı sürekli olarak yapılmaktadır. Gelen kısmın hacmi giden kısmın hacmine eşittir. Genelde çatılar demir destekli fiber-glas plastiklerden yapılmaktadır. Gaz toplayıcı ağırlığı toplama alanında 90 kg/m² basınç verecek şekilde dizayn edilmelidir. Gaz depolama bölümü basıncı 4-8 cmSS arasında değişir. Bu basınç gazın ev aletlerine girmesini sağlaması için yeterlidir. Ham demir inşaat maliyetinin % 40-50'ni oluştururken demir destekli fiber

glas plastikler %5-10'unu oluşturmaktadır. Sulandırılmış gübrenin reaktöre giriş kısmı çıkıştan daha yüksek olmalıdır. Böylece çürütülmüş çamur üzerine hidrostatik basınç oluşumu sağlanmış olur. Reaktör iki bölüme ayrılarak taze gübre ile sindirilmiş gübrenin kısa devre yapması önlenir. Reaktör ortamında akışkanlık sağlanır. Çürümüş çamur yükselerek diğer bölüme geçer (Öztürk 2005).

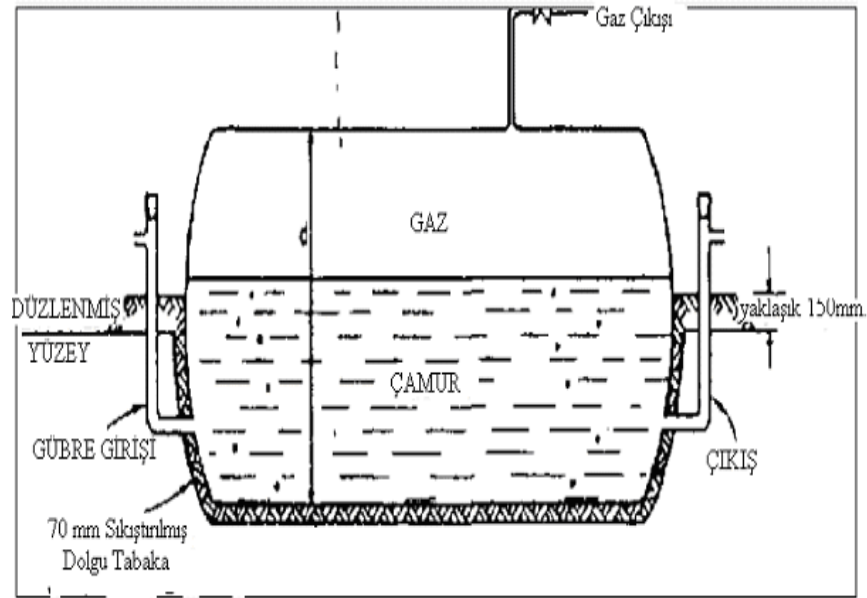


Şekil 2.23 Hint tipi tesisin şematik görünümü (Öztürk 2005)

3. Tayvan-Çin tipi reaktörler PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı:3:14) olan silindirlere dir. Bu tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır. Hayvan ahırına yakın yere kolayca inşa

edilebilir ve yere belli derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Besleme girişi, reaktörde yaklaşık 40 cmSS basıncını muhafaza edecek şekilde düzenlenir. Bu tür reaktörler, biyogazın ayrı olarak depolandığı, piston akımlı bir reaktör (karıştırmasız) gibi hareket eder. Kolay inşa edildiğinden dolayı Çin’de torba tipi reaktörlerin birim m³ bedeli 25 ila 30 dolardır. Dolayısıyla torba tipi reaktörler çok rekabet edebilir durumdadır. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin’de bu reaktörler hızlı şekilde gelişmeye başladı. Kore, Tayvan ve Fiji’de yaygın kullanılan reaktörlerden biridir.

Domuz atıkları için bu tür reaktörlerde bekleme süresi sıcak iklim bölgeleri için 20 gün (30 ila 35°C), soğuk iklim bölgelerinde ise (15-20°C) 60 gündür. Reaktör duvarı ince olduğundan havaya doğru olan açık kısmı, güneş ışığı ile kolayca ısınabilir. Böylece bekleme süresi kısaltılabilir. Dolayısıyla gaz üretimi %50-300 artırılabilir (0.24-0.6 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün). Yazın Kore’de gaz üretim hızı, 0.7 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün iken, kışın bu değer 0.14 gaz hacmi/reaktör hacmi/gün’e düşmektedir (Öztürk 2005). Tayvan-Çin tipi reaktörün şematik görünümü Şekil 2.24’te verilmiştir.



Şekil 2.24 Tayvan-Çin tipi reaktörün şematik görünümü (Öztürk 2005)

2.10.2 Çiftlik tipi biyogaz tesisleri

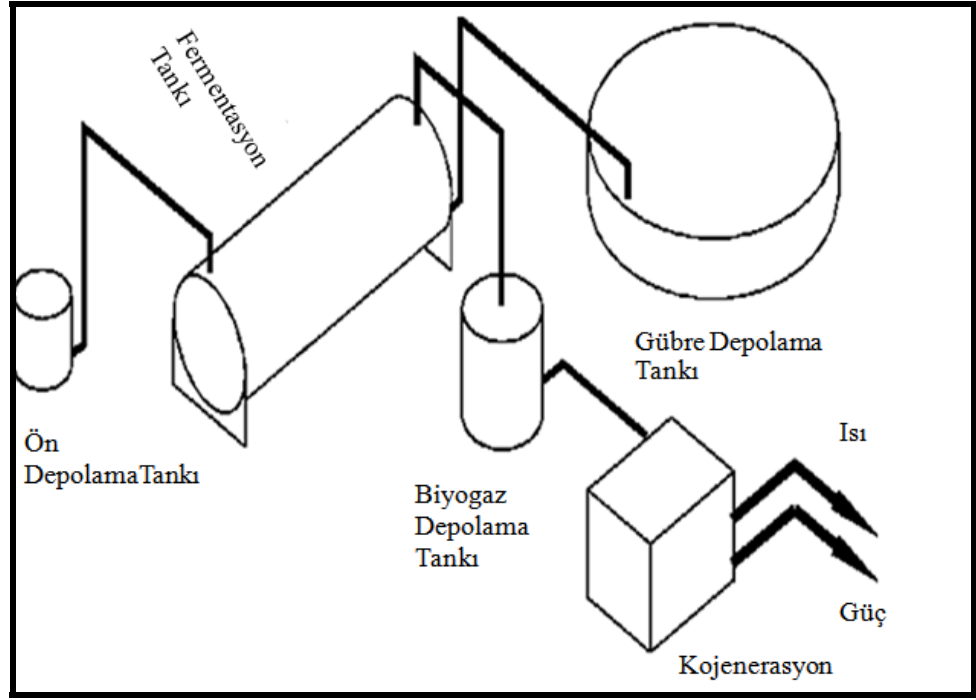
Bir iftlikte üretilen hammaddelerin bu tesiste kullanılmasından dolayı bu Şekilde isimlendirilmektedir. Bu Şekilde retim yapan bir çok tesis tesisin metan verimini artırmak için balık, sebze ve yağ endüstrisi atıklarını da kullanmaktadır. Bu tarz kurulan tesisler komŐu bir veya birkaç çiftlikten de hayvansal atığını bir boru hattıyla alabilmekte ve kullanabilmektedir. Dünyada ve özellikle Almanya, Avusturya ve Danimarka gibi birçok Avrupa ülkesinde bu tesisleri görmek mümkündür. Günümüzde birçok Avrupalı ifti yatırımcı biyogaz ve değerli gübre çıktısından dolayı değil aynı zamanda yeni iş alanları yarattığı içinde bu tesislere yatırım yapmaktadırlar. Çiftlik tipi biyogaz tesisleri farklı Őekillerde, tasarımlarda ve ölçülerde inşa edilebilmektedir (El Seadi vd. 2008). Şekil 2.25’de mısır silajı kaynaklı bir biyogaz tesisi verilmiştir.



Şekil 2.25 Ökbit firması tarafından işletilmekte olan mısır silajı kaynaklı çiftlik tipi bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld

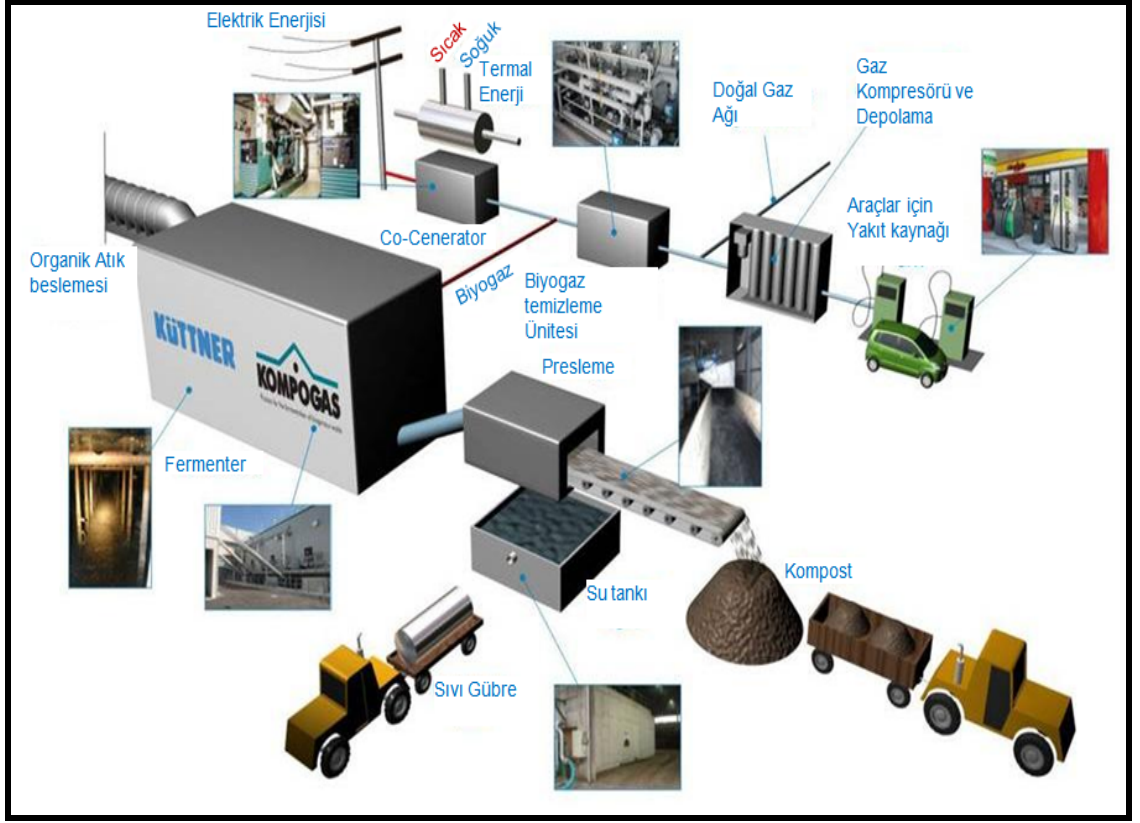
Çiftlik tipi biyogaz tesislerinin tasarımında yaygın bir prensip vardır. Hayvansal atık n depolama tankına alınır, kapalı bir fermentasyon tankı vardır ve buraya bir pompa vasıtasıyla atık gelir, bu fermentasyon tankı sıcaklığı korumak için elik veya betondan yapılmış gaz sızdırmaz bir yapıdır. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin fermentasyon

tankları Şekil 2.26’da görüldüğü üzere yatay inşa edildiği gibi dikey olarak da inşa edilebilmektedir. Bu tesislerde hidrolik bekletme süresi atığın çeşidine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmekle beraber ortalama 20-40 gün arasındadır. Üretilen gaz elektrik ve ısı üretmek amacıyla kullanılır. Üretilen ısı ve elektiriğin yaklaşık %10-30 kadarı çiftliğin kendi ihtiyaçları için kullanılmakta arta kalan miktar ise satılabilmektedir (Al Seadi vd. 2008).



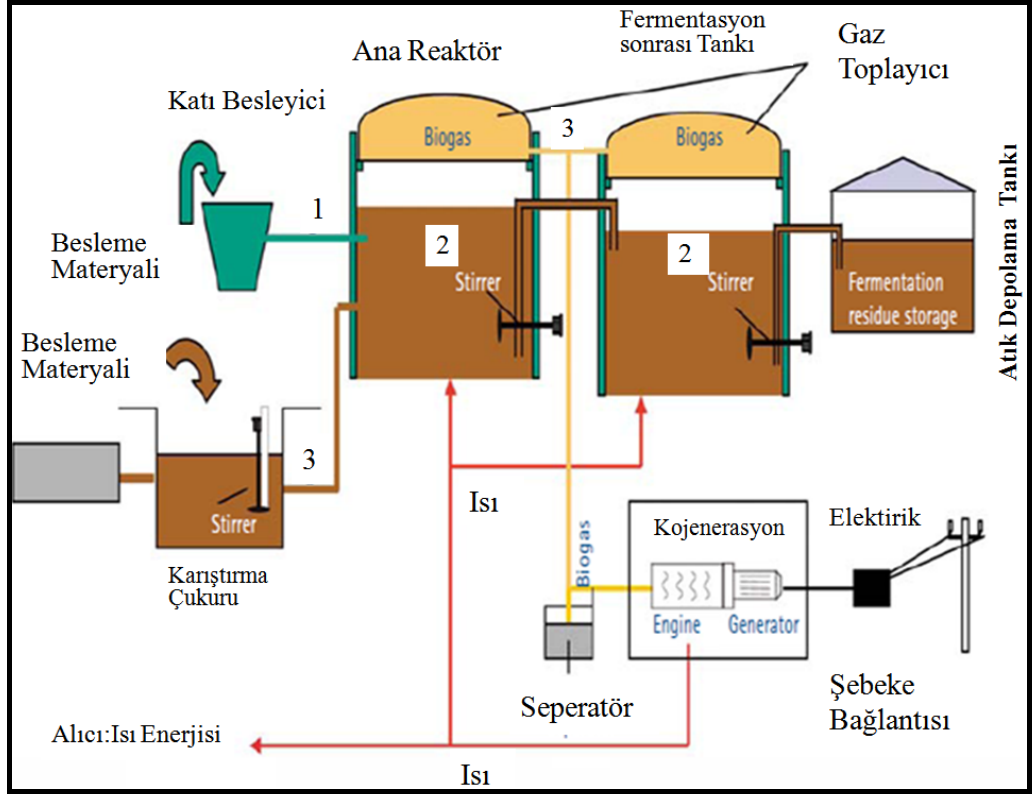
Şekil 2.26 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü (Al Seadi vd. 2008)

Çiftlik tipi bir biyogaz tesisi temel olarak atık ve gaz tankları, reaktör, kojenerasyon ünitesi ve güç dağıtım ünitelerinden oluşmaktadır. Çiftlik tipi bir biyogaz üretim tesisinin oluşturan ekipmanlar Şekil 2.27’de verilmiştir (Heck 2011).



Şekil 2.27 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisini oluşturan parçaların şematik görünümü

Çiftlik tipi biyogaz tesislerinde Şekil 2.28’de görüldüğü üzere fermantasyon süreci analitik olarak kontrol edilebilmektedir (Wiese ve König 2011).



Şekil 2.28 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinde analitik kontrol paneli

(1.Kimyasal analiz: N, KOİ, NH₂, Ağır Metaller 2.Fermentasyon tankı analizi: NH₄, organik asitler, KOİ, asit kapasitesi, 3.Çevrimiçi süreç analizi: pH, sıcaklık, redoks)

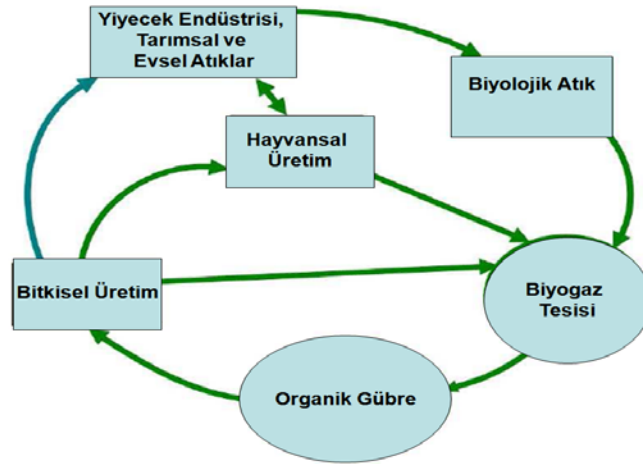
2.10.3 Merkezi biyogaz tesisleri

Bir çok çiftliklerden gelen hayvansal ve bitkisel atıklar merkezi bir toplama alanında toplanır. Bu tesisler bu toplama alanına kurulmaktadır. Bu tesisler biyokütle ve gaz transferinde tesis maliyetlerini, işgücünü ve zaman kayıplarını azaltmayı hedeflemektedirler. Merkezi biyogaz tesislerinde sindirilebilir tarımsal atıklar, gıda ve balık endüstrisi atıkları, ayrı toplanan organik evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları kullanılabilir. Bu tesisler hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı dünyanın bir çok yerinde ve özellikle Danimarka'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Danimarka'daki bir merkezi bir biyogaz tesisi Şekil 2.29'da görülmektedir.

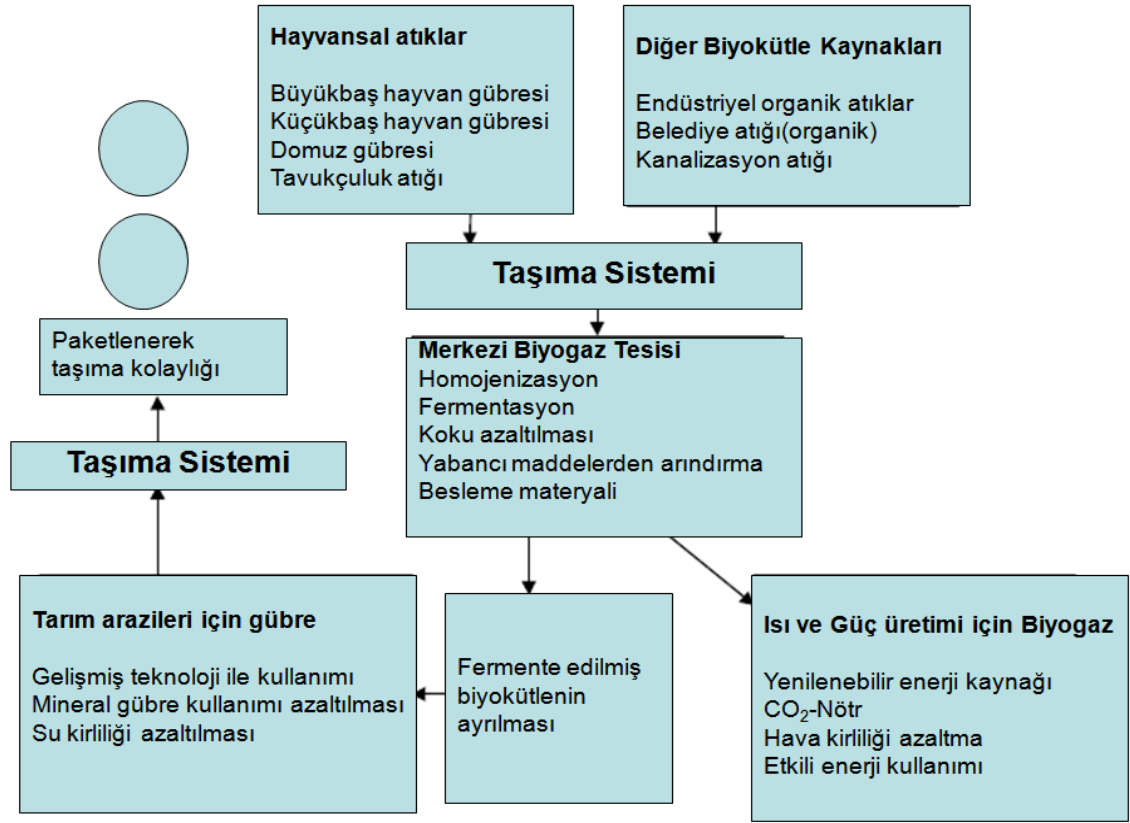


Şekil 2.29 Danimarka’da inşa edilmiş merkezi bir biyogaz tesisi (Gregersen 1999)

Belirli bir kurulum planına göre hayvansal ve diğer atıklar ön depolama tankından veya kanallar ve özel depolama kamyonları ile toplanan atıklar homojenize edilerek fermentasyon tankına gönderilmektedir. Bu sistemde çiftçilerden biyogaz tesisine gönderilen hayvansal atıkların yerinde depolanması ve transferi tesisin sorumluluğundadır. Biyogaz tesisinden elde edilen gübrenin çiftçiye ulaştırılması da tesisin sorumluluğudur. Çiftçi depolama alanları bazen birkaç çiftçi tarafından ortak kullanılabilir. Mezofilik ve termofilik sürece bağlı olmak koşuluyla bu sistemde hidrolik bekletme süresi yaklaşık 12-25 gün arasında değişmektedir. Besleme sistemi sürekli ve biyokütle karışımı içeriye pompa ile alınır. Fermentasyon tankından da dışarıya eşit miktarlarda yine pompa ile alınmaktadır (El Seadi vd. 2008). Merkezileştirilmiş bir biyogaz tesisinin çalışma döngüsü ve prensibi Şekil 2.30 ve Şekil 2.31’de görülmektedir.



Şekil 2.30 Merkezi bir biyogaz tesisinin çalışma döngüsü(El Seadi vd. 2008)



Şekil 2.31 Merkezi bir biyogaz tesisinin çalışma prensibi (El Seadi vd. 2008)

Merkezi atık toplama sistemi ve biyogaz tesisi çiftçiler arasında kurulan kooperatifler aracılığıyla da yapılabilmektedir. Kooperatifler aracılığıyla kurulmuş merkezi biyogaz tesisleri Şekil 2.32 ve Şekil 2.33’de verilmiştir.



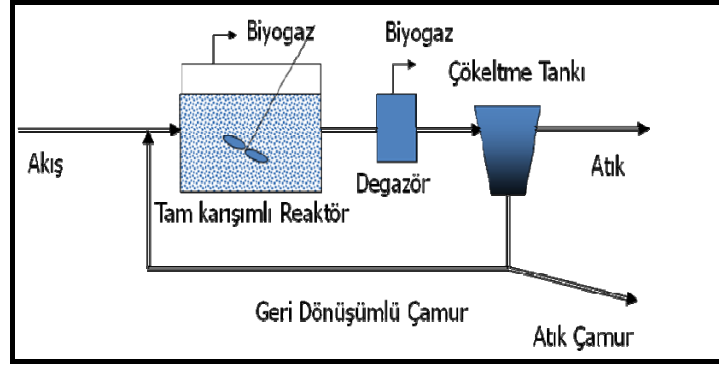
Şekil 2.32 51 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi (Ulusoy 2007)



Şekil 2.33 60 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi(Ulusoy 2007)

2.10.4 Atık su arıtma tesisleri

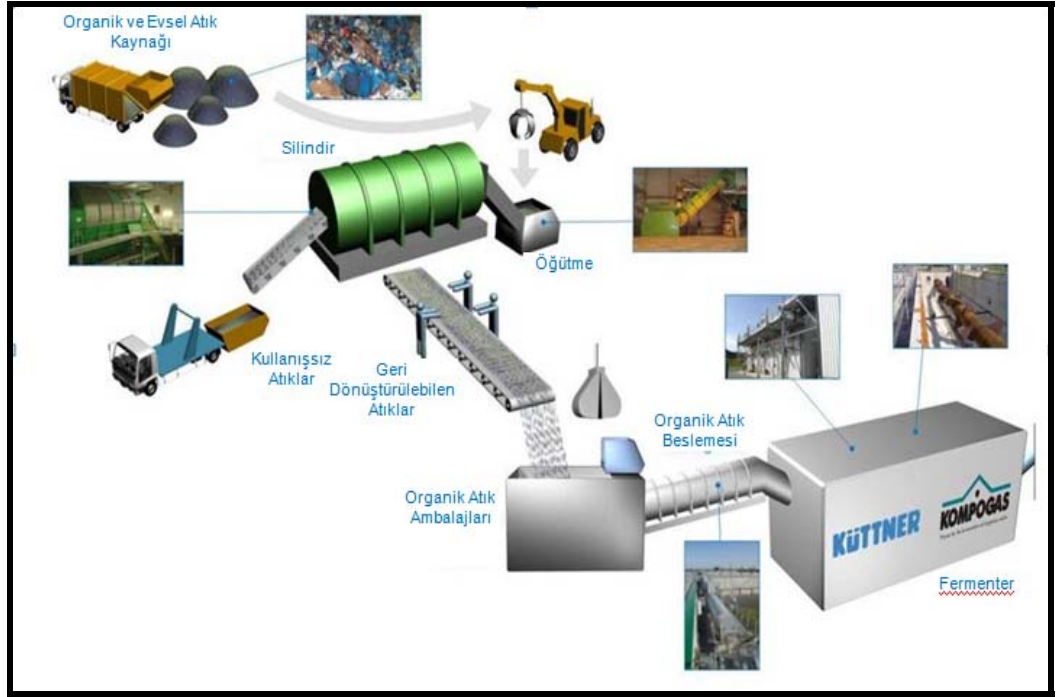
Birincil ve ikincil olarak atık su arıtma tesislerinde aneorobik fermantasyon kullanılmakta ve biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu sistem işlem dengelemesi ve nihai atık miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. Avrupa'daki arıtma çamurunun yaklaşık %30-70 kadarı bu aneorobik fermantasyon ile iyileştirilmektedir. Arıtma çamuru tarımsal alanlarda kullanılabildiği gibi yakma ile de enerji üretiminde kullanılabilmektedir (El Seadi vd. 2008). Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü Şekil 2.34'de verilmiştir. Bu sistemde bulunan elemanlardan degazör, biyogaz baloncuklarının yukarıya doğru hareketini sağlamaktadır. Aksi takdirde bir miktar biyogaz baloncukları çamura sıkışmış olarak kalmaktadır (Topper 2011).



Şekil 2.34 Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü (Topper 2011)

2.10.5 Belediye katı atık arıtma tesisleri

Dünyada bir çok ülkede evsel katı atık ya toplama alanlarında bertaraf edilmekte yada güç tesislerinde yakılmaktadır. Pratikte bu evsel atıkların büyük bir kısmı aneorobik fermantasyonda kullanılabileceği için ciddi bir enerji kaybıdır. Hatta bu atıklar toplu olarak bile biyogaz üretiminde kullanılabilmektedir. Son yıllarda atıkların kaynağında ayırma ve geri dönüşüme olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Organik orjinli atıklar için en uygun iyileştirme yöntemidir. Mutfak atıkları çok ıslak ve aerobik ayrıştırma için uygun bir yapıdan yoksundur. Ancak aneorobik fermantasyon için zengin bir hammadde kaynağıdır. Kaynak kullanımı açısından evsel atıklar dünyada biyogaz üretiminde en yaygın olarak kullanılan atık türüdür. Burada ana amaç organik atıkları depolama alanlarında bertarafını veya yakma ile bertarafını azaltarak geri dönüşüme yönlendirmektir. Evsel atıklar için tasarlanmış bir biyogaz tesisi Şekil 2.35’de görülmektedir.



Şekil 2.35 Brezilya’da evsel katı atıklar için tasarlanmış bir biyogaz tesisi (Heck 2011)

2.10.6 Endüstriyel biyogaz tesisleri

Atık suların iyileştirilmesinde ve endüstriyel atıklarda bir yüzyıldan fazla kullanılmakta olan aneorobik proses bugün gıda işlemeden tarıma dayalı sanayiye hatta ilaç endüstrisine kadar geniş bir alanda kullanılan standart bir teknolojidir. Ayrıca aneorobik proses nihai bertaraftan önce organik yüklü atık sular içinde kullanılmaktadır. Teknolojideki son gelişmelerden dolayı seyreltilmiş atık sularda da aneorobik proses kullanılabilir. Avrupa bu konumuyla dünyada lider durumdadır. Endüstriyel bir biyogaz tesisi Şekil 2.36’da görülmektedir. Son yıllardaki enerji ile ilgili hususlar ve çevresel kaygılar organik endüstriyel atıkların aneorobik prosesle iyileştirilmesi ve organik katı atık yönetimini doğrudan ilgilendirmekte bu süreç çevresel yasalarla da kontrol edilmektedir. Atıksu arıtmada aneorobik prosesin uygulandığı endüstri alanları şunlardır;

Gıda endüstrisi; sebze konserve, süt, peynir, kesimhane ve patates işleme endüstrisi vb.

İçecek endüstrisi; bira, meşrubat, alkollü içki, kahve, meyve suları vb.

Sanayi ürünleri; kağıt ve karton, kauçuk, kimyasal maddeler, nişasta ve ilaç sanayi vb.



Şekil 2.36 Endüstriyel bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld

2.10.7 Çöp gazı geri kazanım tesisleri

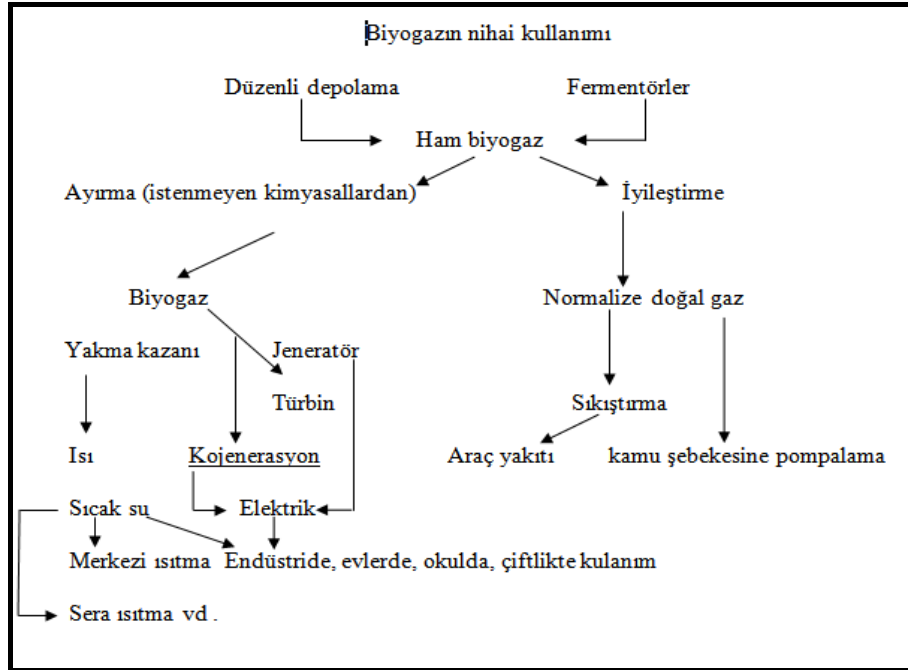
Çöp depolama alanları yaşına bağlı olmakla beraber sürekli olmayan bir süreçle üretim gerçekleştirilebilen farklı yapısıyla çok büyük aneorobik tesis olarak bilinirler. Çöp depolama gazının biyogaza benzer bir yapısı vardır. Ancak atık maddelerin ayrıştırılması sonucu ortaya çıkabilen zehirli gazlar da içerebilir. Çöplük gazı geri kazanımı, çevre koruma metan ve diğer gaz emisyonlarının azaltılması için tek şart olmasının yanında aynı zamanda gelirleriyle çok hızlı bir istikrarla fayda sağlayan ucuz enerji kaynağıdır. Çöp gazı düzenli depolama alanlarına uzaklıklarından dolayı elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Ancak boru hattı ve araçlar için depolama üniteleriyle de doğrudan gaz olarakta kullanılabilir. Çöp gazı iyileştirilmesi bir biyoreaktör çöpgazı iyileştirme ve organik parçaların yeniden döngüsü olarak atığı parçalama gibi optimize edilebilmektedir. Bir çöp gazı geri kazanım tesisi Şekil 2.37’de verilmiştir.



Şekil 2.37 Yeni Zelenda’da inşa edilmiş bir çöp gazı geri kazanım tesisi (Anonymous 2011d).

2.11 Biyogaz Kullanım Alanları

Biyogaz ham olarak üretildikten sonra belirli işlemlerden geçirilerek evsel, endüstriyel, tarımsal ve araçlarda kullanmak mümkündür (El Seadi vd.2008). Şekil 2.38’de biyogazın bu kullanım süreci verilmiştir.



Şekil 2.38 Biyogazın genel kullanım alanları (El Seadi vd. 2008)

2.11.1 Araçlarda yakıt olarak kullanımı

İyileştirilmemiş biyogazın motorlu araçlarda kullanımı her zaman için uygun değildir. Çünkü içerisindeki metan oranı (%60-70) göreceli olarak düşüktür. Bunun yanında biyogaz içerisinde kirletici olarak bazı gazlar da bulunmaktadır. Bu yüzden biyogazın saflaştırılıp yakıt olarak kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Saflaştırılmış biyogaz doğal gaza olan benzerliğinden dolayı doğal gaz için uygun olan tüm araçlar için uygundur. Her iki yakıtın da metan içeriği % 95'in üzerindedir. Ayrıca, motor, emisyon, sürüş ve sürdürülebilirlik performansı birbirine eşit sayılabilir. İsveç taşımacılık sektöründe biyogaz kullanımı açısından hala lider durumdadır. Yaklaşık 4500 adet biyogaz ile çalışan kentsel otobüs ulaşımda kullanılmaktadır (Rutz ve Canssen 2007).

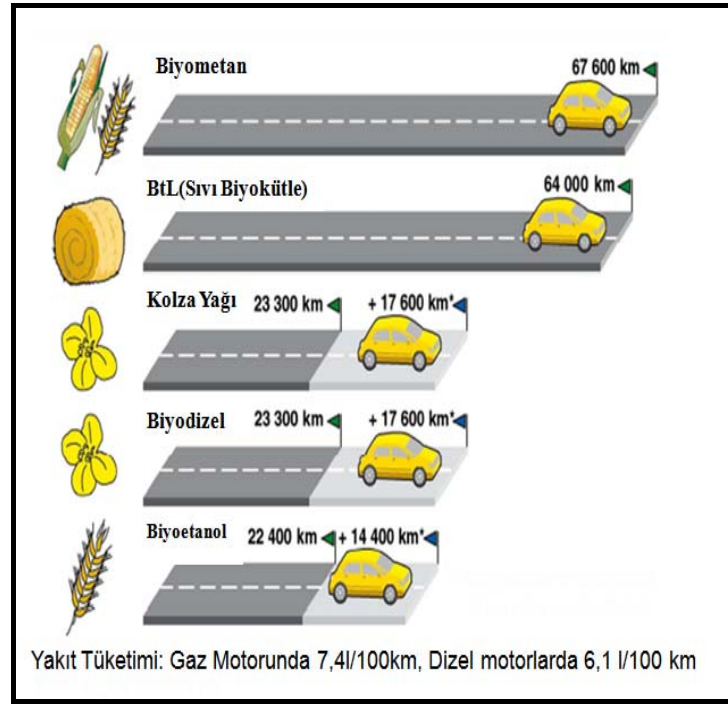


Şekil 2.39 Biyogazın otobüslerde kullanımı Malmö-İsveç (Heck 2011)



Şekil 2.40 Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımı (Heck 2011)

İyileştirilmiş biyogazın (biyometan) araçlardaki kullanımını diğer biyoyakıtlarla karşılaştırıldığında performansının yüksek olduğu görülecektir. Şekil 2.41’de 1 hektar alana ekilen enerji ürünlerinden elde edilen biyoyakıt ile ne kadar mesafe gidilebildiği gösterilmektedir. Burada üzerinde durulması gereken enerji ürünleri yerine atıkların biyogaz üretiminde değerlendirildiğinde bu potansiyel daha yüksektir (Lampinen 2007).



Şekil 2.41 Biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması (Lampinen 2007)

2.11.2 Biyogazın tarımda kullanımı

Biyogaz sabit ve hareketli motorlarda, su pompaları, harman makinası ve öğütücüler gibi hareketli makinalarda veya jeneratörlerde elektrik üretme kaynağı gibi yakıt olarak hem dizel hem de benzinli motorlarda kolaylıkla kullanılabilir. Benzinli motorlarda karbüratörün bir gaz karbüratörü ile değiştirilmesi yeterli olacaktır. Küçük zamanlama ayarları dışında sistemde başka bir değişikliğe gerek olmamaktadır. Dizel motorlarda ise biyogaz miktarı değiştirilir veya küçük miktarlarda katılarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Normalde yapılacak olan modifikasyonlar basittir. Motor daima saf dizel yakıtla çalışmaya başlamalı ve biyogaz miktarı yavaş yavaş

artırılmalıdır. Gaz miktarı %80'e kadar çıkarılabilmektedir. Şayet gaz kaynağı kesilirse %100 dizel yakıtla çalışmaya devam edilebilir. % 20 dizel +% 80 biyogaz ile elde edilen verim %100 dizelle elde edilen verimden fazla olmaktadır (Marchaim 1992).

2.11.3 Biyogazın endüstriyel kullanımı

Biyogazın endüstriyel kullanımı ısı ve güç kombinasyonu (kojenerasyon), mikro-türbin ve yakıt pilleri olmak üzere 3 farklı kullanımı vardır (El Seadi vd. 2008).

1. Kojenerasyon ile biyogazın kullanımı; enerji üretiminde çok etkili olduğu düşünülen ve gelişmiş biyogaz sektörü olan pek çok ülkede standart bir kullanımdır. % 90 verimle çalışan kojenerasyonlu bir güç tesisinde yaklaşık %35 elektrik üretimi gerçekleşirken %65'de ısı üretimi gerçekleşmektedir. En yaygın kullanılan kojenerasyon tipi, bir jeneratör ile çiftleştirilen tüketim motorlarından oluşan blok tip ısı güç tesisleri (BTTP) dir. Jeneratörler şebeke ile uyumlu olması için 1500 devir/dakika ile çalıştırılmaktadır.

Jeneratörlerde kullanılan motorlar Gaz-Otto, Gaz-Dizel ve Gaz-Pilot Enjeksiyon motorlar olabilmektedir. BTTP'lere alternatif olarak mikro gaz türbinleri, stirling motorlar, yakıt hücreleri son yıllarda geliştirilmiş teknolojilerdir. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı Şekil 2.42'de verilmiştir.

Biyogaz tesislerinde en önemli konu üretilen ısınnın kullanımıdır. Isı daima biyogaz tesislerinin bir parçasıdır ve yaklaşık olarak üretilen tüm enerjinin 2/3'ü dış ihtiyaçlar için kullanılabilir. İlk jenerasyon olan biyogaz tesisleri ısı enerjisinin kullanımı dikkate alınmadan sadece elektrik üretimi için kurulmuşlardır. Bu günlerde ısınnın kullanımı biyogaz tesis ekonomisinin önemli bir parçasıdır. Yeni tasarlanan biyogaz tesisleri tek başına elektrik üretimi için tasarlanmamalı ve mutlaka ısı kullanımını da içermelidir. Çünkü tek başına elektrik üretimi sürdürülebilir olmamaktadır.



Şekil 2.42 Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı (Anonymous 2011e)

Gaz-Otto motorları, otto prensibine göre biyogaz kullanımı için geliştirilmiştir. Motorlar karbonmonoksit emisyonlarını minimize etmek için fazla hava ile çalıştırılmaktadır. Bu düşük gaz tüketimi sağladığı gibi motor performansını düşürür. Ancak bir egzoz turbo şarj ile bu durum telafi edilir. Gaz-Otto motorlarında kullanılacak biyogazın metan içeriği % 45 olmalıdır. Yüksek elektrik verimi istendiğinde dizele uyarlanarak kullanılmalıdır. Gaz-Otto Motor Şekil 2.43’de verilmiştir.

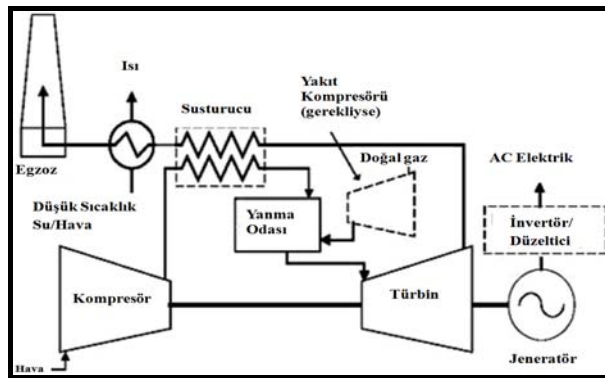


Şekil 2.43 Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor

Pilot enjeksiyon motorlar, pilot enjeksiyon doğal gaz motoru, PING veya Çift hücreli motor olarak isimlendirilen dizel prensibine göre çalışan motorlardır. Biyogaz hava ile karıştırılarak yakılır. Bu karışım yakıt enjekte edilerek yanma odasına bir enjeksiyon sistemi vasıtasıyla geçer. Genellikle % 10 enjeksiyon yakıt enjekte edilerek yakılır. Bu motorlar yüksek hava ile işletilmektedir. Biyogaz kaynağı kesintiye uğradığında yağ veya mazot ile hiç problem olmadan kullanılabilir. Fosil yakıtlar veya biyodizel ilk ateşleme için kullanılabilir. Yenilenebilir ateşleme yağının avantajı daha az sülfür ve karbon monoksit emisyonu salınımıdır. Şayet biyoyakıt kullanılacakca yüksek filtre edilmiş ve düşük vizkositeli olmalıdır. Biyoyakıtın bir diğer dezavantajı ise azot oksit salınımıdır.

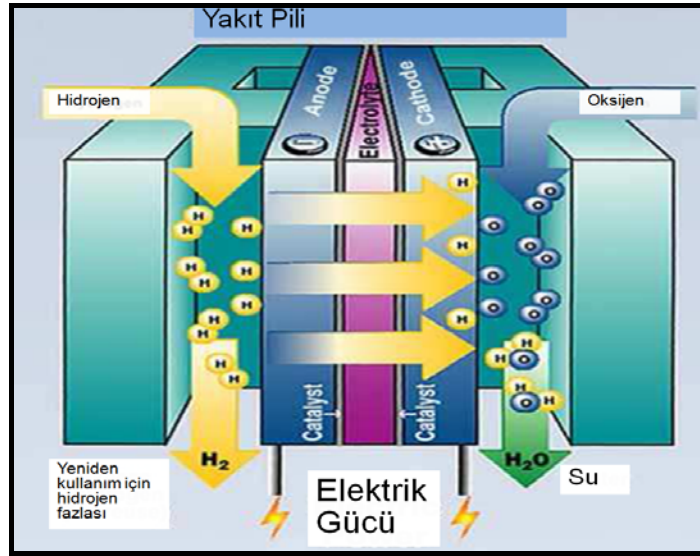
Stirling Motorlar, hacim değişiklikleri ile gazdaki ısı değişimi prensibine dayanan içten yanmalı olmadan çalışan motorlardır. Motor pistonları harici bir enerji kaynağından bir ısı enjeksiyonu ile meydana gelen bir gaz genişlemesi ile taşınır. Gerekli ısı biyogazda çalışabilen bir gaz yakıcı ile sağlanabilir. Stirling motorları biyogazda kullanabilmek için bazı teknik uyarlamalar gereklidir. Dış yanma dolayısıyla daha düşük metan içerikli biyogazda kullanılabilir.

2. Biyogaz mikro-türbinleri; hava biyogaz ile karıştırılıp yanma odasına preslenir. Hava-gaz karışımı sıcaklık artışı ile yanar ve gaz karışımı genişler. Sıcak gazlar bir türbin vasıtasıyla elektrik jeneratörüne bağlanır. Biyogaz mikro-türbinlerin maliyeti yüksektir ancak maliyeti düşürmek için araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürmektedir. Bir biyogaz mikro-türbinin yapısı Şekil 2.44’de verilmiştir.



Şekil 2. 44 Biyogaz mikro-türbin yapısı (El Seadi vd. 2008)

3. Yakıt pilleri; kimyasal enerjiyi doğrudan bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt pilinin temel fiziksel yapısı Şekil 2.45’de görüldüğü üzere bir elektrolit tabakası ve her iki yanında bulunan gözenekli bir anot ve bir katot tabakadan oluşmaktadır. Bir yakıt pilinde anot (negatif elektrot) ve katot (pozitif elektrot) sürekli biyogaz ile beslenir. Elektrokimyasal olay elektrotlarda gerçekleşerek elektrik üretimi gerçekleşir.



Şekil 2.45 Yakıt pili (El Seadi vd. 2008)

Biyogaz için kullanılan elektrolit tipine göre isimlendirilen birçok yakıt pili vardır. Bunlar düşük (AFC, PEM), orta (PAFC) ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri (MCFC, SOFC) dir. Yakıt pili seçimi ısı ve kullanılan gaz yakıtına bağlıdır.

PEM- The Polymer-Electrolyte-Membrane, çalışma sıcaklığı 80°C’dir ve bir ısı/sıcak su hattı ile doğrudan beslenebilir. Elektrolit tipi karbondioksit içeren gaz yakıtlarına hassas olduğundan gaz temizliği çok önemlidir.

PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell, dünya çapında doğal gazda yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yakıt pilleri ile kıyaslandığında elektrik verimi düşüktür ama karbon monoksit ve karbon dioksit karşı daha az hassastır.

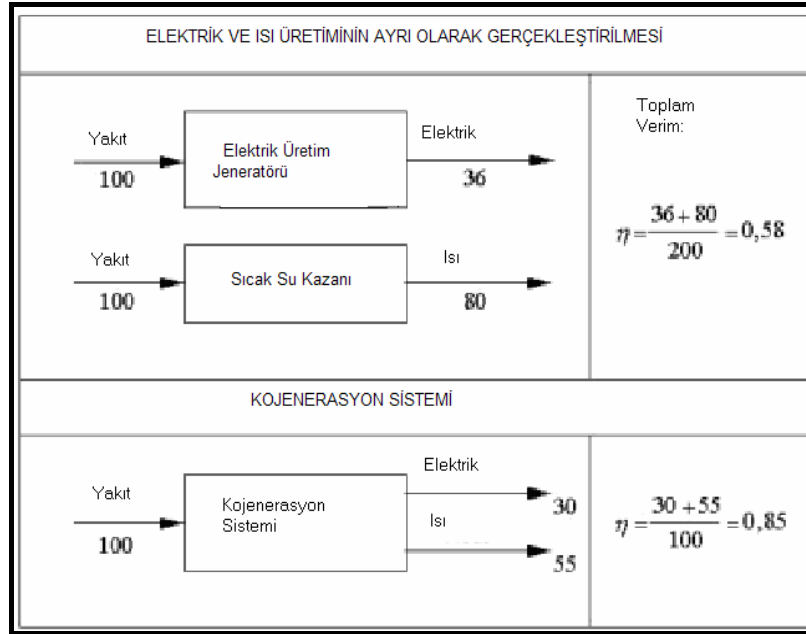
MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell, elektrolit olarak sıvı karbon kullanır. Karbondioksit karşı hassas olmamakla beraber % 40 karbondioksit içeriğine kadar tolere edilebilmektedir. 600-700°C sıcaklığında çalışmaktadır. Şekil 2.46'da Almanya'da işletilmekte olan dünyanın ilk biyogaz için yakıt pili olan MCFC görülmektedir.

SOFC - Solid Oxide Fuel Cell, 750-1000°C sıcaklığında çalışmakta ve elektrik verimi yüksektir. Hidrojen ve metan aynı pilde yer alabilmektedir. Kükürte karşı duyarlılığın düşük olduğu durumlarda kullanılır.



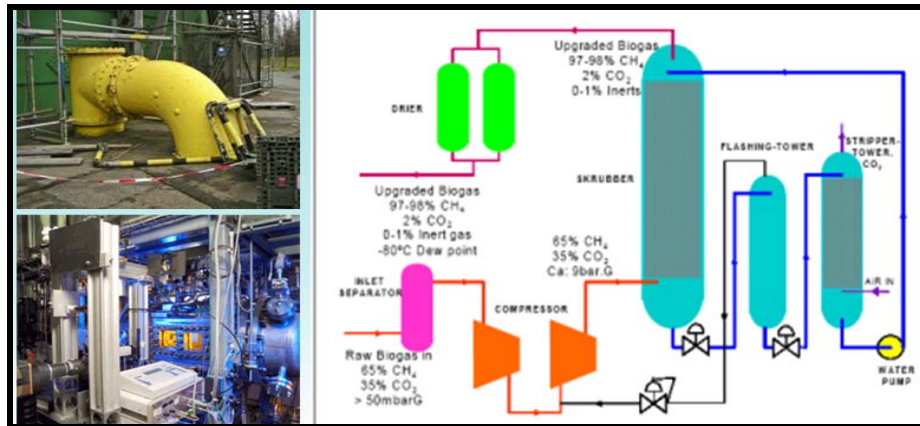
Şekil 2.46 Almanya'da işletilmekte olan biyogaz için yakıt pili (Anonymous 2011f)

Biyogazla çalışan elektrik jeneratörlerinde, kullanılan yakıtın enerjisinin yaklaşık % 75'i atık ısı olarak kaybedilmektedir. Bu atık ısının da kullanıldığı modern kojenerasyon sistemlerinde, toplam sistem verimi yaklaşık % 85-90 olarak gerçekleşmektedir. Elektrik çevrim veriminin % 36 gibi yüksek, yakma veriminin % 80 alındığı ayrı sistemlerle karşılaştırıldığında, elektrik çevrim verimi % 30, ısı çevrim verimi % 55 olan kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi, % 58'den % 85'e çıkmaktadır (Eryaşar 2007). Bu verim artışının şematik gösterimi Şekil 2.47'de verilmiştir.



Şekil 2.47 Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması (Eryaşar 2007)

Üretilen biyogazın kullanılmadığı durumlarda, depolama yetersiz kaldığı zaman, fazla biyogazın yakılarak atılması gerekmektedir. Bunun için büyük tesislerde özel biyogaz yakıcıları kullanılmaktadır. Kullanım fazlalığından oluşan kayıplar % 40 civarındadır. Bu yüzden biyogazın arıtılarak doğal gaz hattına verilmesi daha verimli olmaktadır (Şekil 2.48). Biyogazın, arıtılarak doğalgaz boru hattına verilmeden önce, kokulandırılması, H₂S oranının 2,7 ppm'in, su buharının 0,1 mgr'ın altına düşürülmesi gerekmektedir (Eryaşar 2007).



Şekil 2.48 Biyogazın saflaştırılarak doğal gaz hattına verilmesi(Heck 2011)

2.11.4 Biyogazın evsel kullanımı

Biyogaz Şekil 2.49’da görüldüğü üzere ısıtma, ışıklandırma ve pişirmede kullanılmaktadır. Butan ve propan gibi düşük basınçlarda kullanılabilir. Sobalarda kullanımında ise özel tasarımlı sobalar gerekmektedir. Çin’de kullanılan evsel sobalarda ısı verimi % 59-62, Hindistanda kullanılan evsel sobalarda ise verim % 60 civarındadır. Aydınlatma bir gaz montu veya elektrik üreterek yapılabilir. Pişirme için günlük ortalama 0,34-0,41 m³ biyogaz harcanırken aydınlatma için yaklaşık 0,15 m³ biyogaz harcanmaktadır. Sonuç olarak Altı kişilik tipik bir ailenin günlük ortalama biyogaz ihtiyacı 2,9 m³’tür (Marchaim 1992).

Biyogazla çalışan lambaların verimi % 3’dür. 60 watt gücündeki biyogaz lambaları, yaklaşık 0,11-0,15 m³/h yakıt tüketmektedir. Bu yüzden biyogazın yakılarak aydınlatmada kullanılması verimsizdir. 1 m³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisiyle 60 watt gücündeki lambalardan 25 adeti 1 saat çalıştırılabilirken, yakılması durumunda aynı güçte 7 adet gaz lambası ancak çalıştırılabilir (Eryaşar 2007).

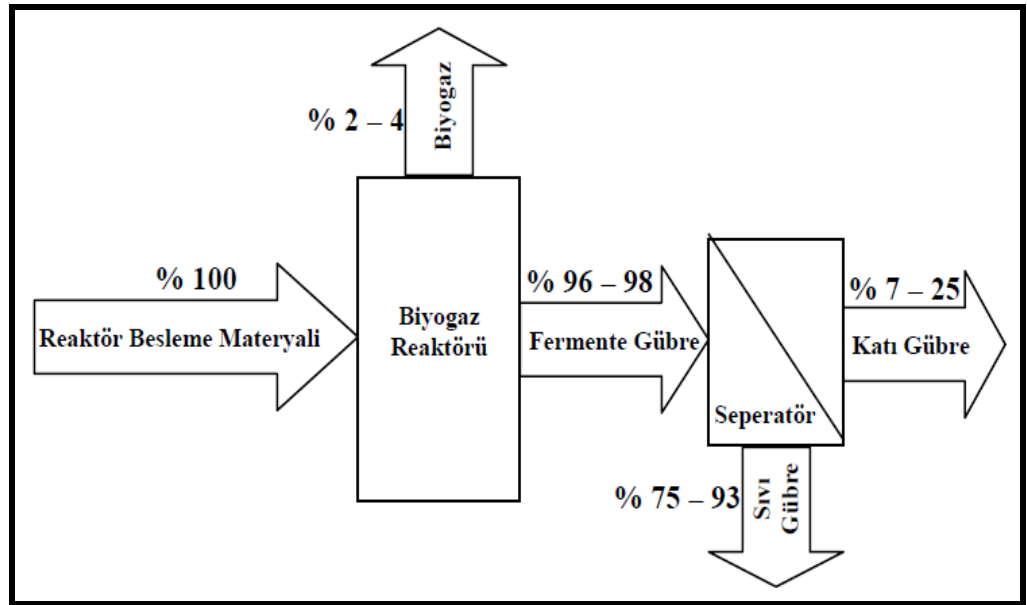


Şekil 2.49 Biyogazın evsel kullanım araçları (Onurbaş Avcıoğlu vd. 2011)

2.11.5 Fermente gübre kullanımı

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermentasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel üstünlüğü anaerobik fermentasyon sonucunda hastalık yapan mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar (Anonim 2011d).

Anaerobik fermentasyonda kütle denklığıne baktığımızda, reaktöre giren kütlenin % 2–4' ü biyogaza dönüşür. Reaktör çıkışında fermente gübre % 98–96 oranına iner. Bu fermente gübrenin yaklaşık % 7-25'i katı, % 75-93'ü sıvı haldedir (Anonymous 2000). Kütle denklığının şematik gösterimi Şekil 2.50'de verilmiştir.



Şekil 2.50 Anaerobik fermentasyonda kütle denklığı (Anonymous 2000)

Bu fermente gübre sıvı olarak kullanılabildiği gibi granül hale getirilip katı olarak da kullanılabilmektedir. Fermente gübrenin kullanım şekilleri Şekil 2.51 ve 2.52'de verilmiştir.



Şekil 2.51 Aneorobik fermentasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin kullanım şekilleri (Heck 2011, Onurbaş Avcıoğlu vd. 2011)



Şekil 2.52 Aneorobik fermentasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin paketlenmesi (Heck 2011)

3. KAYNAK ÖZETLERİ

Tez konusuyla ilgili olarak biyogaz potansiyeli konusunda yapılan çalışmalar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

Toruk ve Eker (2003), Trakya Bölgesi'nde biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında Devlet İstatistik Enstitüsü, Tarım İl Müdürlükleri ve Meteoroloji Müdürlüklerinin verilerini kullanmışlardır. Bu veriler çerçevesinde Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerine ait işletme sayılarını ve büyüklerini, hayvan sayılarını, yıllık tahmini gübre üretim miktarını, yıllık tahmini biyogaz üretim miktarını ve enerji değerini belirlemişlerdir.

Akbulut ve Dikici (2004), Elazığ ilinin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi üzerine çalışmışlardır. Elazığ ilini 3 alt bölgeye ayırarak bu bölgelerdeki 1990 ve 2000 yılları arası hayvan sayılarını ve bitkisel üretim miktarlarını belirlemişlerdir. Bu istatistiki verileri kullanarak elde edilebilecek yaş ve kuru gübre miktarlarını, biyogaz üretim miktarlarını, elde edilebilecek enerji miktarını ve ekonomik değerini belirlemişlerdir.

Limmechokchai¹ ve Chawana (2004), Tayland'ın kırsal kesimlerinde sık kullanılan küçük biyogaz tesislerinde elde edilen metanın yeterli kullanılmamasından kaynaklanan sorunları çözmek amacıyla "biyogaz havuzu projesi" ile hem bu sorunları çözmek için hemde köylerdeki biyogaz potansiyelini çıkararak kurulacak tesis maliyeti üzerine çalışmıştır.

Koçer Nacar vd. (2006), Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Türkiye'nin büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının yıllık elde edilebilecek atık miktarlarını belirlemişlerdir. Üreteç sıcaklığı esas alınarak elde edilebilecek biyogaz miktarını belirlemişlerdir.

Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 15 ilin Biyokütle potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Biyokütle oluşumu, biyokütle kaynakları ve özellikleri ortaya koyarak biyokütle teknolojisinin bu bölgede kullanılabilirliğini belirlemişlerdir. Ayrıca

15 ilin ekili alanlarını dikkate alarak biyokütle potansiyeli ve eşdeğer enerji tahmini yapmışlardır.

Kalyuzhnyi (2008), Rusya’da üretilen atıkların biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. Bu çerçevede Rusya’daki toplam domuz, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları sayısını belirledikten sonra toplam atık miktarı ve biyogaz üretim potansiyelini hesaplamıştır. Bunun yanında tarımsal sanayi atıkları da hesaplanarak yıllık atık, metan ve gübre potansiyelini hesaplanmıştır. Ayrıca belediye katı atıkları, atık su çamuru, çöp depolama alanlarından da elde edilebilecek potansiyeli belirlenmiştir. Son olarak biyogaz tesislerinde kullanılabilecek mikrobiyel yakıt hücrelerinin ülkedeki tesislerde uygulanabilirliğini araştırmıştır.

Armağan vd. (2008), GAP bölgesi çiftlik atıklarından biyogaz üretme potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Türkiye’nin hidroelektirik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarını ve hayvansal kaynaklı enerji potansiyelini MTEP olarak belirlemişleridir. GAP bölgesinin Master Planı ve TÜİK verileri esas alınarak 2003, 2004, 2005, 2006 yıllarına ait Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa ve Adıyaman illerine ait hayvan sayıları çıkarılarak bu hayvanlardan elde edilebilecek gübre ve biyogaz miktarını belirlemişlerdir. Bunun yanında ihtiyaç duyulan toplam tesis sayılarını da belirlemişlerdir.

Dimitrova vd. (2009), Bulgaristan’ın biyogaz potansiyeli üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla mevcut biyogaz tesisleri, biyogaz üretim fırsatları, hammadde imkanları belirlenmiştir. Ülke hammadde imkanları çerçevesinde 7 bölgeye ayrıldıktan sonra literatür değerleri baz alınarak büyükbaş ve domuz işletmelerinin işletme büyüklükleri dikkate alınarak biyogaz üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

Dzene (2009), Letonya’nın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla öncelikle Letonya’nın enerji kaynaklarının 2004, 2005 ve 2006 yılı değişimlerini belirlemiş, yapılmış ve yapımı planlanan biyogaz tesislerinin kullanılan hammaddeye göre tipleri, günlük üretilen biyogaz, elektirik ve gübre miktarlarını belirlemiştir. Letonyanın atık toplama sistemleri ve toplanabilecek katı atık miktarlarını belirlemiştir.

Bunun yanında organik atık potansiyelin belirlemeye çalışmıştır. Bu çerçevede organik atık sağlayabilecek et, süt, fırıncılık vb. endüstride faaliyet gösteren işletmelerin atık miktarları belirlenmiştir. Daha sonra büyükbaş ve domuz işletmelerinin büyüklük ve hayvan sayılarını belirlemiştir. Tarımsal ve diğer atıkların hesaplanması çerçevesinde de birincil ve ikincil üretim olarak ülkenin tarımsal atık, belediye etıkları, kanalizasyon atıkları, yiyecek endüstrisi atıkları, haritası çıkarılarak elde edilebilecek atık ve biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Letonya'nın mevcut doğalgaz yapısı ortaya konarak biyogaz üretiminin çevreye, sosyal yapıya ve ekonomiye olan etkisi belirlemeye çalışmıştır.

Konstantinos (2009), Yunanistan'ın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. 2007 yılından bu yana 15 tesisle çöp alanlarından biyogaz üretimi gerçekleştirmekte olan Yunanistan'da ilk önce belediye atıkları, endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar olmak üzere atık potansiyelini çıkarmaya çalışmıştır. Tarımsal yapı çerçevesinde enerji ürünlerinin ve tarımsal atıkları ton olarak, çiftlik gübresi atıklarını m³/yıl, belediye ve kanalizasyon atıklarını ton olarak hesaplayarak ülkeyi 10 bölgeye ayırarak atık potansiyelinin haritasını çıkarmıştır. Bu elde edilen atık miktarları baz alınarak biyogaz potansiyeli ve eşdeğer enerji karşılığı hesaplamaya çalışmıştır.

Kaya vd. (2009), Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi üzerine çalışmışlardır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2006 yılı verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının yıllık elde edilebilecek atık miktarlarını belirlemişlerdir. Kullanılabilir atık miktarlarını belirledikten sonra bir ton atıktan elde edilebilecek biyogaz miktarını ve eşdeğer enerji karşılığını belirlemişlerdir. Ayrıca Türkiye'nin illere göre hayvansal kaynaklı kullanılabilir atıklarının ve hayvansal kaynaklı atıkların enerji potansiyeli haritalarını da çıkarmışlardır. Bunun yanında büyükbaş hayvan gübresi ile çalışan bir biyogaz tesisinin teknik özelliklerinin yanında maliyet hesaplamasını yapmışlardır.

Buss ve Seyfert (2010), Brezilya'nın 281 745 km² alanına sahip Arjantin ve Uruguay ile sınır eyaleti olan Rio Grande do Sul'un domuz çiftliklerinin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla Rio Grande do Sul eyaletinin genel ekonomisi, öncelikli enerji üretim kaynakları ve tüketimi ortaya konmuştur. 2003 yılından 2008 yılına kadar

olan hem eyaletin hem de Brezilya'nın hayvan sayıları tespit edilmiştir. Rio Grande do Sul eyaleti 27 mikro bölgeye ayrılarak bölgelerdeki hayvan sayısı ve yoğunluğu özellikle domuz çiftliklerinin yoğunluğu belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler ışığında literatür değerleri baz alınarak günlük ve yıllık toplam elde edilebilecek gübre miktarı, toplam katı madde miktarı, uçucu katı madde miktarı, biyogaz ve metan üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

Haefke (2010), Amerika Birleşik Devletleri'nin Illinois Eyaleti'nin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. Ülkenin istatistiki verilerini kullanarak süt ve et üreten işletmeleri, tavukçuluk işletmeleri, çöp depolama alanları gibi enerji üretim potansiyeli olan temel alanlar ve bunlarla ilgili işletmeleri tespit edilmiştir. Bu temel alanlardan elde edilebilecek tahmini enerji aralığı ve toplam enerji potansiyeli tespit edilmiştir. Bunun yanında eyaletin yiyecek işleme endüstrisindeki işletmelerin sayıları baz alınarak her bir alan için potansiyel biyogaz üretim haritası çıkarılmıştır.

Afilal vd. (2010), Fas'ın kuzey şehirlerindeki organik atıkların biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada organik atıkların sınıflandırılmasını yaparak atık potansiyelini belirlemişlerdir. Kuzey şehirlerini 3 ayrı bölgeye ayırarak elde edilebilecek tarımsal atık, hayvansal atık, kanalizasyon atığı, organik kaynaklı belediye atıkları, mezbaha atığı potansiyelini belirlemişlerdir. Bu atıklarda elde edilebilecek enerji miktarlarını belirlemişlerdir.

Onurbaş Avcıoğlu ve Eliçin (2010), Ankara'nın biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünü tespit etmek üzerine çalışmışlardır. TÜİK ve Ankara Tarım İl Müdürlüğü verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları üzerine işletme büyüklükleri ve hayvan sayıları belirlemişlerdir. Literatürdeki canlı ağırlık, taze atık miktarı, toplam kuru madde, uçucu kuru madde, hayvanların barınakta kalma süresi ve ortalama biyogaz verimi değerleri baz alınarak elde edilebilir katı madde miktarı, biyogaz miktarı ve ısı değeri hesaplamışlardır. Son olarak hidrolik bekletme süresini dikkate alarak % 9 katı için ekelenen su miktarını, uygun reaktör hacmini ve günlük elde edilebilecek biyogaz miktarını hesaplamışlardır.

Fall ve Werner (2011), Burkino Faso'nun biyogaz üretim imkanları ve potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla tarımsal ve hayvansal üretim çerçevesinde küçük işletmeler, yiyecek endüstrisi çerçevesinde küçük, orta ve büyük işletmelerin ve katı atık yönetimi çerçevesinde kırsal, kentsel, belediye ve kurumların atıkları ve biyogaz potansiyelleri belirlenmiştir. Bu potansiyelin ülkeye olan etkisi ortaya konarak 2015 yılına kadar tahmini biyogaz tesis sayısı ve tahmini tesis maliyetlerini hesaplamışlardır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Araştırma kapsamında Sivas İli'nde mevcut hayvancılık işletmelerinin özellikleri, hayvan sayıları ve kapasiteleri araştırılmıştır. Bu çerçevede Sivas Tarım İl Müdürlüğü verileri araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur.

4.1.1 Sivas ili tarımsal nüfus dağılımı

2008 yılı adrese dayalı nüfus sayımı sonuçlarına göre il genel nüfusu 631 112 olarak belirlenmiştir. 2000 yılı sayımlarında 755 091 olan il nüfusu, 2008 yılı sayımlarında 631 112 ye gerilemiştir. 8 sene içerisinde İl nüfusundaki azalış oranı kırsaldan göç nedeni ile %16.4'ü bulmuştur. İki nüfus sayımı arasındaki rakamlar incelendiğinde kent nüfusu 5843 azalırken, kırsal kesimde nüfus 110 784 azalmıştır. Kırsal kesimdeki nüfus azalışı, kentsel alandaki nüfus azalışına göre daha fazla olmuştur. Kırsal kesimdeki nüfusun toplam nüfusa oranı % 44'den % 35'e gerilemiştir. Ancak kentsel alanlardaki artışlar da Türkiye ortalamalarının gerisinde kalmıştır (Anonim 2011e).

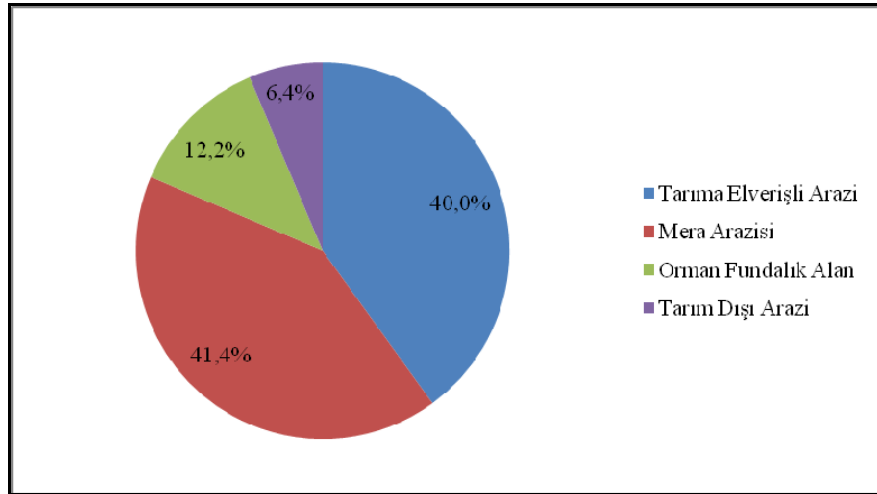
Sivas İli 28 567 km² alanı ile Türkiye'nin 2. büyük ilidir. Çok geniş bir coğrafyası olan ilde 1 236 köy, 749 mezra, 29 belde belediyesi bulunmaktadır. Çok geniş coğrafi yapıya rağmen il nüfusu gittikçe azalmaktadır. Genel olarak kilometre başına 22 kişi düşmektedir. Sivas ilinde işgücünün sektörel dağılımına bakıldığında, tarım ve hayvancılığın ilde çok büyük ekonomik etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. İldeki iktisaden faal nüfusun yüzde 66,5'ini oluşturan tarım sektöründe çalışanların yüzde 54,7'sini kadınlar, yüzde 45,3'ünü erkekler oluşturmaktadır. Tarım sektöründe yer alan faal nüfusun yüzde 91,6'sının kırsal kesimde yaşadığı dikkati çekmektedir (Anonim 2011e).

4.1.2 Sivas İli arazi dağılımı

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 2 848 800 hektar alana sahip Sivas il topraklarının % 40’ını tarım, % 41,43’ünü çayır-mera, % 12,17’sini orman ve fundalık, % 6,40’ında tarım dışı alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1 Sivas İli arazi dağılımı(Anonim 2011e)

Arazinin Cinsi	Yüzölçümü (ha)	Toplam Araziye Oranı (%)
Tarım Elverişli Arazi	1 139 599	40,0
Mera Arazisi	1 180 134	41,4
Orman Fundalık Alan	346 733	12,2
Tarım Dışı Arazi	182 334	6,4
Toplam	2 848 800	100,0



Şekil 4.1 Sivas İli arazi dağılımı

Türkiye geneli arazi dağılımı ile Sivas ili karşılaştırıldığında çayır mer’a alanlarının oranı yüksek (% 41,43), orman alanlarının oranının ise düşük (% 12,12) olduğu görülmektedir. Türkiye genelinde mer’a alanlarının genel arazi miktarına oranı % 26, orman alanlarının oranı ise % 26’dır (Anonim 2011e).

Sivas ilinde çayır mera alanlarının fazlalığı hayvancılık için bir potansiyel, orman alanlarının azlığı ise erozyonun nedeni ve yağış için kısıt teşkil etmektedir.

4.1.3 Sivas İli işletme büyüklükleri ve dağılımı

Sivas'ta yer alan tarımsal işletme başına düşen ortalama toprak büyüklüğü 95 dekar olup, 60 dekar olan Türkiye ortalamasından 35 dekar daha fazladır. Sivas'ta toplam 78 953 tarımsal işletme olduğu ve bunun yüzde 1,26'sının arazisinin olmadığı, geriye kalan % 98,74'ünün ise 7 467 539 dekarlık araziye işlemektedir. Toplam işletme sayısının % 32,25'i gibi büyük bir oranını oluşturan 20-49 dekar arazi büyüklüğüne sahip olan işletmeler, toplam işlenen arazinin ancak yüzde 11,02'sini işlemektedir. İşletme arazisi bakımından % 35,41 ile en büyük paya sahip olan işletmeler 200-499 dekar arazi büyüklüğüne sahip olan işletmelerdir. İlde 5 000 dekardan büyük arazi işleyen sadece 2 işletme bulunmakta iken, toplam işlenen arazi içindeki payı % 1,25'dir (Anonim 2011e).

İlde tarım işletmeleri faaliyetlerine göre bitkisel ve hayvansal üretim ayrı ayrı yapılmakla birlikte genellikle bitkisel ve hayvansal üretimi birlikte yapmaktadırlar. Sivas İli'nin toplam tarımsal işletme sayısı ve özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir (Anonim 2011e).

Çizelge 4.2 Sivas ili tarımsal işletme sayıları

İşletme Özelliği	İşletme Sayısı (Adet)	Toplam İşletme Sayısına Oranı (%)
Hayvansal Üretim	2 369	3,0
Bitkisel Üretim	7 895	10,0
Hayvansal+Bitkisel Üretim	68 689	87,0
Toplam	78 953	100,0

Sivas'ta tarım işletmeleri faaliyetlerine göre genellikle bitkisel ve hayvansal üretimi birlikte yapmaktadırlar, bunun oranı da % 87'yi bulmaktadır. Bunu sırasıyla % 10'la yalnızca bitkisel üretim yapan işletmeler ve % 3'le hayvansal üretim yapan işletmeler izlemektedir.

4.1.4 Sivas ili tarımsal arazi dağılımı

Sivas İli'nin 11 395 995 da'lık il toplam tarımsal arazi varlığının % 51,29'u tarımsal üretime elverişli ama mevcut durum itibari ile kullanılmayan arazi varlığını oluştururken tarım yapılan % 48,71'lik kısımda ise en büyük pay 3 747 393 da'lık alan ile il toplam tarım alanı içerisinde % 32,88 lük paya sahip olan hububat bitkileridir. Sivas ilinin tarımsal arazi dağılımı ilçeler itibariyle Çizelge 4.3'de verilmiştir (Anonim 2011e)

4.1.5 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletmeleri dağılımı

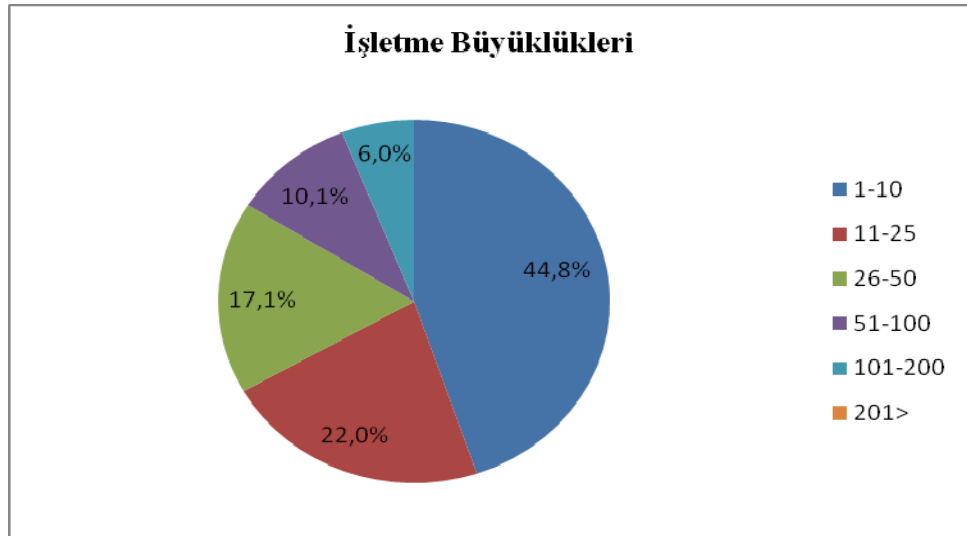
İlimiz hayvansal kaynaklı biyogaz üretim potansiyelinin belirlenebilmesi için hayvansal atık kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapasitenin belirlenebilmesi için bazı gösterge değerlerinin ortaya konması gerekir. Büyükbaş hayvan varlığına göre Sivas İli işletme büyüklükleri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2'de verilmiştir (Anonim 2010).

Çizelge 4.3 Sivas ili tarımsal arazi dağılımı

İlçe	TARLA BİTKİLERİ										Meyvelik	Sebzelik	Örtü Altı	Tarım Yapılan Arazi Toplamı	Tarıma Elverişli Kullanılmayan Arazi	Toplam Tarım Alanı
	Tahullar	Yem Bitkileri	Endüstri Bitkileri	Yemeklik baklagiller	Yağlı Tohumlar	Yumru Bitkileri	Ekili	Nadas	Çayır Arazisi	Toplam						
Merkez	699.750	68.500	505	6.250	1.000	14.650	790.655	956.970	9.740	1.757.365	5.520	1.185	5	1.764.075	42.370	1.806.445
Akıncılar	49.500	31.050	2.300	6.450	0	200	89.500	95.033	2.480	187.013	278	1.559	2	188.852	3.540	192.392
Altınyayla	114.051	25.322	2.530	338	37	150	142.428	161.423	13.800	317.651	100	7	8	317.766	470	318.236
Divriği	95.700	72.350	0	16.150	300	500	185.000	362.955	300	548.255	1.250	665	3	550.173	178.040	728.213
Doğanşar	19.420	32.500	0	50	0	50	52.020	45.543	0	97.563	3	14	0	97.580	5.360	102.940
Gemerek	189.400	19.373	12.770	2.472	65	4.027	228.107	164.261	840	393.208	901	1.332	3	395.444	6.520	401.964
Gölova	32.200	24.750	0	2.400	0	0	59.350	93.208	860	153.418	0	12	0	153.430	4.520	157.950
Gürün	168.218	136.883	0	42.876	48	0	348.025	384.438	3.220	735.683	11.979	50	0	747.712	51.860	799.572
Hafik	347.728	55.520	0	150	0	150	403.548	429.519	16.760	849.827	161	60	2	850.050	15.740	865.790
İmranlı	42.770	98.272	0	2.200	0	0	143.242	161.000	1.870	306.112	134	0	0	306.246	16.510	322.756
Kangal	691.600	46.060	5.500	21.150	100	3.000	767.410	787.863	13.690	1.568.963	680	58	0	1.569.701	56.900	1.626.601
Koyulhisar	58.022	35.210	0	390	0	450	94.072	99.784	0	193.856	478	485	3	194.822	3.600	198.422
Suşehri	88.930	25.104	9.300	8.900	500	6.000	138.734	150.000	2.070	290.804	344	562	7	291.717	14.980	306.697
Şarkışla	358.390	46.486	23.150	240	301	20.000	448.567	644.603	15.910	1.109.080	180	290	10	1.109.560	2.400	1.111.960
Ulaş	208.669	60.067	763	0	14	550	270.063	284.607	9.060	563.730	236	54	0	564.020	38.400	602.420
Yıldızeli	401.275	126.750	1.460	1.100	65	11.550	542.200	638.362	6.400	1.186.962	408	220	1	1.187.591	10.530	1.198.121
Zara	181.770	136.150	0	100	0	200	318.220	270.920	8.330	597.470	310	30	6	597.816	57.700	655.516
Toplama	3.747.393	1.040.347	58.278	111.216	2.430	61.477	5.021.141	5.730.489	105.330	10.856.960	22.962	6.583	50	10.886.555	509.440	11.395.995

Çizelge 4.4 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletmeleri

İşletme Büyüklükleri (Baş)	Büyükbaş İşletme Sayısı (Adet)	Toplam İşletme Sayısına Oranı (%)
1-10	11 080	44,8
11-25	5 456	22,0
26-50	4 196	17,1
51-100	2 519	10,1
101-200	1 492	6,0
201>	0	0,0
Toplam	24 743	100,0



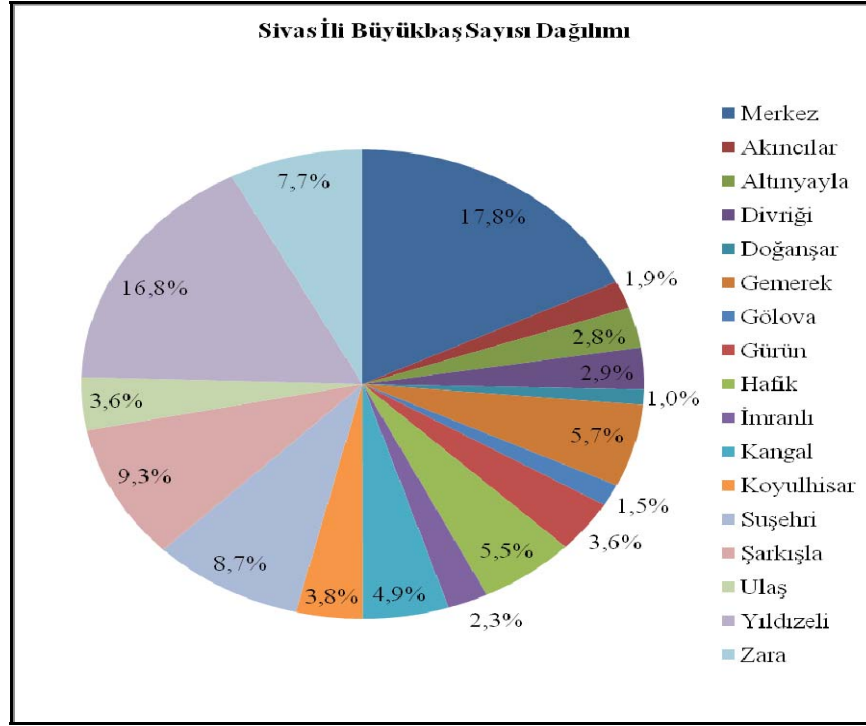
Şekil 4.2 Sivas ili büyükbaş hayvancılık işletme büyüklükleri

İlimiz genelinde toplam büyükbaş işletme sayısı 24 743 adet olup işletmelerin % 44,8'i 1-10 başlıklı işletmelerden oluşmaktadır. Diğer taraftan işletme sayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ise ilimizin biyogaz hammadde potansiyelinin oldukça iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Bilinmesi gereken diğer bir gösterge değeri olan büyükbaş hayvan sayıları Çizelge 4.5 'de verilmiştir (Anonim 2010).

Çizelge 4.5 Sivas ili büyükbaş hayvan sayıları

İlçe	1 Yaşından Küçük Erkek (Buzağı- Dana) (Adet)	1 Yaşından Küçük Dişi (Buzağı- Dana) (Adet)	1-2 Yaş Arası Dişi (Düve) (Adet)	1-2 Yaş Arası Erkek (Tosun) (Adet)	2 Ve Daha Yukarı Yaşta (Boğa) (Adet)	2 Ve Daha Yukarı Yaşta (İnek) (Adet)	2 Ve Daha Yukarı Yaşta (Öküz) (Adet)	Toplam	Toplam Hayvan Sayısına Oranı (%)
Merkez	6 703	11 311	5 540	4 346	2 100	15 427	0	45 427	17,8
Akıncılar	462	475	617	525	522	2 264	0	4 865	1,9
Altınyayla	979	511	1 190	1 226	1 865	1 262	30	7 063	2,8
Divriği	969	950	765	675	576	3 336	31	7 302	2,9
Doğanşar	516	502	449	556	72	555	0	2 650	1,0
Gemerek	2 621	3 182	3 090	3 622	230	1 755	0	14 500	5,7
Gölova	409	303	530	400	737	1 415	0	3 794	1,5
Gürün	1 759	1 893	732	781	20	3 965	0	9 150	3,6
Hafik	2 261	3 390	2 533	1 688	722	3 506	0	14 100	5,5
İmranlı	1 185	1 195	789	720	276	1 791	0	5956	2,3
Kangal	2 595	2 398	1 380	1 146	300	4 681	0	12 500	4,9
Koyulhisar	1 300	1 528	1 278	637	1 915	3 110	12	9 780	3,8
Suşehri	4 276	4 268	2 417	2 306	421	8 450	12	22 150	8,7
Şarkışla	3 701	5 655	2 778	800	839	9 800	98	23 671	9,3
Ulaş	2 132	2 780	783	772	337	2 448	0	9 252	3,6
Yıldızeli	8 715	8 270	3 372	1 143	900	20 400	0	42 800	16,8
Zara	3 778	4 054	3 450	2 663	360	5 275	0	19 580	7,7
Toplam	44 361	52 665	31 693	24 006	12 192	89 440	183	254 540	100,0

Sivas'ta işletmelerde toplam 254 540 büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Büyükbaş hayvan varlığının büyük çoğunluğu olan yaklaşık % 17,8'i Sivas Merkez'deki işletmelerde bulunmaktadır. Yine % 16,8'i ise Yıldızeli ilçesindeki işletmelerde bulunmaktadır. Sivas'ta büyükbaş hayvan varlığı Sivas Merkez (% 17,8), Yıldızeli (% 16,8), Şarkışla (% 9,29), Suşehri (% 8,70), Zara (% 7,69), Gemerek (% 5,69) ve Hafik (% 5,53) ilçelerinde yoğunluk kazanmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Sivas ili büyükbaş hayvan sayıları dağılımı

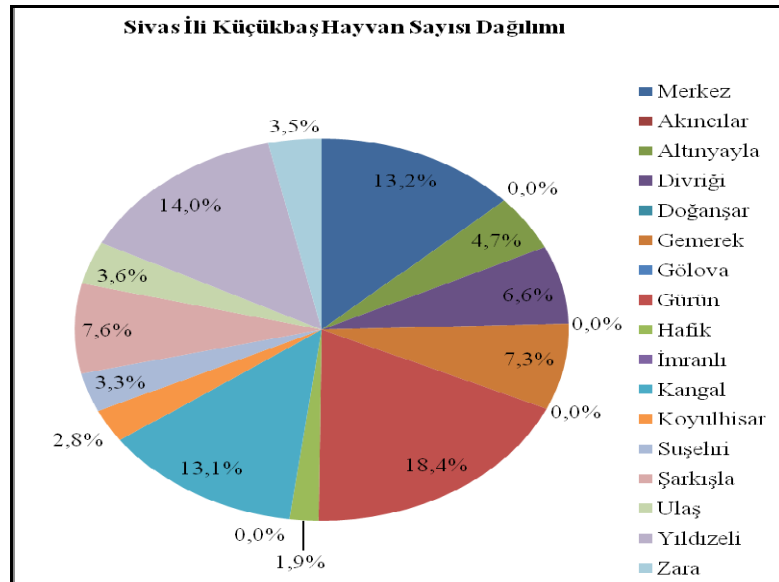
4.1.6 Sivas İli küçükbaş hayvancılık işletmeleri dağılımı

Bilinmesi gereken diğer bir gösterge değeri ise küçükbaş hayvan sayısı ve işletme büyüklükleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir (Anonim 2010).

Sivas’ta işletmelerde toplam 393 489 küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Küçükbaş hayvan varlığının büyük çoğunluğu olan yaklaşık %18,4’ü Gürün’deki işletmelerde bulunmaktadır. Küçükbaş hayvan varlığının % 14’ü Yıldızeli’ndeki işletmelerde, % 13,2’si ise Sivas Merkez’deki işletmelerde ve % 13,1’i ise Kangal’daki işletmelerde bulunmaktadır. Küçükbaş işletme sayılarına bakıldığında ise en çok işletme Yıldızeli (% 15,7), Sivas Merkez (% 14,9), Gürün (% 12,5) ve Kangal (% 12,4)’da bulunmaktadır (Şekil 4.4 ve 4.5).

Çizelge 4.6 Sivas ili küçükbaş hayvan sayıları

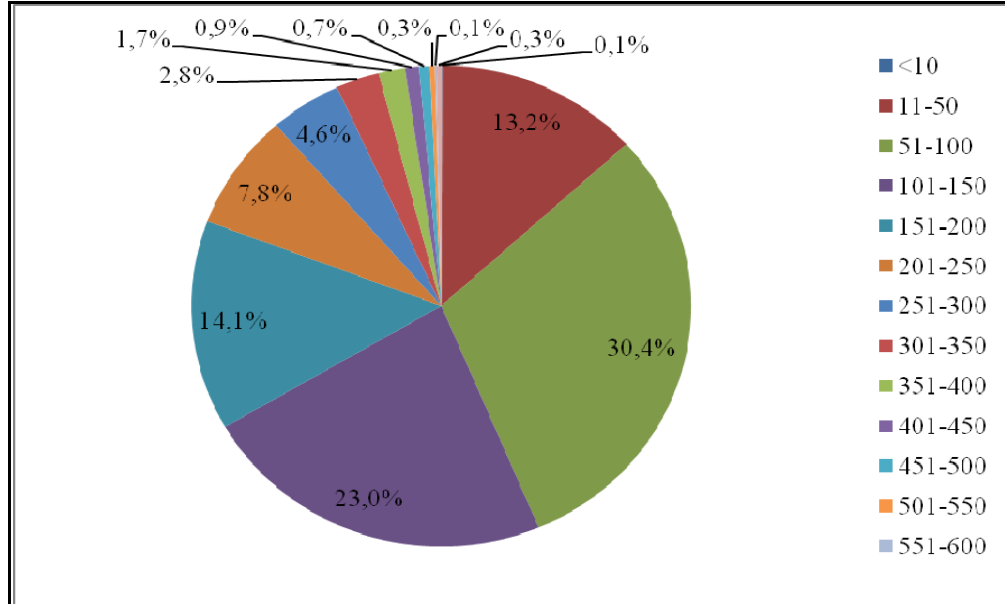
İlçe adı	İşletme Sayısı (Adet)	Koyun-Keçi Sayısı (Baş)	Toplam İşletme Sayısına Oranı (%)	Toplam Hayvan Sayısına Oranı (%)
Merkez	420	52 133	14,9	13,2
Akıncılar	0	0	0	0
Altınyayla	130	18 485	4,6	4,7
Divriği	145	25 957	5,1	6,6
Doğanşar	0	0	0,0	0,0
Gemerek	169	28 683	6,0	7,3
Gölova	0	0	0,0	0,0
Gürün	355	72 481	12,5	18,4
Hafik	65	7 461	2,3	1,9
İmranlı	0	0	0,0	0,0
Kangal	350	51 525	12,4	13,1
Koyulhisar	109	11 092	3,8	2,8
Suşehri	175	12 987	6,2	3,3
Şarkışla	205	29 929	7,2	7,6
Ulaş	119	14 058	4,2	3,6
Yıldızeli	443	54 698	15,7	14,0
Zara	144	14 000	5,1	3,5
Toplam	2 829	393 489	100,0	100,0



Şekil 4.4 Sivas ili küçükbaş hayvan sayıları dağılımı

Çizelge 4.7 Sivas ili küçükbaş işletme büyüklükleri

İşletme Büyüklükleri	Küçükbaş İşletme sayısı (Adet)	Toplam İşletme Sayısına Oranı (%)
<10	2	0,07
11-50	373	13,2
51-100	860	30,4
101-150	647	23,0
151-200	400	14,1
201-250	221	7,8
251-300	131	4,6
301-350	80	2,8
351-400	48	1,7
401-450	26	0,9
451-500	20	0,7
501-550	9	0,3
551-600	3	0,1
>600	9	0,3
Toplam	2 829	100,0



Şekil 4.5 Sivas ili küçükbaş işletme sayıları dağılımı

İlimiz genelinde toplam koyunculuk işletme sayısı 2 829 adet olup işletmelerin önemli bir kısmının (% 30,4) 51-100 başlıklı işletmelerden oluşmaktadır. Toplam koyun-keçi varlığı ise 393 489 adet'tir.

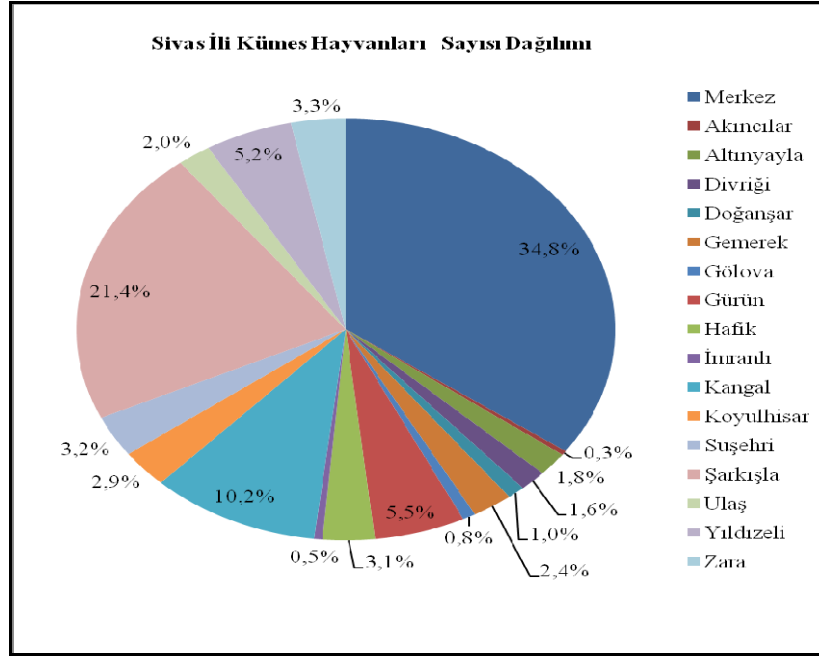
4.1.7 Sivas ili kanatlı işletmeleri dağılımı

Sivas İli kanatlı sayıları ve kanatlı işletme dağılımı çizelge 4.8. - 4.9.'da verilmiştir (Anonim 2010).

İlimiz genelinde toplam kanatlı sayısı 274 861 adet olup büyük Sivas-Merkez ve Sivas-Şarkışla ilçelerinde yoğunluk kazanmaktadır (Şekil 4.6).

Çizelge 4.8 Sivas ili kanatlı hayvan sayıları

İlçe	Kanatlı Sayısı	Toplam Kanatlı Sayısına Oranı (%)
Merkez	154 159	34,8
Akıncılar	1 477	0,3
Altınyayla	8 081	1,8
Divriği	7 161	1,6
Doğanşar	4 608	1,0
Gemerek	10 738	2,4
Gölova	3 470	0,8
Gürün	24 181	5,5
Hafik	13 786	3,1
İmranlı	2 210	0,5
Kangal	44 990	10,2
Koyulhisar	12 769	2,9
Suşehri	14 112	3,2
Şarkışla	94 692	21,4
Ulaş	8 810	2,0
Yıldızeli	23 225	5,2
Zara	14 490	3,3
Toplam	442 959	10,0



Şekil 4.6 Sivas ili kümes hayvan sayıları dağılımı

Sivas İlinde modern kanatlı işletme sayısı ise 4 adet olup bu işletmelerde toplam 223000 kanatlı hayvan bulunmaktadır. İşletme büyüklüklerine göre kümes hayvanı ve işletme sayıları Çizelge 4.9’da görülmektedir (Anonim 2011f).

Çizelge 4.9 İşletme büyüklüklerine göre kümes hayvanı ve işletme sayısı

İlçe	İşletme Büyüklüğü (Adet)	İşletme Sayısı (Adet)	Hayvan Sayısı (%)	Toplam İşletme Sayısına Oranı (%)
Şarkışla	30 000-50 000	2	89 000	40,0
Merkez	50 000 ve üzeri	2	134 000	60,0
Toplam		4	223 000	100,0

Sivas ilindeki hayvan sayılarına bakıldığında; tavuk işletmelerinin Sivas Merkez’de ve Şarkışla’da yoğunluk kazandığı, küçükbaş işletmelerin, Sivas-Merkez, Gürün, Kangal, Yıldızeli, büyükbaş işletmelerin ise Sivas-Merkez, Suşehri, Şarkışla, Yıldızeli ve Zara’da yoğun olduğu görülmektedir.

4.2 Yöntem

İlin biyogaz üretim potansiyelini ortaya koyabilmek için öncelikle hayvan cinslerine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çerçevede hayvan cinslerine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları Çizelge 4.10'da verilmiştir (Onurbaş Avcıoğlu 2010).

Çizelge 4.10 Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri (Omer and Fadalla 2003, Köttner 2003, Koçer vd. 2006, Başçetinçelik vd. 2007, Eryaşar 2007).

Hayvan Cinsi	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 Et 25	200-350
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

Atık miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20 kg/gün (yaş) atık verimi kabul edilebileceği gibi, canlı ağırlığın %5-6'sı da günlük atık miktarına esas alınabilir. Aynı şekilde koyun ve keçi için 2 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın % 4-5'i günlük atık üretimi olarak kabul edilebilmektedir. Tavuk için günlük atık üretimi ise 0,08-0,1 kg (yaş/gün veya canlı ağırlığın % 3-4'ü kabul edilebilir (Onurbaş Avcıoğlu 2010).

Sivas'taki işletmelerin atık değerlerinin literatür değerleri ile kıyaslanması çerçevesinde Sivas İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, Sağlık İl Müdürlüğü, Çevre ve Orman İl Müdürlüğü ve Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü yetkilileri ile yapılan görüşmelerde ilimiz hayvancılık işletmelerine yönelik katı madde oranı ve günlük atık miktarı ile ilgili geçmişte yapılmış bir araştırma olmadığı anlaşıldığından

hayvanların canlı ağırlıklarının belirlenerek literatürdeki canlı ağırlık yüzdelerinden günlük atık ve buna bağlı olarak katı atık miktarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak ildeki kesimhane kontrollerini yapan veteriner hekim ile görüşülmüş ilde kesilen hayvanların ağırlık ortalamasının 203 kg olduğu belirtilmiştir (Daşdemir 2011). Ancak kesimhanede kesilen hayvanlar genelde zayıf ve güçsüz hayvanlar olduğundan bu verinin doğru sonuç vermeyeceği görülmüştür. Bunun üzerine Sivas'ta ildeki hayvancılık işletmelerine hayvan üreten Ulaş ilçesindeki TİGEM İşletmesinin hayvancılık birimi ile görüşülmüş büyükbaş hayvanlarda canlı ağırlığın 550-700 kg, küçükbaşlarda ise 65-120 kg arasında olduğu belirtilmiştir (Değirmenci 2011). İlde bulunan tavukçuluk işletmeleri ile ilgili ise işletmelerle yapılan görüşmelerde canlı ağırlığın 2,0-2,2 kg arasında olduğu belirtilmiştir (Nazlım 2011).

Hayvanların ahırda kalma süreleri, süt sığırı için %65, et sığırı için %25, kanatlı hayvanlar için %99 ve küçükbaş hayvanlar için % 13 olmaktadır (Onurbaş Avcıoğlu 2010)

İldeki mevcut işletmelere yönelik biyogaz tesis reaktör büyüklükleri hesaplanmasında beslenen hammadde miktarı, bekletme süresi ve reaktör hacmi ile ilgili aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda bekletme süresi 30 gün ve % 9 katı madde miktarı esas alınmıştır (Onurbaş Avcıoğlu vd. 2011).

Biyogaz tesisi reaktör hacmi;

$$V_d = S_d \cdot HRT$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;

V_d : Reaktör hacmi (m^3),

S_d : Beslenen hammadde miktarı ($m^3/gün$),

HRT : Bekletme süresi (gün)dür.

Beslenen hammadde miktarı;

$$S_d = [Biyokütle (B) - Toplam su içeriği] / Katılık oranı$$

ile hesaplanmaktadır. Eklenecek su miktarı katılık oranına göre hesaplanmaktadır.

Tesiste kullanılacak her bir biyokütleden gelecek toplam su miktarı; Σ biyokütle miktarı x nem oranı ile hesaplanmaktadır.

İlave edilmesi gereken su miktarı;

$$W = S_d - \Sigma B$$

İle belirlenmektedir.

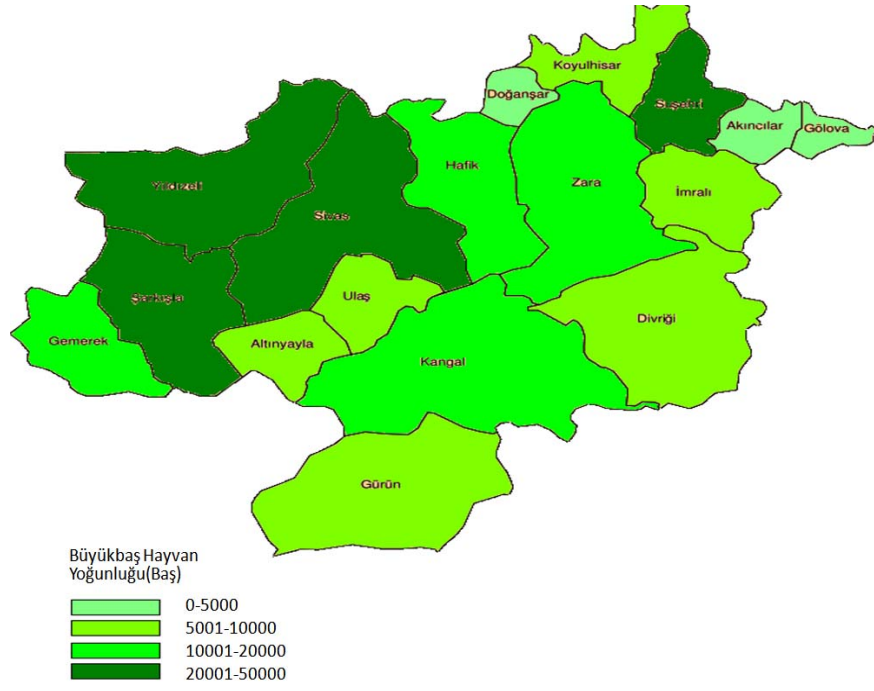
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada Sivas ilinin hayvansal atık durumu dikkate alınarak Sivas'ın ilçe bazında biyogaz üretim potansiyeli ve önerilebilecek uygun biyogaz reaktör büyüklüklerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çerçevede Sivas iline ait hayvan sayıları ilçeler dahil edilerek belirlenmiştir. İlin hayvan varlığı ve atık değerleri ilçeler de dahil edilerek belirlenerek literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanında ilçelerin hayvan yoğunluğu ve atık miktarları dikkate alınarak ilin büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları yoğunluğu, yaş atık yoğunluğu, katı atık, biyogaz üretim potansiyeli ile ilgili haritalar oluşturulmuştur.

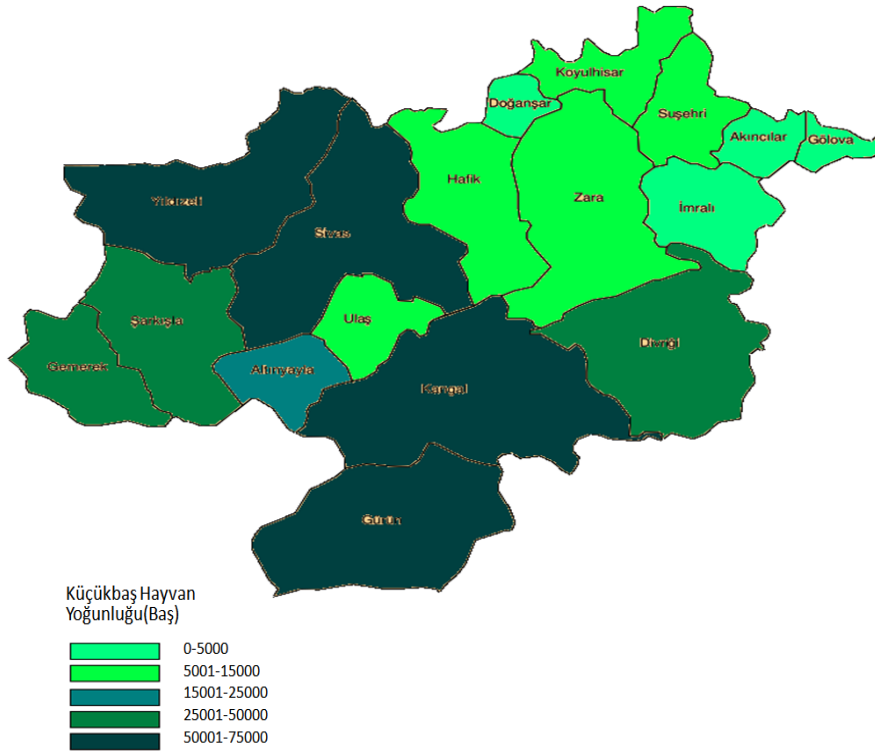
5.1 Sivas İli Hayvan Varlığının İlçelere Göre Yoğunluğu

Sivas İline ait toplam 17 ilçede belirli oranlarda da olsa büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığı birlikte yapılmaktadır. Büyükbaş hayvancılık en yoğun olarak yapıldığı yerler Yıldızeli, Şarkışla, Sivas Merkez ve Suşehri ilçeleri olup hayvan sayıları 20 000 başın üzerindedir. Kangal, Zara, Hafik ve Gemerek ilçelerinde 10 000-20 000 baş arasında, Altınyayla, Ulaş, Gürün, Divriği, İmranlı, Koyulhisar ilçelerinde 5 000-10 000 arasındadır. Diğer üç ilçe olan Akıncılar, Gölova ve Doğanşar'da ise üretim çok düşük olup hayvan sayıları 5 000'in altındadır. Sivas ili büyükbaş hayvan varlığı yoğunluğunu gösteren harita Şekil 5.1'de verilmiştir.

Küçükbaş hayvancılık en yoğun olarak yapıldığı yerler Yıldızeli, Kangal, Sivas Merkez ve Gürün ilçeleri olup hayvan sayıları 50 000-75 000 arasındadır. Şarkışla, Gemerek, Divriği ilçelerinde 25 000-50 000 arasında, Altınyayla ilçesinde 15 000-25 000 arasındadır. Ulaş, Hafik, Zara, Suşehri, Koyulhisar ilçelerinde 5 000-15 000 arasında ve diğer dört ilçe olan Akıncılar, Gölova ve Doğanşar ve İmranlı'da ise üretim çok düşük olup hayvan sayıları 5 000'in altındadır. Bu yoğunluğu gösteren harita Şekil 5.2'de verilmiştir.

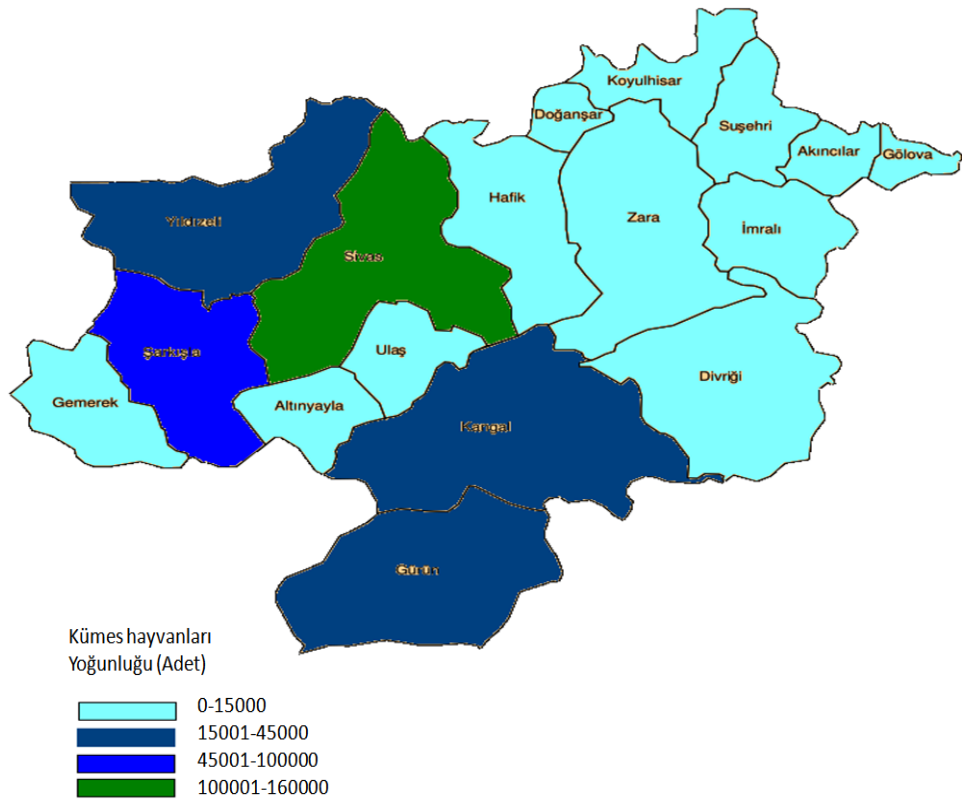


Şekil 5.1 Sivas ili büyükbaş hayvan varlığı yoğunluğu



Şekil 5.2 Sivas ili küçükbaş hayvan varlığı yoğunluğu

Kümes hayvancılığı profesyonel işletmecilik olarak sadece Şarkışla ve Sivas Merkez ilçelerinde yapılmaktadır. Bu ilçelerde 2 şer adet 30 000 kapasitenin üzerinde olan işletme bulunmaktadır. Kangal ilçesinin hayvan varlığı her ne kadar 45 000'in üzerinde olsa da ekonomik işletme düzeyinde yapılmamaktadır. Diğer ilçelerde ise kümes hayvancılığı aile işletmesi düzeyinde yapılmaktadır. İlin kümes hayvan varlığı yoğunluğu Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Sivas ili kümes hayvan varlığı yoğunluğu

5.2 Sivas İli Hayvansal Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli

Atık miktarının hesaplanmasında Çizelge 5.1'de verilen değerlerden yararlanılmıştır. Canlı ağırlık büyükbaş hayvanlar için 450 kg, küçükbaş hayvan için 50 kg ve tavuk için 2 kg alınmıştır. Günlük taze atık miktarı; canlı ağırlığın yüzdesi olarak büyükbaş hayvan için % 6, küçükbaş hayvan için % 5 ve kümes hayvanları için %4 olarak alınmıştır. Ahırda kalma süresi dikkate alınarak atığın kullanılabilirliği büyükbaş hayvan için %50, küçükbaş hayvan için %13 ve kümes hayvanları için %99 seçilmiştir.

Canlı ağırlıklar için seçilen değerler belirlenirken kesimhane rakamları ve Ulaş TİGEM İşletmesinin rakamları arasındaki farklar göz önüne alınmıştır. Günlük taze atık miktarının belirlenmesinde ilde geçmişte yapılmış bir araştırma olmadığından ve günlük taze atık miktarı ile ilgili ilin genelini ifade edebilecek bir değere ulaşamadığından taze atık miktarının belirlenmesinde canlı ağırlığın yüzdesi kullanılmıştır. Bu çerçevede hayvan cinslerine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hayvan cinsine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları

Hayvan cinsi	Taze 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	27,00	15	4,050	0,50	2,0250
Küçükbaş	2,50	30	0,750	0,13	0,0975
Kümes	0,10	35	0,035	0,99	0,035

Katı madde oranlarından yararlanılarak, günde bir hayvandan elde edilebilecek katı atık miktarı; büyükbaş hayvanlar için 2,02 kg, küçükbaş hayvanlar için 0,098 kg ve kümes hayvanları için 0,035 kg olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak Sivas ili için hesaplanan hayvansal atıklardan biyogaz potansiyel değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Atık ile ilgili değerler;

Büyükbaş hayvan $254\ 540 \times 27 \times 365 / 1000 = 2\ 508\ 492$ ton/yıl yaş atık,

Küçükbaş hayvan $393\ 489 \times 2,5 \times 365 / 1000 = 359\ 059$ ton/yıl yaş atık,

Kanatlı hayvan $442\ 959 \times 0,10 \times 365 / 1000 = 16\ 168$ ton/yıl yaş atık

olarak belirlenmiştir.

Buna göre elde edilebilir katı atık;

büyükbaş hayvanlardan $2\ 508\ 492 \times 0,15 \times 0,50 = 188\ 137$ ton.KM/yıl,

küçükbaş hayvanlardan $359\,059 \times 0,30 \times 0,13 = 14\,003$ ton.KM/yıl,
kanatlı hayvanlardan $16\,168 \times 0,35 \times 0,99 = 5\,602$ ton.KM/yıl
olmuştur.

Biyogaz ile ilgili değerler;

Hesaplamalarda 1 ton katı hayvansal atıktan elde edilen biyogaz miktarı 200 m^3 ve biyogazın da ısı değeri $22,7\text{ MJ/m}^3$ olarak kabul edilmiştir (Acaroğlu 2007, Başçetinçelik vd, 2007, Onurbaş Avcıoğlu 2010).

Buna göre Sivas ilinde;

büyükbaş hayvanlardan $188\,137\text{ ton.KM/yıl} \times 200\text{ m}^3/\text{ton.KM} = 37\,627\,400\text{ m}^3/\text{yıl}$,
küçükbaş hayvanlardan $14\,003 \times 200\text{ m}^3/\text{yıl} = 2\,800\,600\text{ m}^3/\text{yıl}$,
kanatlı hayvanlardan $5\,602 \times 200\text{ m}^3/\text{yıl} = 1\,120\,400\text{ m}^3/\text{yıl}$
biyogaz potansiyeli söz konusudur.

Söz konusu biyogazın enerji eşdeğeri;

büyükbaş hayvanlardan $37\,627\,400 \times 22,7 = 854\,141\,980\text{ MJ/kg}$,
küçükbaş hayvanlardan $2\,800\,600 \times 22,7 = 63\,573\,620\text{ MJ/kg}$,
kanatlı hayvanlardan $1\,120\,400 \times 22,7 = 25\,433\,080\text{ MJ/kg}$ 'dır.

Biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülerek değerlendirildiğinde; % 40 elektrik % 50 ısı verimi ve %10 kayıp enerjiyle çalışan bir kojenerasyon sistemiyle çalışıldığında;

Büyükbaş hayvanlardan $854\,141\,980 \times 1000/3600 \times 0,4 = 94\,904\,597\text{ kWh}$,
Küçükbaş hayvanlardan $63\,573\,620 \times 1000/3600 \times 0,4 = 7\,063\,735\text{ kWh}$,
Kanatlı hayvanlardan $25\,433\,080 \times 1000/3600 \times 0,4 = 2\,825\,898\text{ kWh}$
elektrik enerjisi ve

Büyükbaş hayvanlardan $854\,141\,980 \times 1000/3600 \times 0,5 = 118\,630\,830\text{ kWh}$,

Küçükbaş hayvanlardan $63\,573\,620 \cdot 1000 / 3600 \cdot 0,5 = 8\,829\,669$ kWh,

Kanatlı hayvanlardan $25\,433\,080 \cdot 1000 / 3600 \cdot 0,5 = 3\,532\,372$ kWh

ısı enerjisi elde etmek mümkündür.

Tüm bu sonuçlar bir özet olarak Çizelge 5.2 ve 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2 Sivas İli biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)
Büyükbaş	254 540	2 508 492	188 137	37 627 400
Küçükbaş	393 489	359 059	14 003	2 800 600
Kanatlı	442 959	16 168	5 602	1 120 400
Toplam	1 090 988	2 883 719	207 742	41 548 400

Çizelge 5.3 Sivas İli biyogaz üretim potansiyeli enerji eş değeri tahmini

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	254 540	854 141 980	94 904 597	118 630 830
Küçükbaş	393 489	63 573 620	7 063 735	8 829 669
Kanatlı	442 959	25 433 080	2 825 898	3 532 372
Toplam	1 090 988	917 715 600	104 794 230	130 992 871

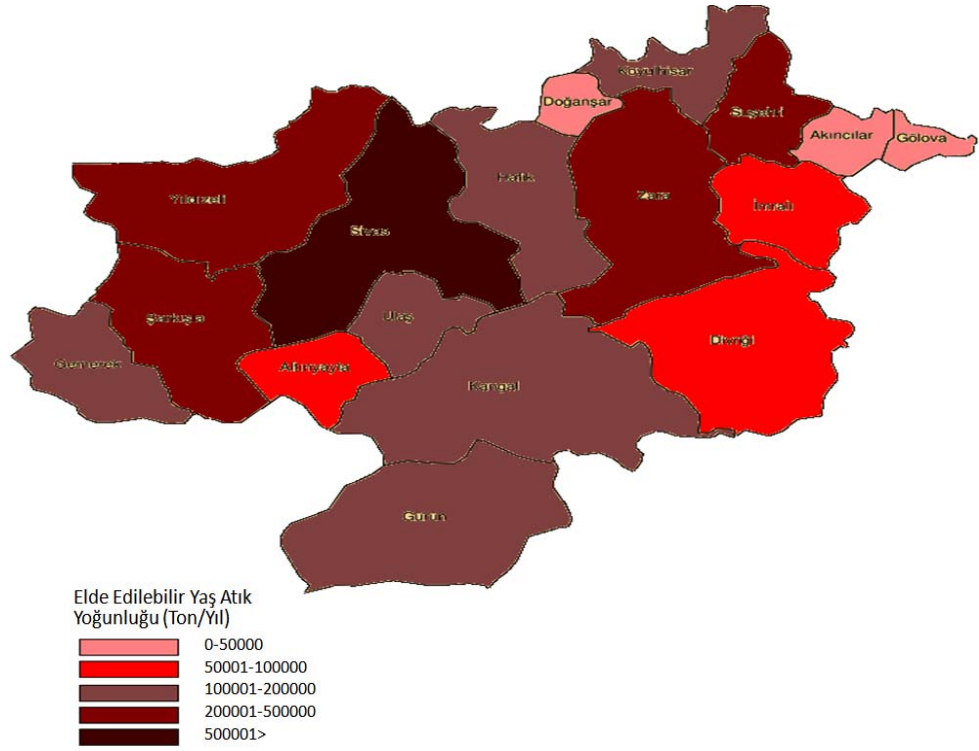
Sivas ilinde sadece büyükbaş hayvan potansiyelinin biyogaz üretiminde kullanılmasından bile günlük elde edilebilecek elektrik enerjisi eşdeğeri yaklaşık 260 000 kWh'tir. Küçükbaş ve kanatlı hayvanlarda sürece dâhil edildiğinde günlük elde

edilecek elektrik enerjisi eşdeğeri yaklaşık 287 107 kWh'tir. Yıllık bazda ele alındığında ise yaklaşık 105 milyon kWh elektrik enerjisi elde edilebilecektir.

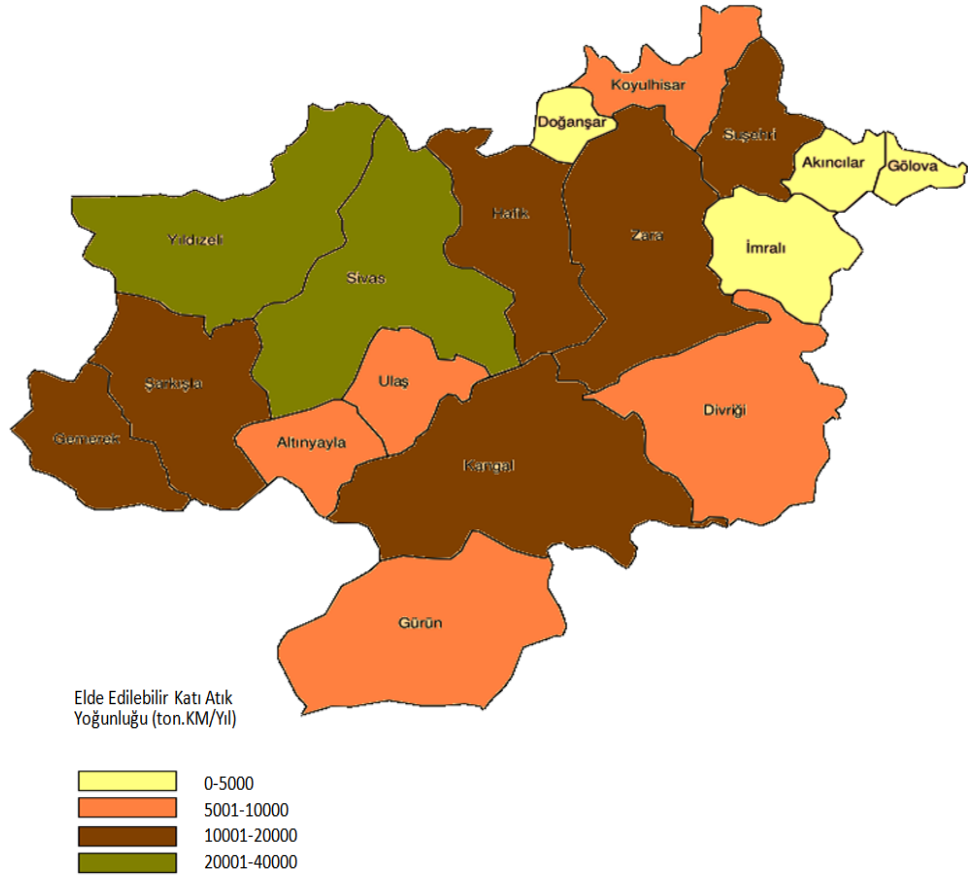
5.3 Sivas İlçelerinin Hayvansal Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli

Sivas ilinde hemen her ilçesinde yapılmakta olan hayvancılık nedeniyle belirli oranlarda yaş atık elde etmek mümkündür. Sivas Merkez ilçe yılda 500 881 ton ile en fazla yaş atığın elde edildiği ilçedir. Zara, Şarkışla, Yıldızeli ve Suşehri ilçelerindeki yaş atık miktarı yılda 200 000-500 000 ton arasındadır. Gemerek, Ulaş, Gürün, Hafik, Koyulhisar ilçelerindeki yıllık yaş atık miktarı 100 000-200 000 ton arasındadır. Altınyayla, İmranlı ve Divriği ilçelerinde yıllık yaş atık miktarı 50 000-100 000 ton arasındadır. Son olarak Doğanşar, Akıncılar ve Gölova ilçelerinde yıllık yaş atık miktarı düşük olup 50 000 tonun altındadır. İlin yıllık yaş atık miktarını gösteren harita Şekil 5.4'de verilmiştir.

Sivas Merkez ve Yıldızeli ilçeleri yılda 20 000-40 000 ton.KM ile elde edilebilir katı atık miktarının en çok olduğu ilçelerdir. Gemerek, Şarkışla, Kangal, Hafik, Zara, ve Suşehri ilçelerindeki elde edilebilir katı atık miktarı yılda 10 000-20 000 ton.KM arasındadır. Altınyayla, Ulaş, Gürün ve Divriği ilçelerindeki elde edilebilir katı atık miktarı 5 000-10 000 ton.KM arasındadır. Son olarak Doğanşar, Akıncılar, Gölova ve İmranlı ilçelerinde yıllık katı atık miktarı düşük olup 5 000 ton.KM'nin altındadır. İlin yıllık katı atık miktarını gösteren harita Şekil 5.5'de verilmiştir.

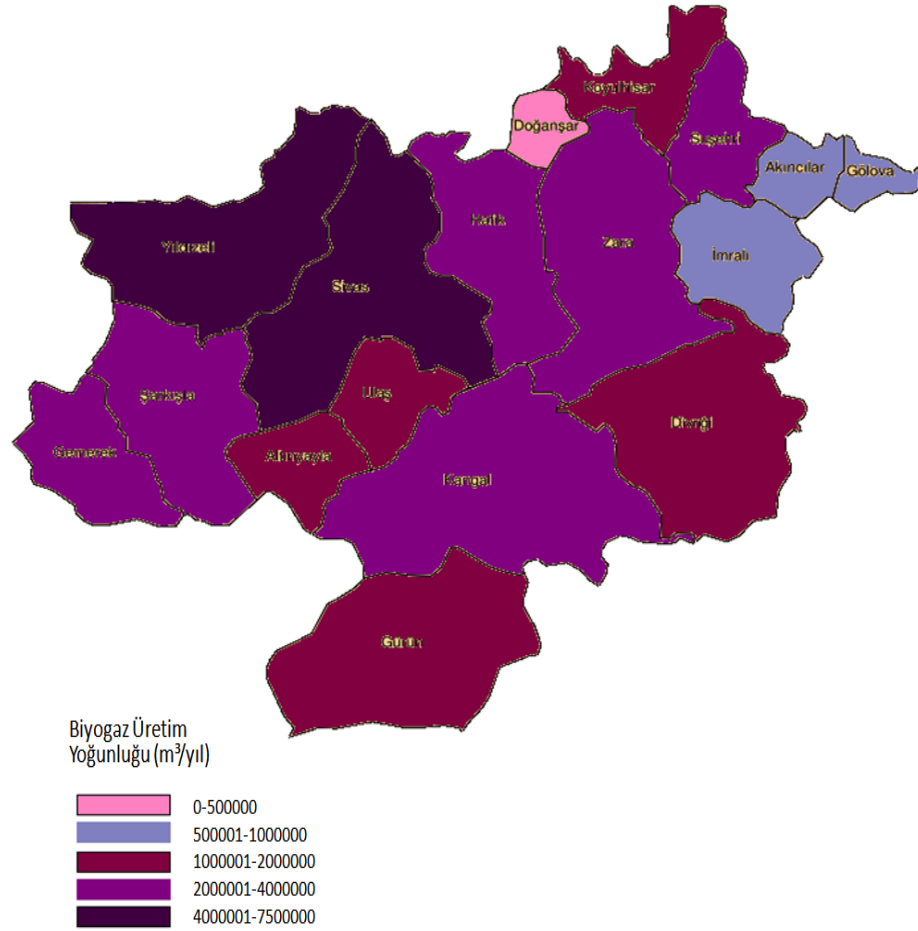


Şekil 5.4 Sivas ili yaş atık miktarı yoğunluğu



Şekil 5.5 Sivas ili elde edilebilir katı atık miktarı yoğunluğu

Sivas Merkez ve Yıldızeli ilçeleri yılda 4 000 000- 7 500 000 m³ tahmini üretim potansiyeli ile biyogaz potansiyelinin en çok olduğu ilçelerdir. Gemerek, Şarkışla, Kangal, Hafik, Zara, ve Suşehri ilçelerindeki yıllık tahmini biyogaz üretim potansiyeli 2 000 000-4 000 000 m³ arasındadır. Altınyayla, Ulaş, Gürün, Divriği ve Koyulhisar ilçelerindeki tahmini biyogaz üretim potansiyeli yıllık 1 000 000-2 000 000 m³ arasındadır. İmranlı, Akıncılar ve Gölova ilçelerindeki tahmini yıllık biyogaz üretim potansiyeli 500 000-1 000 000 m³ arasındadır. Son olarak Doğanşar ilçesinin yıllık tahmini biyogaz üretim potansiyeli 500 000 m³'ün altındadır. İlin yıllık tahmini Biyogaz üretim potansiyelini gösteren harita Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Sivas ili tahmini biyogaz üretim potansiyeli

Sivas ilinin 17 ilçesinde yapılan hayvansal üretimin yoğunluk ve çeşitliğinin farklı olması sebebiyle ilçelerin biyogaz potansiyelleri de farklılık göstermektedir. Ancak hayvan sayılarının fazlalığından dolayı Merkez, Yıldızeli, Şarkışla, Suşehri, Zara,

Gemerek, Hafik ve Kangal ilçesinin biyogaz üretim potansiyeleri ve elde edilebilecek elektrik ve ısı enerjisi eş değeri diğer ilçelere göre fazladır.

Buna göre Merkez ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 45 427 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 17,8 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 52 133 olup 420 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı %14,9 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 13,2 dir. Merkez ilçenin toplam kanatlı sayısı ise 154 159 adet olup ilin toplam kanatlı hayvan sayısına oranı % 34,8 dir. Merkez ilçede 2 adet 50 000 adet üzeri olan tavukçuluk işletmeleri de mevcuttur. Merkez ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Sivas ili Merkez İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Merkez	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	45 427	447 683	33 576	6 715 246	152 436 090	16 937 343	2 352 409
Küçükbaş	52 133	47 571	1 855	371 057	8 422 985	935 887	129 984
Kanatlı	154 159	5 627	1 950	389 937	8 851 581	983 509	136 598
Toplam	251 719	500 881	37 381	7 476 240	169 710 657	18 856 740	2 618 992

Akıncılar ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 4 865 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı %1,9 dur. İlçenin küçükbaş hayvan mevcudu bulunmamaktadır. Akıncılar ilçesi toplam kanatlı sayısı 1 477 olup ilin toplam kümes hayvanları sayısına oranı % 0,3 kadardır. Akıncılar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Sivas ili Akıncılar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Akıncılar	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	4 865	47 945	3 596	719 169	16 325 128	1 813 903	251 931
Küçükbaş	0	0	0	0	0	0	0
Kanatlı	1 477	54	19	3736	84 807	9 423	1 309
Toplam	6 342	47 998	3 615	722 905	16 409 935	1 823 326	253 240

Altınyayla ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 7 063 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 2,8 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 18 485 olup 130 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 4,6 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 4,7 dir. Altınyayla ilçesi toplam kanatlı sayısı 8 081 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 1,8 kadardır. Altınyayla ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Sivas ili Altınyayla ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Altınyayla	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	7 063	69 606	5 220	1 044 088	23 700 797	2 633 422	365 753
Küçükbaş	18 485	16 868	658	131 567	2 986 571	331 841	46 089
Kanatlı	8 081	295	102	20 440	463 999	51 555	7 160
Toplam	33 629	86 768	5 980	1 196 095	27 151 367	3 016 819	419 003

Divriği ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 7 302 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 2,9 dur. Küçükbaş hayvan sayısı 25 957 olup 145 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 5,1 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 6,6 dır. Divriği ilçesi toplam kanatlı sayısı

7 161 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 1,6 kadardır. Divriği ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Sivas ili Divriği ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Divriği	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	7 302	71 961	5 397	1 079 418	24 502 792	2 722 532	378 130
Küçükbaş	25 957	23 686	924	184 749	4 193 801	465 978	64 719
Kanatlı	7 161	261	91	18 113	411 174	45 686	6 345
Toplam	40 420	95 908	6 411	1 282 280	29 107 767	3 234 196	449 194

Doğanşar ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 2 650 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 1,0 dır. İlçenin küçükbaş hayvan mevcudu bulunmamaktadır. Doğanşar ilçesi toplam kanatlı sayısı 4 608 olup ilin toplam kümes hayvanları sayısına oranı % 1,0 kadardır. Doğanşar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Sivas ili Doğanşar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Doğanşar	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	2 650	26 116	1 959	391 736	8 892 413	988 046	137 229
Küçükbaş	0	0	0	0	0	0	0
Kanatlı	4 608	168	58	11 656	264 585	29 398	4 083
Toplam	7 258	26 284	2 017	403 392	9 156 997	1 017 444	141 312

Gemerek ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 14 500 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 5,7 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 28 683 olup 169 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 6,0 iken ilin

toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 7,3 tür. Gemerek ilçesi toplam kanatlı sayısı 10 738 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 2,4 kadardır. Gemerek ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Sivas ili Gemerek ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Gemerek	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	14 500	142 898	10 717	2 143 463	48 656 599	5 406 289	750 873
Küçükbaş	28 683	26 173	1 021	204 151	4 634 233	514 915	71 516
Kanatlı	10 738	392	136	27 161	616 560	68 507	9 515
Toplam	53 921	169 463	11 874	2 374 775	53 907 392	5 989 710	831 904

Gölova ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 3 794 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 1,5 dir. İlçenin küçükbaş hayvan mevcudu bulunmamaktadır. Gölova ilçesi toplam kanatlı sayısı 3 470 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 0,8 kadardır. Gölova ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Sivas ili Gölova ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Gölova	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	3 794	37 390	2 804	560 848	12 731 251	1 414 583	196 470
Küçükbaş	0	0	0	0	0	0	0
Kanatlı	3 470	127	44	8 777	199 242	22 138	3 075
Toplam	7 264	37 517	2 848	569 625	12 930 493	1 436 721	199 545

Gürün ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 9 150 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 3,6 dır. Küçükbaş hayvan sayısı 72 481 olup 355 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 12,5 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 18,4 tür. Gürün ilçesi toplam kanatlı sayısı 24 181 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 5,5 kadardır. Gürün ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Sivas İli Gürün İlçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Gürün	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	9 150	90 173	6 763	1 352 599	30 703 992	3 411 555	473 827
Küçükbaş	72 481	66 139	2 579	515 884	11 710 556	1 301 173	180 718
Kanatlı	24 181	883	306	61 165	1 388 437	154 271	21 426
Toplam	105 812	157 195	9 648	1 929 647	43 802 985	4 866 998	675 972

Hafik ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 14 100 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 5,5 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 7 461 olup 65 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 2,3 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 1,9 tür. Hafik ilçesi toplam kanatlı sayısı 13 786 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 3,1 kadardır. Hafik ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12 Sivas ili Hafik ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Hafik	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	14 100	138 956	10 422	2 084 333	47 314 348	5 257 150	730 160
Küçükbaş	7 461	6 808	266	53 104	1 205 453	133 939	18 603
Kanatlı	13 786	503	174	34 871	791 572	87 952	12 216
Toplam	35 347	146 267	10 862	2 172 307	49 311 373	5 479 041	760 978

İmranlı ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 5 956 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 2,3 tür. İlçenin küçükbaş hayvan mevcudu bulunmamaktadır. İmranlı ilçesi toplam kanatlı sayısı 2 210 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 0,5 kadardır. İmranlı ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.13 Sivas ili İmranlı ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

İmranlı	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	5 956	58 696	4 402	880 446	19 986 117	2 220 680	308 428
Küçükbaş	0	0	0	0	0	0	0
Kanatlı	2 210	81	28	5 590	126 895	14 099	1 958
Toplam	8 166	58 777	4 430	886 036	20 113 012	2 234 779	310 386

Kangal ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 12 500 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 4,9 dur. Küçükbaş hayvan sayısı 51 525 olup 350 adet işletmede

toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 12,4 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 13,1 dir. Kanatlı hayvan sayısı 44 990 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 10,2 kadardır. Kangal ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.14 Sivas ili Kangal ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Kangal	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	12 500	123 188	9 239	1 847 813	41 945 344	4 660 594	647 305
Küçükbaş	51 525	47 017	1 834	366 729	8 324 753	924 973	128 468
Kanatlı	44 990	1 642	569	113 800	2 583 259	287 029	39 865
Toplam	109 015	171 846	11 642	2 328 342	52 853 355	5 872 595	815 638

Koyulhisar ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 9 780 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 3,8 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 11 092 olup 109 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 3,8 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 2,8 dir. Koyulhisar ilçesi toplam kanatlı sayısı 12 769 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 2,9 kadardır. Koyulhisar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15 Sivas ili Koyulhisar ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Koyulhisar	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	9 780	96 382	7 229	1 445 729	32 818 037	3 646 449	506 451
Küçükbaş	11 092	10 121	395	78 947	1 792 104	199 123	27 656
Kanatlı	12 769	466	161	32 299	733 177	81 464	11 314
Toplam	33 641	106 969	7 785	1 556 974	35 343 318	3 927 035	545 422

Suşehri ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 22 150 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 8,7 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 12 987 olup 175 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 6,2 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 3,3 tür. Suşehri ilçesi toplam kanatlı sayısı 14 112 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 3,2 kadardır. Suşehri ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16 Sivas ili Suşehri ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Suşehri	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	22 150	218 288	16 372	3 274 324	74 327 149	8 258 572	1 147 024
Küçükbaş	12 987	11 851	462	92 435	2 098 274	233 142	32 381
Kanatlı	14 112	515	178	35 696	810 290	90 032	12 504
Toplam	49 249	230 654	17 012	3 402 454	77 235 713	8 581 746	1 191 909

Şarkışla ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 23 671 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 9,3 tür. Küçükbaş hayvan sayısı 29 929 olup 205 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 7,2 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 7,6 dır. Kanatlı sayısı 94 692 olup ilin toplam kümes hayvanları sayısına oranı % 21,4 kadardır. Şarkışla ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17 Sivas ili Şarkışla ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Şarkışla	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	23 671	233 278	17 496	3 499 166	79 431 059	8 825 673	1 225 788
Küçükbaş	29 929	27 310	1 065	213 020	4 835 546	537 283	74 623
Kanatlı	94 692	3 456	1 198	239 519	5 437 074	604 119	83 905
Toplam	148 292	264 044	19 759	3 951 704	89 703 679	9 967 075	1 384 316

Ulaş ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 9 252 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 3,6 dır. Küçükbaş hayvan sayısı 14 058 olup 119 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 4,2 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 3,6 dır. Ulaş ilçesi toplam kanatlı sayısı 8 810 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 2,0 kadardır. Ulaş ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Sivas ili Ulaş ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Ulaş	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	9 252	91 178	6 838	1 367 677	31 046 266	3 449 585	479 109
Küçükbaş	14 058	12 828	500	100 058	2 271 312	252 368	35 051
Kanath	8 810	322	111	22 284	505 857	56 206	7 806
Toplam	32 120	104 328	7 450	1 490 019	33 823 435	3 758 159	521 967

Yıldızeli ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 42 800 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 16,8 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 54 698 olup 443 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 15,7 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 14,0 dır. Yıldızeli ilçesi toplam kanatlı sayısı 23 225 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 5,2 kadardır. Yıldızeli ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19 Sivas ili Yıldızeli ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Yıldızeli	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	42 800	421 794	31 635	6 326 910	143 620 857	15 957 873	2 216 371
Küçükbaş	54 698	49 912	1 947	389 313	8 837 405	981 934	136 380
Kanath	23 225	848	294	58 746	1 333 545	148 172	20 579
Toplam	120 723	472 554	33 875	6 774 969	153 791 807	17 087 979	2 373 330

Zara ilçesi büyükbaş hayvan varlığı 19 580 adet olup ilin toplam büyükbaş hayvan sayısına oranı % 7,7 dir. Küçükbaş hayvan sayısı 14 000 olup 144 adet işletmede toplanmıştır. Bu rakam ile İlin toplam küçükbaş işletme sayısına oranı % 5,1 iken ilin toplam küçükbaş hayvan sayısına oranı % 3,5 dir. Zara ilçesi toplam kanatlı sayısı 14 490 olup ilin toplam kanatlı sayısına oranı % 3,3 kadardır. Zara ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve elde edilebilecek enerji değeri tahmini Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 Sivas ili Zara ilçesi biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini

Zara	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m³/yıl)	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	19 580	192 961	14 472	2 894 414	65 703 186	7 300 354	1 013 938
Küçükbaş	14 000	12 775	498	99 645	2 261 942	251 327	34 907
Kanatlı	14 490	529	183	36 652	831 994	92 444	12 839
Toplam	48 070	206 265	15 154	3 030 710	68 797 122	7 644 125	1 061 684

5.4 Sivas İli Hayvancılık İşletmeleri İçin Biyogaz Tesisi Büyüklükleri

Reaktör büyüklüklerinin hesaplanmasında kullanılan değerler olan taze atık üretimi miktarı canlı ağırlığın yüzdesi olarak alınmıştır. Bu çerçevede büyükbaş hayvanlarda taze atık üretimi 27 kg/gün.hayvan, küçükbaş hayvanlarda 2,5 kg/gün.hayvan ve kümes hayvanlarında 0,10 kg/gün.hayvan olarak alınarak hesaplanmıştır.

Buna göre 20 büyükbaş hayvana sahip bir işletmede;

Elde edilebilir yaş atık kg/gün olarak, $20 \cdot 0,5 \cdot 27 = 270$ kg/gün

Elde edilebilir yaş atık m^3 /gün olarak, $270 / 0,975 \cdot 1000 = 0,277$ m^3 /gün

Katı madde 0,15

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı; Σ biyokütle miktarı x nem oranı

Nem oranı (1-KM)

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı $0,277 \cdot (1 - 0,15) = 0,23545$ m^3 /gün

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = [Biyokütle (B) – Toplam su içeriği] / Katılık oranı

İstenen KM 0,09

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = $(0,277 - 0,23545) / 0,09 = 0,46166$ m^3 /gün

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $S_d - \Sigma B$

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $0,46166 - 0,277 = 0,18466$ m^3 /gün $\approx 0,185$ m^3

Biyogaz tesisi reaktör hacmi (V_d) = $S_d \cdot HRT$

$V_d = 0,46166 \cdot 30 = 13,85$ $m^3 \approx 14$ m^3

50 küçükbaş hayvana sahip bir işletmede;

Elde edilebilir yaş atık kg/gün olarak, $50 \cdot 0,13 \cdot 2,5 = 16,25$ kg/gün

Elde edilebilir yaş atık m^3 /gün olarak, $16,25 / 0,975 \cdot 1000 = 0,017$ m^3 /gün

Katı madde 0,30

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı; Σ biyokütle miktarı x nem oranı

Nem oranı (1-KM)

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı $0,017 \cdot (1 - 0,30) = 0,0119$ m^3 /gün

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = [Biyokütle (B) – Toplam su içeriği] / Katılık oranı

İstenen KM 0,09

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = $(0,017 - 0,0119) / 0,09 = 0,00566$ m^3 /gün

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $S_d - \Sigma B$

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $0,00566 - 0,017 = -0,0396$ m^3 /gün $\approx 0,040$ m^3 /gün

Biyogaz tesisi reaktör hacmi (V_d) = $S_d \cdot HRT$

$V_d = 0,0566 \cdot 30 = 1,698$ $m^3 \approx 2$ m^3

30 000 kanatlı hayvana sahibi bir işletmede;

Elde edilebilir yaş atık kg/gün olarak, $30\,000 \cdot 0,99 \cdot 0,10 = 2\,970$ kg/gün

Elde edilebilir yaş atık m³/gün olarak, $2\,970 / 0,975 \cdot 1000 = 3,046$ m³/gün

Katı madde 0,35

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı; Σ biyokütle miktarı x nem oranı

Nem oranı (1-KM)

Biyokütleden gelecek toplam su miktarı $3,046 \cdot (1-0,35) = 1,9799$ m³/gün

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = [Biyokütle (B) – Toplam su içeriği] / Katılık oranı

İstenen KM 0,09

Beslenen hammadde miktarı (S_d) = $(3,046 - 1,9799) / 0,09 = 11,845$ m³/gün

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $S_d - \Sigma B$

İlave edilmesi gereken su miktarı (W) = $11,845 - 3,046 = 8,799$ m³/gün **$\approx 8,8$ m³/gün**

Biyogaz tesisi reaktör hacmi (V_d) = $S_d \cdot \text{HRT}$

$V_d = 11,845 \cdot 30 = 355,35$ m³ **≈ 356 m³**

Sivas ili ve ilçelerine ait büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı işletmeler için elde edilebilir yaş atık miktarına göre hesaplanan biyogaz tesisi büyüklükleri Çizelge 5.21, Çizelge 5.22 ve Çizelge 5.23’de verilmiştir.

Çizelgede görüldüğü gibi en düşük olarak 20 büyükbaş hayvanı olan bir işletme 14 m³ hacminde inşa edilecek bir tesiste günlük 8,1 m³ biyogaz üretmesi mümkündür. Yine 200 büyükbaş hayvanı olan bir işletmenin 1391 m³ hacminde inşa edeceği bir tesiste günlük 81 m³ biyogaz üretmesi mümkündür.

Çizelge 5.21 Sivas ili büyükbaş hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre uygun biyogaz tesisi büyüklükleri

Büyükbaş Hayvan Sayısı	Elde edilebilir yaş atık		% 9 katı için eklenecek su miktarı (m ³)	Hidrolik bekletme süresi (gün)	Reaktör hacmi (m ³)	Biyogaz üretim miktarı (m ³ /gün)
	(kg/gün)	(m ³)				
20	270	0,277	0,185	30	14	8,1
30	405	0,415	0,277	30	21	12,2
40	540	0,554	0,369	30	28	16,2
50	675	0,692	0,461	30	35	20,3
100	1 350	1,384	0,923	30	70	40,5
200	2 700	2,770	1,85	30	139	81,0

Çizelge 5.22 Sivas ili küçükbaş hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre biyogaz tesisi büyüklükleri

Küçükbaş Hayvan Sayısı	Elde edilebilir yaş atık		% 9 katı için eklenecek su miktarı (m ³)	Hidrolik bekletme süresi (gün)	Reaktör hacmi (m ³)	Biyogaz üretim miktarı (m ³ /gün)
	(kg/gün)	(m ³)				
50	16	0,017	0,040	30	2	0,98
100	33	0,033	0,077	30	4	1,95
150	49	0,050	0,117	30	5	2,93
200	65	0,067	0,156	30	7	3,90
250	81	0,083	0,277	30	9	2,34
300	98	0,100	0,233	30	10	2,80
500	156	0,160	0,373	30	16	4,67
1 000	325	0,333	0,777	30	34	18,69

İşletmelerdeki küçükbaş işletme büyüklükleri dikkate alınarak yapılabilecek reaktör tasarımlarında yukarıdaki çizelgede de görüleceği üzere 500 küçükbaş hayvanı olan bir işletme için 16 m³ olan tesis büyüklüğü 20 büyükbaş hayvan varlığı olan işletmeyle arasında sadece 2 m³ fark vardır. Elde edilebilecek biyogaz verimi ise yaklaşık yarı yarıyadır. Dolayısıyla işletme büyüklüğü 1000 küçükbaş hayvan varlığının altında olan küçükbaş işletmelerde, büyükbaş hayvan işletmeleri ile kıyaslandığında biyogaz verimi açısından biyogaz üretimi verimli gözükmemektedir. Bu durum küçükbaş hayvan atıklarının elde edilebilirlik derecesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.23 Sivas ili Merkez ve Şarkışla ilçesi kanatlı hayvan işletmeleri için hayvan kapasitesine göre biyogaz tesisi büyüklükleri

Kanatlı Hayvan Sayısı	Elde edilebilir yaş atık		% 9 katı için eklenecek su miktarı (m ³)	Hidrolik bekletme süresi (gün)	Reaktör hacmi (m ³)	Biyogaz üretim miktarı (m ³ /gün)
	(kg/gün)	(m ³)				
30 000	2 970	3,046	8,780	30	356	207,90
40 000	3 960	4,062	11,734	30	474	277,20
50 000	4 950	5,077	14,667	30	593	346,50
60 000	5 940	6,092	17,599	30	711	415,80

Sivas ili Merkez ve Şarkışla ilçelerinde bulunan toplam 4 adet kanatlı hayvan işletmelerinde en düşük işletme büyüklüğü olan 30 000 hayvan kapasiteli işletme için tesis büyüklüğü 356 m³ ve günlük biyogaz üretim potansiyeli 207 m³ olurken, en büyük işletme büyüklüğü olan 60 000 hayvan kapasiteli işletme için tesis büyüklüğü 711 m³ ve günlük biyogaz üretim potansiyeli 415 m³ kadardır.

6. SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan biyogaz dünyanın birçok ülkesinde değerlendirilmektedir. Çin ve Hindistan gibi Asya ülkelerinde aile tipi bireysel üretim, Finlandiya, Almanya ve Avusturya gibi Avrupa ülkelerinde ise üreticilerin kooperatifleşmesi ile sanayi üretimi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Üretiminde ise büyük ölçüde hayvansal atıklardan yararlanılmaktadır.

Bu çalışmayla yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve ülkemizde 1980'lerde çok ilgi gösterilen daha sonra bir anda uzaklaşılan şu an ise değeri tekrar fark edilen biyogazın hem hayvan sayısı hem de ekim alanı ile Türkiye'nin en büyük illeri arasında olan Sivas İli'nin yetiştiriciliği yapılan büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığı durumunu incelemek ve Sivas İli hayvancılığı mevcut istatistikî değerleri kullanılarak ve belirli bilimsel kriterler çerçevesinde elde edilebilecek biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri ve biyogaz tesisleri için optimum çalışma koşulları belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca; ilin hayvancılık yapan işletme büyüklüklerine göre uygun biyogaz reaktör kapasiteleri belirlenmesine çalışılmıştır.

Hayvansal üretimin çok yaygın olarak yapıldığı Sivas'ta tahmini hesaplamalara göre yıllık 2,88 milyon ton elde edilebilir yaş atıktan 41 milyon m³ biyogaz ve 917 715 GJ'luk (36 MTEP) enerji potansiyeli söz konusudur. Sivas'ın ilçeleri içerisinde hayvansal varlığın en yoğun olduğu ilçeler olan Merkez İlçe ve Yıldızeli İlçesi dikkate alındığında ise Merkez İlçe'de tahmini hesaplamara göre yıllık 500 881 ton yaş atıktan 7 milyon m³ biyogaz ve 169 710 GJ'luk enerji potansiyeli, Yıldızeli ilçesinde ise 472 554 ton yaş atıktan 6,7 milyon m³ biyogaz ve 153 791 GJ'luk enerji potansiyeli söz konusudur.

Yapılan hesaplamalarda toplam hayvansal atık içerisinde büyükbaş hayvan atıkları %87'lik bir paya sahiptir. Bölgede yer alan büyükbaş işletmelerin % 44,8'i 1-10 hayvana sahipken % 22'si 11-25, % 17,1'i 26-50 ve % 10'u 51-100 hayvana sahiptir. Küçükbaş hayvan işletmelerinin ise % 30'u 50-100 hayvana sahiptir. Yine bölgede 4 adet 30 000 kapasitenin üzerinde faaliyet gösteren tavukçuluk işletmesi

bulunmaktadır. Büyükbaş hayvan işletmeleri için 20 baş hayvana sahip işletmeler için 14 m³, 30 hayvan için 21 m³, 40 hayvan için 28 m³, 50 hayvan için ise 35 m³'tür. Bu tesislerden elde edilecek günlük tahmini biyogaz miktarları da sırasıyla; 8,1 m³, 12,2 m³, 16,2 m³, 20,3 m³'tür.

Küçükbaş hayvan işletmelerinde 500 küçükbaş hayvanı olan bir işletme için 16 m³ olan tesis büyüklüğü 20 büyükbaş hayvan varlığı olan işletmeyle arasında sadece 2 m³ fark vardır. Elde edilebilecek biyogaz verimi ise yaklaşık %50 kadardır. Dolayısıyla işletme büyüklüğü 1000 küçükbaş hayvan varlığının altında olan küçükbaş işletmelerde, büyükbaş hayvan işletmeleri ile kıyaslandığında biyogaz verimi açısından tek başına biyogaz üretimi verimli gözükmemektedir.

Kümes hayvanları işletmelerinde ise 30 000 kanatlı sahibi işletme için 356 m³, 40 000 kanatlı için 474 m³, 50 000 kanatlı için 593 m³ ve 60 000 kanatlı için 711 m³'tür. Bu tesislerde elde edilecek biyogaz verimi sırasıyla günlük 207 m³, 277 m³, 346 m³, 415 m³'tür.

Sivas İlinin işletme sayıları ve hayvan varlığı dikkate alındığında Sivas-Merkez, Şarkışla, Gürün, Kangal, Yıldızeli, Suşehri ve Zara ilçesinde ciddi biyogaz üretim ve yatırım potansiyeli bulunmaktadır. Biyogaz potansiyelinin ise hem tarımsal biyogaz tesisleri içerisindeki aile tipi, çiftlik tipi ve merkezi biyogaz tesisleri için hem de endüstriyel biyogaz tesisleri için uygun olduğu görülmektedir. Özellikle büyükbaş hayvan işletme sayısının % 44,8'inin sahip olduğu hayvan sayısının sayısı 1-10 arasında olduğu göz önüne alındığında bu işletmeler için merkezi biyogaz tesisleri uygun gözükmemektedir. Bunun yanında hayvansal üretim işletmelerinin % 87'sinin bitkisel üretimi de birlikte yaptığı göz önüne alındığında bu işletmelerin belirli sayıda bir araya gelerek kooperatif, birlik veya şirket kurarak hem hayvansal atıkların hem de bitkisel atıkların değerlendirilmesi mümkündür. Bu potansiyel sistemli bir planlama ile birlikte belediye, özel idare, kalkınma ajansları gibi farklı kaynaklarla desteklenmesiyle değerlendirilebilecektir.

Elde edilecek biyogaz evsel kullanım olarak yemek pişirmede, ısınmada ve aydınlatmada kullanılabileceği gibi tesislere ilave edilebilecek CHP (Kojenerasyon) üniteleri vasıtasıyla elektrik enerjisi, sıcak su ve sıcak hava elde edilebilmektedir. Son yapılan yasal düzenlemeler ile üretilen elektrik enerjisi işletmelerin kendi ihtiyaçları ile kullanılabileceği gibi doğrudan şehir şebeke elektriğine de verilebilmektedir.

Biyogaz üretim teknolojisinin bölgemize sağlayacağı en önemli katkı ise şüphesiz biyogaz üretiminin çevreye olan olumlu etkileri ve kullanılabilir forma dönüştürülmüş gübre çıktısıdır. Özellikle Suşehri, Koyulhisar, Akıncılar, Divriği, Gürün ilçelerinde sebze ve meyve yetiştiriciliği yapan tarımsal işletmeler için bu fermente gübre çok ciddi fayda sağlayacaktır. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında çok geç olmadan Sivas İlinin bu potansiyeli değerlendirilmeli ve ekonomiye kazandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2010. Sivas Tarım İl Müdürlüğü Brifingi, Sivas.
- Anonim. 2011a. Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Verimliliği. Web sitesi. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_mikrop.html Erişim Tarihi 05.05.2011
- Anonim 2011b. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık/Artık Hammaddeler. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Verimliliği. Web sitesi. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_hammadde.html Erişim Tarihi 14.06.2011
- Anonim 2011c. Biyogaz Tesislerinin Tasarımı ve Tasarımda Dikkate Alınması Gereken Parametreler. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Verimliliği. Web sitesi. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_tesis_tasarimi.html Erişim Tarihi 15.07.2011
- Anonim 2011d. Biyogaz ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Verimliliği. Web sitesi. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_yan_urun.html Erişim Tarihi 15.07.2011
- Anonim 2011e. Sivas Tarım ve Hayvancılığı Web sitesi. <http://www.sivastarim.gov.tr/Ilimizdetarim.aspx> Erişim Tarihi 05.05.2011
- Anonim 2011f. Sivas İli Tavukçuluk İşletmeleri, İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Hayvansal Üretim ve Hayvan Sağlığı Şube Müdürlüğü Birifingi.
- Anonim 2011g. Biyogaz Oluşumu. Web Sitesi. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz>, Erişim Tarihi: 07.09.2011
- Anonymous 1999. ISAT - AT Information: Biogas. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany. Web sitesi. http://gis.lrs.uoguelph.ca/AgriEnvArchives/bioenergy/download/biogas_gtz_de.pdf Erişim Tarihi: 03.08.2011
- Anonymous 2000. Anaerobic Digestion of Farm and Food Processing Residues. Anaerobic Digestion of Farm and Food Processing Residues Good Practice Guidelines, British Biogen, pp. 22-48, Web sitesi. <http://www.mrec.org/biogas/adgpg.pdf> Erişim Tarihi 27.06.2011
- Anonymous 2011a. Teknoloji, Pendahuluan. 1M-BioFarm, Web sitesi. <http://cms.1m-bio.com/teknologi/> Erişim Tarihi: 03.08.2011
- Anonymous 2011b. ABE 482—Environmental Engineering in Biosystems. Web sitesi. <http://www.engr.usask.ca/classes/BLE/482/notes/ABE%20482%20Lecture%209.pdf> Erişim tarihi: 14.07.2011
- Anonymous 2011c. GE Makes Bio-Gas More Efficient. Web sitesi. <http://www.blog.thesietech.org/2009/07/page/6/> Erişim Tarihi: 07.09.2011

- Anonymous 2011d. Completed Projects CDM Gas Plants, Flares and Monitoring Equipment.Uniflare global Environmental Technology.Web sitesi. <http://www.uniflare.co.uk/4%20CompletedProjects%20CDM%20Gas%20Plants.%20Flares%20&%20Monitoring%20Equipment.html> Erişim Tarihi:07.09.2011
- Anonymous 2011e. Biogas Utilisation for District Heating. Sustainable Energy Systems in Advanced Cities (SESAC) Project,Web sitesi. <http://www.concerto-sesac.eu/spip.php?rubrique167> Erişim Tarihi:07.09.2011
- Anonymous 2011f. Gas - biogas - fuel cell. Web sitesi. <http://live.pege.org/2006-hannover/gas-biogas-fuel-cell.htm>, Erişim tarihi: 04.08.2011
- Acaroğlu, M., 2003. Biyokütle Enerjisinin Global Potansiyeli. Biyoenerji Politikaları. Avrupa Birliği Ve Türkiye. I.Ege Enerji Sempozyumu Ve Sergisi, Denizli.
- Acaroğlu, M., 2007. Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Yayın Dağıtım, ISBN: 978-605-395-047-9, Ankara.
- Afilal, M.E., Bakx, A., Belakhdar, N., and Membrez,Y. 2010. Evaluation of The Biogas Potential of Organic Waste in The Northern Provinces of Morocco. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 13 No:2 (2010) 249 – 255, Switzerland.
- Akbulut, A., Dikici, A. 2004. Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi. Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, s 36-41, Elazığ.
- Akpınar, N. 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi.İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Enerji Bilimi ve Teknolojileri Programı,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aktaş, A. 2008. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çamur Granüllerinin Oluşmasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Finsterwalder, T., Köttner, M., Volk S.and Janssen, R. 2008. Biogas Handbook, ISBN 978-87-992962-0-0 ,University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.
- Alçıçek A., Demiruluş H., 1994. Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi* S:13 s 5-9, İzmir.
- Amon T., Boxberger, J. 2000. Biogas Production From Farmyard Manure Institute For Agricultural, Environmental And Energy Engineering, University For Agricultural Sciences, Vienna, Austria. Web sitesi. <http://www.ramiran.net/doc00/Documents/Session%20V/PA24.pdf> Erişim Tarihi: 03.08.2011
- Armağan, B., Yıldız, H. ve Arslan, A. 2008. Gap Bölgesi Çiftlik Atıklarından Biyogaz Üretme Potansiyelinin İncelenmesi. VII Ulusal Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, s. 313-322, İstanbul.
- Arnott, M. 1985. The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, Peace Corps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48. ICE Resource Center/Peace Corps, USA.
- Asplund, S. 2005. The Biogas Production Plant at Umeå Dairy Evaluation of Design and Start-up. Linköpings universitet, Inst. för Tema, Avd. för Vatten i natur och samhälle, ISRN LIU-TEMAV/TBM-EX--06/001—SE, LiU-Tema V-Ex-12, Degree thesis, Swedish.

- Başçetinçelik, A., Öztürk, A.ve Karaca, C. 2007.Türkiye’de Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi Olanakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri. Web sitesi. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/32590c74a229a9f_ek.pdf?dergi=563 Erişim Tarihi 05.05.2011
- Boyd, R. 2000. Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia, United Kingdom.Web sitesi. <http://www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf> Erişim Tarihi: 05.05.2011
- Braun, R., Weiland, P. and Wellinger, A. 2009. Biogas from Energy Crop Digestion Task 37 - Energy from Biogas and Landfill Gas, 20 p., Germany. Web sitesi. http://www.iea-biogas.net/download/energycrop_def_Low_Res.pdf Erişim Tarihi:20.08.2011
- Buğutekin, A. 2007. Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Buss, M. and Seyfert, S. 2010. Biogas Potential in Rio Grande do Sul. An Examination of The Potential for Biogas From Pig Production, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) German Energy Agency International Cooperation, Germany.
- Daşdemir, B.2011. Veteriner Hekim.Sivas İl Gıda,Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü.
- Değirmenci, R.2011. Ziraat Mühendisi.Ulaş Tarım İşletmesi.Ulaş/Sivas
- Dennis, A. Burke, P.E. 2001. Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook Options for Recovering Beneficial Products From Dairy Manure Environmental Energy Company, 360-923-2000, USA. Web sitesi. <http://www.mrec.org/pubs/Dairy%20Waste%20Handbook.pdf> Erişim Tarihi: 28.08.2011
- Deublein, D. and Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. ISBN 978-3-527-31841-4 pp. 57-77, Germany.
- Dimitrova, D., Georgiev, K.,Cheriyska, I.,Garvanska, S.M. and Kolev, N. 2009. Biogas Potential in Bulgaria. Summary Report, Project: BiG>East (EIE/07/214), Institute of Soil Science Nikola Poushkarov, Bulgaria.
- Dzene, I. 2009. Biogas Potential in Latvia. Summary Report. Project: BiG>East (EIE/07/14), Deliverable 2.8, Based on Deliverables from WP2M, Ekodoma, Ltd. Latvia.
- Entürk, E., Yetilmezsoy, K. ve Öztürk, M. 2006. Gübre Atıklarının Arıtılmasında Sabit Kubbeli Çin Tipi Biyogaz Reaktörü Tasarımı: Bir Örnek Uygulama. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2006/3, s. 119-127, İstanbul.
- Ersoy, Y. 2007. İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde Enerji Geri Kazanılabilirliği.Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Eryaşar, A. 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.

- Eryaşar, A., Koçar, G. 2009. Biyogaz Üretiminde Basıncın Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 15. Sayı 2, s 187-193, Denizli.
- Fall, A., Werner, C. 2011. Biogas options and potential for Burkina Faso. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Ecological Sanitation Program, Division 44 – Environment and Infrastructure, Germany. Web sitesi. <http://www.sustainable-sanitation-alliance.org/documents/5thmeeting/day2/en-susana-durban-presentation-32-biogas-for-life-abdoulaye-fall.pdf> Erişim Tarihi:09.08.2011
- Gençoğlu, M.T. 2001. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
- Gregersen, K.H. 1999. Centralised Biogas Plants -Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Denmark. Web sitesi. <http://web.sdu.dk/bio/pdf/centra.pdf>, Erişim Tarihi: 07.09.2011
- Güç, M., Yılmaz, V. 2008. Organik Atıklardan Kaynaklı Sera Gazları Salınımlarının Azaltılmasında Anerobik Bozundurma'nın Önemi. VII Ulusal Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, s 139-150, İstanbul.
- Gül, N. 2006. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Haefke, C. 2010. Biogas-to-Energy Potential in Illinois.U.S. DOE Midwest Clean Energy Application Center, 10th Annual Conference on Renewable Energy from Organics Recycling Des Moines, October 18-20, Iowa, USA. Web sitesi. http://www.chpcentermw.org/pdfs/101810_Haefke2.pdf Erişim Tarihi:02.09.2011
- Heck, P. 2011. International Flow Management Lecture Notes 2010/11 Sustainable Waste Management, IfaS, Germany.
- Ilic M., Miletic S. 2010. Biogas Production From Manure. Web sitesi. <http://tap-energy.com/methane-digester2.html> Erişim Tarihi: 05.05.2011
- Kalyuzhnyi, S. 2008. Energy Potential of Anaerobic Digestion of Wastes Produced in Russia Via Biogas and Microbial Fuel Cell Technologies. IUPAC, Pure and Applied Chemistry, Vol. 80, No. 10, pp. 2115–2124, 2008.doi:10.1351/pac200880102115, Russia.
- Kampeis, P. 2011. International Flow Management Biomass Laboratory Notes 2010/11 Sustainable Waste Management, IfaS, Germany.
- Karaosmanoğlu, F. 2004. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Atıklar. Web sitesi. http://web.archive.org/web/20090430042628/http://www.biyogaz.com/bgu_ka.htm Erişim Tarihi:07.09.2011
- Kaya, D., Eyidoğan, M., Çoban, V., Çağman, S., Aydoner, C., Tırıs, M. 2009. Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi, Bildiriler Kitabı, s 59-62.
- Kaygusuz, K. 2002. Environmental Impacts of Energy Utilisation and Renewable Energy Policies in Turkey, Energy Policy, Volume 30, No. 8 pp.689-698.Turkey.

- Kılıç, N. 2008. Enerji Kaynaklarının Ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, İzmir Ticaret ve Sanayi Odası, Ar&Ge Bülten s.14-20, İzmir.
- Koçer Nacar, N. , Öner, C. ve Sugözü, İ. 2006. Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli Ve Biyogaz Üretimi. Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları s 17-20, Elazığ.
- Koçer, N., Ünlü, A. 2007. Doğu Anadolu Bölgesinin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi, Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, s 175-181, Elazığ.
- Konstantinos, S. 2009. Biogas Potential in Greece. Summary Report, Project: BiG>East (EIE/07/214) WP 2.8 Deliverable 2.2, Centre for Renewable Energy Sources (CRES), Greece.
- Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. 1999a. 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. Web sitesi. <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume1.pdf> Erişim Tarihi: 23.07.2011
- Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. 1999b. Biogas Digest, Biogas - Costs and Benefits and Biogas – Programme Implementation Volume III, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany. Web sitesi. <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume3.pdf> Erişim Tarihi: 25.08.2011
- Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. 1999c. Biogas Digest, Biogas – Country Reports Volume IV, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany. Web sitesi. <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume4.pdf> Erişim Tarihi: 23.07.2011
- Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. 1999d. Biogas Digest, Biogas - Application and Product Development Volume II, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany. Web sitesi. <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume2.pdf> Erişim Tarihi: 11.07.2011

- Köttner, M. 2003,. Dry Fermentation - A New Method for Biological Treatment in Ecological Sanitation Systems (Ecosan) for Biogas and Fertilizer Production from Stackable Biomass Suitable for Semiarid Climates. Ecosan Projekt, R 1740, German Agency for Technical Cooperation (GTZ), Germany. Web sitesi. <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-ecosan-dry-fermentation-2002.pdf> Erişim Tarihi:20.08.2011
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, D.Y. ve Avcı, D.E. 2001.Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, s 7, Mersin.
- Lampinen, A. 2007. Biogas Developments In Finland. Baltic States Seminar On Bioenergy, Estonia. Web sitesi. http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/Biogas_developments_in_Finland.ppt Erişim Tarihi: 06.09.2011
- Limmechokchail, B., Chawana, S. 2004. Implication of Biogas Potential in Thailand: The Case Study of Livestock Farm. The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE), 1-3 December 2004, 9-022 (P), pp. 912-914, Hua Hin, Thailand.
- Lübken, M., Wicherna, M., Schlattmann, M., Gronauer, A., Horna, H. 2007. Modelling the energy balance of an anaerobic digester fed with cattle manure and renewable energy crops, Institute of Water Quality Control, Science Direct, Water Research 41(2007) 4085-4096, Germany.
- Marchaim, U., 1992. Biogas Processes for Sustainable Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN 92-5-103126-6.
- Martineau, V., Worley, J. 2009. Introduction to Biogas. Rosalie Forest Eco Lodge ECOFEST, Dominica. Web sitesi. <http://www.rosalieforest.com/biogas%20workshop%20-%20may%204th%20v2.ppt> Erişim Tarihi:25.08.2011
- Nazlım, F. 2011. Sorumlu Müdür.Kızılırmak Tavuk Çiftliği.Sivas
- Omer, A.M., Fadalla Y., 2003. Biogas Energy Technology in Sudan, Renewable Energy, 28, pp. 499–507.
- Onurbaşı A., Eliçin A.K. 2010. Ankara'nın Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyeli ve Uygun Reaktör Büyüklüğünün Belirlenmesi. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, s.356-362 Hatay.
- Onurbaşı Avcıoğlu, A. 2010. Tavukçuluk Atıklarından Biyogaz Eldesi Ve Kullanım Olanakları. Tavuk Gübresinin İşlenerek Değerlendirilmesi Semineri, Hollanda Kraliyet Ankara Büyükelçiliği Tarım Müşavirliği ve BESD-BİR, 27 Mayıs 2010, Ankara.
- Onurbaşı Avcıoğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z., Koçtürk, D. 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler-Biyoyakıtlar. Nobel Yayınevi ISBN: 978-605-5426-71-2, 519 s, Ankara.
- Onurbaşı, A., 1993. Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlarda Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcı Geliştirilmesi. TÜBİTAK Doğa Dergisi Cilt 17, Sayı 3; s. 559-568, Ankara.
- Öztürk, M. 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara. Web sitesi. <http://www.mozturk.net/Upload/BiogazUretimi.pdf> Erişim Tarihi:07.09.2011

- Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B.M., Williams, R.B. 2008. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. California Environmental Protection Agency, USA. Web sitesi. <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Organics/2008011.pdf> Erişim Tarihi: 20.08.2011
- Rutz, D., Canssen, R. 2007. Biofuel Teknology Handbook. WIP Renewable Energies, pp. 114, Germany.
- Sözer, S., Yaldız, O. 2006. Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, s 179-183, Antalya.
- Sung, S. 2008. Anaerobic Water Treatment Technologies Department of Civil, Construction & Environmental Engineering Iowa State University National Cheng Kung University, USA. Web sitesi. <http://www.wpeiic.ncku.edu.tw/resources/Aeaerobic%20Water%20Treatment.pdf> Erişim Tarihi: 11.07.2011
- Topper, A. 2011. Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater. BioE 202 Iowa State University, USA. Websitesi. [http://home.eng.iastate.edu/~leeuwen/BioE202/BioE202%20Presentations/Anaerobic%20treatment%20and%20biogas%20\(short\).ppt](http://home.eng.iastate.edu/~leeuwen/BioE202/BioE202%20Presentations/Anaerobic%20treatment%20and%20biogas%20(short).ppt) Erişim Tarihi: 11.07.2011
- Toruk, F. ve Eker, B. 2003. Trakya Bölgesinde Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, s 1-6, İzmir.
- Ulusoy, Y. 2007. Sütüş Eğitim Semineri Notları, Bursa.
- Wiese, J., König R. 2011. Laboratory Analysis & Process Analysis Biogas Plant Monitoring. Application Report, Hach-Lange, Germany. Web sitesi. http://www.hach-lange.co.uk/shop/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/14782553/type/pdf/lkz/GB/spkz/en/TOKEN/sNUi9tNdSU8sGQWJWzIzB9LW6mA/M/hnJYmg Erişim Tarihi: 21.07.2011
- Wilkie, A.C. 2007. Digesters for Biogas Production. Web sitesi. <http://biogas.ifas.ufl.edu/digesters.asp> Erişim Tarihi 20.08.2011
- Worrel, W.A., Vesilind, P.A. 2011. Solid Waste Engineering. ISBN-13 978-1-4390-6215-9. Sayfa 321 Web sitesi. <http://books.google.com.tr/books?id=DOmQ2hAx-ooC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> Erişim tarihi 04.08.2011
- Yiğit, N. 2007. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İrfan YOKUŞ
Doğum Yeri : Sivas/Merkez
Doğum Tarihi : 15.08.1977
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Ziraat Meslek Lisesi 1991-1995
Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojisi 2001-2004
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı (Şubat 2009-Aralık 2011)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

İlçe Tarım Müdürlüğü Taşlıçay/AĞRI	18.06.1996-28.12.1999
İlçe Tarım Müdürlüğü Zara/SİVAS	28.12.1999-18.12.2000
Mülga Arıcılık Üretim ve Ürün Değerlendirme İstasyon Müdürlüğü SİVAS	18.12.2000-24.12.2003
Tarım İl Müdürlüğü SİVAS	24.12.2003-21.10.2004
İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü-SİVAS (Sivas- Erzincan Kalkınma Projesi)	21.10.2004-şu ana kadar