

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAVUK GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nazmiye GÜL**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. İsmail TOSUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA-2006**

**TAVUK GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nazmiye GÜL**

**Yüksek Lisans Tezi  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA, 2006**

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAVUK GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**NAZMIYE GÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**ISPARTA, 2006**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma jürimiz tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÜÇGÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail TOSUN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet BEYHAN

ONAY

Bu tez 23/01/2006 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../2006

Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN  
Enstitü Müdürü

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Avrupa Birliği ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	2
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	5
2.1 Biyogaz Üretimi .....	5
2.2 Biyogaz Üretiminin Safhaları.....	7
2.2.1 Hidroliz .....	9
2.2.2 Asit Üretimi .....	10
2.2.3 Metan Üretimi.....	11
2.3 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler .....	12
2.3.1 Besleme Sıklığı .....	12
2.3.2 Katı Madde İçeriği.....	13
2.3.3 Hidrolik Bekleme Süresi .....	13
2.3.4 Organik Yükleme Hızı.....	14
2.3.5 Karıştırma .....	15
2.3.6 Sıcaklık Kontrolü.....	16
2.3.7 pH Kontrolü.....	18
2.3.8 C/N Oranı .....	19
2.3.9 Köpük Oluşumu ve Kontrolü .....	22
2.3.10 Toksikite.....	22
2.4 Biyogaz Teknolojisinin Faydaları .....	24
2.5 Biyogaz Üretiminin Kısıtları .....	26
2.6 Biyogaz Tesisleri .....	28
2.7 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler.....	30
2.7.1 Kesikli (Batch) Fermantasyon .....	30
2.7.2 Beslemeli-Kesikli Fermantasyon.....	30
2.7.3 Sürekli Fermantasyon .....	30
2.8 Biyogaz İçindeki Kirleticilerin Arıtılması .....	30
2.8.1 Kirleticiler.....	30
2.8.2 Arıtma Yöntemleri.....	31

2.9	Tavuk İşletmeciliği ve Atık Problemi .....	32
2.9.1	Tavuk Yetiştiriciliği.....	32
2.9.2	Atık Üretimi ve Atıkların Özellikleri .....	35
2.9.3	Atıkların Çevresel Etkileri.....	37
3.	MATERYAL VE METOD .....	39
3.1	Materyal.....	39
3.2	Reaktörler .....	39
3.3	Yapılan Analizler ve Analiz Yöntemleri .....	40
4.	BULGULAR .....	43
4.1	Materyalin Özellikleri.....	43
4.2	Çalışma Ortamının ve Reaktörlerin Sıcaklığı.....	43
4.3	İşletmeye Alma .....	44
4.4	Biyogaz Üretimiyle İlgili Deney Sonuçları .....	44
4.5	Başmakçı İlçesi Biyogaz Potansiyeli.....	47
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ .....	49
6.	KAYNAKLAR.....	51
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

## ÖZET

### **Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması**

Geleneksel enerji kaynaklarının tükenebilir nitelikte oluşu ve rezervlerin önümüzdeki yıllarda tükenme boyutlarına ulaşması insanlığı yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Günümüzde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgar, biyokütle vb. enerji kaynakları kullanılmakta ve kullanımı artarak devam etmektedir. Tavuk gübresinden anaerobik ayrışma ile biyogaz üretimi önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Bu yolla ürün kalıntıları temiz, kullanılabilen ve yüksek enerji içerikli biyogaza dönüştürülmektedir. Anaerobik prosesin avantajları; yüksek derecede atık stabilizasyonu, patojen giderimi, oksijen ihtiyacının olmaması, biyogaz üretimi ve ayrılmış ürünün gübre olarak tarımda kullanılması olarak sayılabilir.

Bu çalışmada tavuk gübresinden laboratuvar ölçekli anaerobik çürütme reaktörleri ile biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Reaktörler sıcaklığı elektrikli ısıtıcı ile  $35 \pm 1$  °C'de tutulan su banyosuna yerleştirilmiştir. Çalışmalar 2 etap halinde yürütülmüştür. 1.etapta aşırı oranı %10 (hacimce)'da sabit tutularak katı madde oranları %2.5, %5, %10 ve %15'e ayarlanmıştır. 2.etapta ise katı madde oranı %10'da tutularak aşırı oranları %0 ve %2.5 olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Biyogaz bileşimi orsat cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Biyogaz miktarı ise ölçeklendirilmiş olan gaz toplama kaplarından okunup kaydedilmiştir. 90 gün boyunca takip edilen deneyler sonucunda katı maddenin artmasıyla birim katı madde başına biyogaz üretiminin azaldığı, aşırı oranının artmasıyla birim katı madde başına biyogaz üretiminin bir miktar arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, anaerobik çürüme, tavuk gübresi.

## ABSTRACT

### **Investigation of Biogas Production Potential from Chicken Manure**

The traditional energy resources are consuming. So the danger of consuming of the resources by years directs human being to find new and renewable energy resources. Today, the using of a new and renewable energy sources such as solar, wind and biomass are increasing day by day. Biogas production from chicken manure with anaerobic digestion is an important alternative energy source. By this way, waste is converted to biogas which has hygienic, useable and high energy content. The advantages of anaerobic processes include high degree of waste stabilization, reduction in pathogens, no oxygen requirements, production of biogas, and agricultural application of decomposed product.

In the study, the potential of biogas production from chicken manure was investigated by using a laboratory scale anaerobic digestion reactors. These reactors were placed into water batch operated at  $35 \pm 1$  °C with electric heater. Studies were carried out in two stages. At first stage, solid ratios were regulated to 2,5%, 5%, 10% and 15% while rate of inoculation was 10 % (volumetric). At second stage, inoculation ratios were regulated to 0% and 2.5% while rate of solid was 10 % (volumetric). Biogas composition was determined by using orsat apparatus. Biogas quantity was recorded by manual from scaled gas collection tank. During 90 days, the end of experiments, biogas production per solid decreased with increasing of solid ratios, and increased a bit with increasing of the inoculation ratios.

**Key Words:** Biogas, anaerobic digestion, chicken manure.



**TEŞEKKÜR**

Tez çalışması boyunca danışmanlığımı yürüten, her konuda yardım, fikir ve desteğini esirgemeyen, her türlü bilgi ve deneyimini paylaşan, yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail Tosun'a çok teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmalarım süresince, yardımları için Çevre Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarım Doç. Dr. Mehmet Kitiş'e, Yrd. Doç. Dr. Süleyman Mazlum'a, Arş.Gör. Nevzat Özgü Yiğit'e, Arş.Gör. Ş.Şule Kaplan'a ve Çevre Mühendisi Sezen Coşkun'a, laboratuardaki çalışma arkadaşlarıma, ayrıca tez çalışmalarım boyunca bana manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tansel Koyun'a teşekkür ederim. Öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan destek ve fedakarlıklarını esirgemeyen Aileme, saygılarımı sunar teşekkür ederim.

03.01.2006  
Nazmiye GÜL

**SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ**

AKM	: Askıda katı madde
APHA	: Amerika Halk Sağlığı Kuruluşu (American Public Health Association)
BHA	: Birim hacim ağırlığı
C	: Karbon
C/N	: Karbon/Azot oranı
CH <sub>4</sub>	: Metan
CO <sub>2</sub> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: Karbondioksit-bikarbonat
H <sub>2</sub>	: Hidrojen
H <sub>2</sub> S	: Hidrojen sülfür
HAc	: Uçucu yağ asidi
HBS	: Hidrolik bekleme süresi
KM	: Katı madde
N	: Azot
NH <sub>3</sub> -N	: Amonyak azotu
O <sub>2</sub>	: Oksijen
OYH	: Organik yükleme hızı
Q	: Günlük debi
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TKM	: Toplam katı madde
UKM	: Uçucu katı madde
UYA	: Uçucu yağ asidi
V	: Sıvı hacmi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Tahıl atıklarından gelen lignoselülozüklerle karıştırılan hayvansal atık ve gübreden biyogaz üretim prosesi ( Batzias vd., 2005) .....	5
Şekil 2. 2 Anaerobik Çürümenin Safhaları (Kossmann ve Pönitz, 1999'den).....	8
Şekil 2. 3 Psikofilik (◇), Mezofilik (■), Termofilik (□) Sıcaklık Koşullarının Biyogaz Üretim Hızı Üzerinde Etkisi (Bouallagui vd., 2004'den).....	17
Şekil 2. 4 Merkezi biyogaz tesisi (Raven ve Gregersen, 2005'den) .....	29
Şekil 2. 5 Yıllar İtibariyle Türkiye'de Tavuk Sayıları .....	33
Şekil 2. 6 Başmakçı ilçesinde bulunan tavuk yetiştirme çiftliğinden bir görünüm .....	34
Şekil 2. 7 Bir Tavuk Yetiştirme Çiftliğinde Atıkların İşlenme Süreci.....	35
Şekil 2. 8 Tavuk gübrelerinin atık bandıyla ortamdan uzaklaştırılması.....	36
Şekil 2. 9 Tavuk gübrelerinin biriktirildiği atık toplama çukurları.....	38
Şekil 3. 1 Deneylerde kullanılan reaktörlerin görünümü .....	40
Şekil 3. 2 Orsat-tipi gaz analiz cihazı.....	42
Şekil 4. 1 Deney süresince ortam sıcaklığının değişimi .....	44
Şekil 4. 2 Her bir reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarları .....	45
Şekil 4. 3 Reaktörde birim katı madde başına oluşan biyogaz miktarları.....	46
Şekil 4. 4 R1, R2, R3, R4 Reaktörlerinde oluşan kümülatif biyogaz değerleri (Aşı: %10, Katı madde oranları sırayla %2,5, 5, 10 , 15).....	46
Şekil 4. 5 R5 ve R6 Reaktörlerinde oluşan kümülatif biyogaz değerleri (KM oranı %10, Aşı oranları sırasıyla %0 ve %2,5).....	47

**ÇİZELGE LİSTESİ**

Çizelge 2. 1 Doğalgaz ve Biyogazın Kompozisyonu (Öztürk, 2005'den).....	6
Çizelge 2. 2 Bazı Materyallerin Metan Gazı Değerleri (Çeken, 1997).....	7
Çizelge 2. 3 Patates posasının anaerobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Parawira vd., 2005'den).....	9
Çizelge 2. 4 Organik Maddelerin C/N Oranı (Öztürk, 2005'den) .....	21
Çizelge 2. 6 Amonyanın Metan Üretimi Üzerine Etkisi (Öztürk, 2005'den) .....	24
Çizelge 2. 7 Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması .....	26
Çizelge 2. 8 Birincil Enerji Kaynakları Üretimi (www.enerji.gov.tr) .....	27
Çizelge 2. 9 Kümes çiftliklerinde ve kümes hayvanları kesim yerlerinde üretilen organik katı atıkların miktarı ve özellikleri (Salminen ve Rintala, 2002'dan) .....	37
Çizelge 3. 1 Reaktörlerde kullanılan gübre ve aşının karışım oranları .....	39
Çizelge 4. 1 Elemental Analiz Sonuçları (%) .....	43
Çizelge 4. 2 Ham posanın kimyasal özellikleri (kuru ağırlık) .....	43

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmaya devam etmesi, sanayileşmenin yeni boyutlar kazanması ve insanoğlunun geleneksel yaşam şartlarından kurtularak yaşama standardını yükseltmek istemesi, enerji ihtiyacını hızlı bir şekilde artırmaktadır. Bu nedenle, yeni enerji kaynaklarının bulunması, enerji teknolojisinin geliştirilmesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çalışmaların yoğunlaştığı alanlar olmuştur. Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Bütün gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizin de gelişmiş ülkelerin hızına ulaşabilmesi için yeterli enerjiye sahip olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ve nüfusla birlikte artan enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmadığı takdirde dünyamızı daha yaşanılır bir hale getirmek ve gelecek nesillere daha güzel yarınlar bırakabilmek her geçen gün daha da güçleşecektir. İşte bu noktada doğada bulunan atıklardan enerji üretme imkanı devreye girerek bizi yarınlarımız için ümitlendirmektedir. "Geleceğin yakıtı" olarak da adlandırılan bu enerji kaynağı biyogazdır.

Anaerobik biyoteknoloji ile biyogaz üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyokütleden enerji elde etme yöntemlerinden birisidir. Son yirmibeş yıldır, anaerobik çürütme prosesleri, endüstriyel ve zirai atıkların çoğuna uygulanmaktadır (Speece, 1996; Ghosh, 1997; Karim vd., 2005). Elde edilen bu temiz enerji, organik artıklarının oksijensiz ortamda metan gazına dönüşümü ile mümkündür. Geriye kalan kısım ise zenginleştirilmiş bir gübre kaynağı olmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılan bazı organik atıklar bitkisel atıklar; hububat sap ve samanı, mısır, şeker pancarı yaprakları, fındık kapsülü, yabancı otlar, bitkisel ürünlerin işlenmesi esnasında meydana gelen atıklar, hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların gübresi ve idrarı, kesimhane artıkları, hayvansal ürünlerin işlenmesi esnasında meydana gelen atıklar, insan kaynaklı atıklar; insan dışkısı ve idrarı, evlerde oluşan katı atıklar (çöpler), orman atıkları; orman altı döküntüleri (yaprak, sap vs.), su bitkileri; her türlü yosun ve alglerdir.

Ekonomik yapısı gereği temelde bir tarım ve hayvancılık ülkesi olan yurdumuzda çok miktarda büyük ve küçük baş hayvan yetiştirilmektedir. 1999 yılı itibarı ile ülkemizde

167.6 milyon et tavuğu ve 70.8 milyon yumurta tavuğu olmak üzere toplam 238.4 milyon tavuk (DİE, 2001) beslendiği göz önünde bulundurulacak olursa küçük baş hayvan üretiminde tavukların ayrı bir yer aldığı anlaşılır.

Küçük veya büyükbaş hayvan çiftliklerinden oluşan atık ve atıksular toprak kirliliği, yeraltı ve yüzeysel su kirliliği ve görüntü kirliliğine yol açmaktadırlar. Ayrışabilir hayvansal atıkların emniyetsiz ve uygunsuz bertarafı yüzey ve yeraltısuyu kirliliği, koku, toz, toprak ve amonyak emisyonunu kapsayan başlıca çevresel kirlilik problemlerine neden olur. Burada aynı zamanda sera etkisine yol açan metan emisyonuna ilişkin endişe duyulur. Anaerobik çürüme vasıtasıyla büyük miktardaki atık, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan metana dönüştürülebilir (Karim vd., 2005). Diğer taraftan biyogaz kullanılırken atmosfere bırakılan karbondioksit bitkiler tarafından fotosentezle geri alınmaktadır ([www.kimyamuhendisi.com](http://www.kimyamuhendisi.com)).

Gübrelerin hem bertarafı hem de yararlı kullanımları için, teknikler vardır, bunlar; arazi uygulamaları, metan gazı (biyogaz ) üretimi, buharlaştırma, NH<sub>3</sub> üretimi, katı ayırma, hidroliz, hidrojen üretimi, kompostlaştırma, hayvanların beslenmesi, mikrobiyal protein sentezi ve bitkilerde substrat olarak kullanımı (Mikkelsen, 2000; Moral vd., 2005). Hayvan atıkları için çevresel açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemleri büyük ölçekte biyokütle-enerji dönüşüm sistemi olarak dikkate alındığında bu atıklardan enerji elde edilmesi ve ayrıca yan ürün şeklinde besin değeri olan gübre elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, tavuk gübresinin değişik katı madde oranlarının ve aşı oranlarının uygun sıcaklık ve anaerobik koşullar altında biyogaz üretimi ve üretime etki eden faktörler incelenmiştir.

### **1.1 Avrupa Birliği ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Kyoto protokolü (1997) ile tüm ülkelerin karbondioksit emisyonunu azaltıcı yönde tedbir almaları kararlaştırılmıştır. Gerek fosil yakıt kullanımının gelecek için olumsuz sonuçları ve gerekse fosil yakıtların zaman içinde biteceği gerçeği, alternatif ve

yenilenebilir enerji kullanımını önemli kılmaktadır. Bu yeni yakıtlar, fosil yakıtlardan daha temiz olmalı, küresel ısınmaya sebep olmamalı, çevre dostu olmalı, tehlikesiz olmalı, ülke ekonomisine yük getirmemeli, enerjide dışa bağımlılığı önlemeli ve sürekli kullanıma elverişli olmalıdır ([www.temenar.gazi.edu.tr](http://www.temenar.gazi.edu.tr)).

AB Komisyon'unca üye ülkelerin Beyaz Rapor'da belirtilen strateji ve eylem planına yönelik uygulamaları değerlendirilerek sera gazlarının azaltılmasını öngören Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Anlaşması ve ilgili Kyoto Protokolü çerçevesinde AB tarafından taahhüt edilen hedefe (2008–2010 döneminde sera gazları emisyonlarının 1990 yılı düzeyinin % 8 kadar altına indirilmesi) ulaşmak için ihtiyaç duyulan önlemler konusunda da bir politika oluşturmak üzere 27 Eylül 2001 tarihinde "İç Elektrik Piyasasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminin Teşvik Edilmesi" isimli bir direktif (2001/77/EC Direktifi) yayımlanmıştır.

Direktifin amacı çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunması şartlarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması aynı zamanda yerel istihdam yaratarak sosyal bütünleşmeye olumlu etki yapacak, arz güvenirliliğine katkıda bulunacak ve Kyoto hedeflerine daha hızlı ulaşılmasına imkan sağlayacaktır. Bu direktife göre ulusal hedeflerin 2010 yılına kadar erişilmesi öngörülen %12'lik Beyaz Rapor hedefiyle ve özellikle YEK'lerden üretilen elektriğin Topluluğun toplam elektrik tüketimi içerisindeki payının 2010 yılına kadar %22.1 olması hedefiyle uyumlu olması istenmektedir.

Komisyon ilki 31 Aralık 2005 tarihinden geç olmamak üzere ve bu tarihten itibaren her 5 yılda bir Avrupa Parlamentosu ve Konsey'ine bu direktifin uygulanması hakkında bir değerlendirme raporu sunması öngörülmektedir. Üye ülkeler bu direktifin gerektirdiği yasa yönetmelik ve idari mevzuatı 27 Ekim 2003 tarihinden geç olmamak üzere yürürlüğe koyacaklar ve bunlar hakkında Komisyon'u bilgilendireceklerdir.

Ülkemizde 10.05.2005 tarihinde kabul edilen 5346 nolu yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunun birinci bölümünde belirtilen amaç yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının

yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.

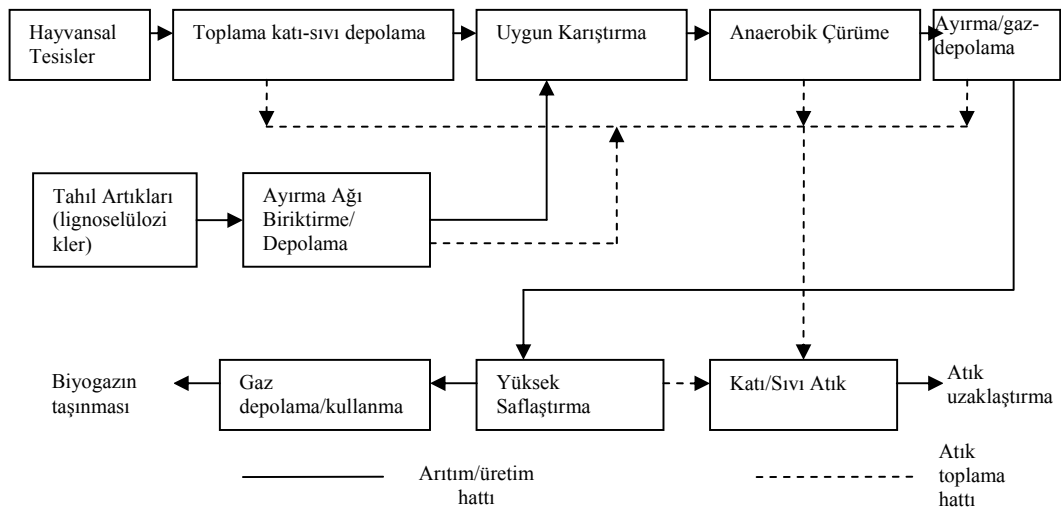
Bu kanun; yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esasları kapsar. Bu kanunun ikinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynak alanlarının belirlenmesi, korunması, kullanılması ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ile ilgili maddeler bulunmaktadır (<http://rega.basbakanlik.gov.tr/Eskiler/2005/05/20050518-1.htm>).



## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1 Biyogaz Üretimi

Biyogaz anaerobik (oksijensiz) ortamda, sabit bir sıcaklık altında organik maddelerin farklı mikroorganizma grupları tarafından parçalanmasıyla meydana gelir. Biyogazın doğal üretimi biyojeokimyasal karbon döngüsünün önemli bir parçasıdır. Metanojenler (metan üreten bakteriler) organik madde parçalayan ve çevreye ayrılmış ürünler veren mikroorganizmalar zincirinin son halkasıdır. Bu süreçte yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz üretilir, mikrobiyal faaliyetler sayesinde atmosfere her yıl 590-880 milyon ton metan salınmaktadır, dışarı verilen metanın yaklaşık %90'ı biyokütlenin ayrışmasından elde edilmektedir, kalan kısmı ise fosil kökenli (petro kimyasal prosesler vb.) kaynaklardan elde edilmektedir (Kossmann ve Pönitz, 1999). Karışık organik maddelerin kullanıldığı biyogaz tesislerinin çalışma düzeni Şekil 2. 1 'de gösterilmiştir. Burada çeşitli kaynaklardan gelen atıklar uygun depolama ve karıştırma ile anaerobik çürütücüde çürütülür, ayrışma işleminden sonra çıkan biyogaz yüksek saflaştırma işleminden geçirilerek depolanır veya kullanılır.



Şekil 2. 1 Tahıl atıklarından gelen lignoselülozlerle karıştırılan hayvansal atık ve gübreden biyogaz üretim süreci ( Batzias vd., 2005)

Biyogaz; renksiz, yanıcı, ana bileşenleri metan ve karbondioksit olan, az miktarda hidrojen sülfür, azot, oksijen ve karbonmonoksit içeren bir gazdır. Genellikle organik maddenin %40-%60 kadarı biyogaza dönüşür. Geri kalan artık ise kokusuz, gübre olarak kullanılmaya elverişli bir katı veya sıvı üründür. Çizelge 2. 1’de doğalgaz ve biyogaz bileşimi değerleri verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi metan (CH<sub>4</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) biyogaz’ın temel bileşenidir. Doğalgaz içerisindeki metan içeriği hacimce %92 iken biyogaz içerisinde %55-70 olduğu görülmektedir. Bununla birlikte karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarı doğalgaz içerisinde hacimce %0.61 seviyesinde yok denecek kadar az iken biyogaz içerisinde %35-45 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. 1 Doğalgaz ve Biyogazın Kompozisyonu (Öztürk, 2005’den)

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

Organik maddeler oksijen yokluğunda ayrıştığında hacimce %40-70 metan (CH<sub>4</sub>), %30-60 karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), %1-5 diğer gazlar [%0-1 hidrojen (H<sub>2</sub>), %0-3 hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S)] oluşur. Her saf gazda olduğu gibi biyogazın karakteristik özellikleri basınca ve sıcaklığa bağlıdır. Bu karakteristik özellikler aynı zamanda nem içeriğinden de etkilenirler. Isıl değeri 4700-6000 kcal/m<sup>3</sup> olan bir gazdır. Isıl değeri, karışımın içinde yer alan metan gazı derişimine bağlıdır. Yanan metan gazının kendisi kokusuz olmasına karşın, biyogaz karışımındaki H<sub>2</sub>S gazının bulunmasına bağlı olarak koku oluşabilir

(Kobya, 1992). Metan gazı miktarı uzun bekletme sürelerinde yüksektir. Bekletme süresi kısaltılırsa metan içeriği %50'nin altına düşer, bu durumda biyogaz uzun vadeli yanmaz. Biyogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir ve ancak -164 °C'de ve yüksek basınç altında sıvı haline gelebilir. Bu özelliğinden dolayı halen kullanılmakta olan likit gazlar gibi kolayca sıvı hale gelmez. Bekletme süresinin yanında metan gazı değeri besleme materyallerine de bağlıdır. Bazı materyallerin metan gazı değerleri Çizelge 2. 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Bazı Materyallerin Metan Gazı Değerleri (Çeken, 1997)

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

Farklı türden mikroorganizmalar anaerobik koşullar altında organik substratların karbonlarını metabolize ederler. Bu işlem -ayırışma veya anaerobik fermantasyon- bir besin zincirini takip eder. Mesela, eğer gübre bu şekilde işlemde geçirilirse, sindirilmiş gübre taze gübreye göre çok daha az kokuyla son ürün olarak elde edilir. Buna ek olarak, bu sindirilmiş gübre nötr pH-derecesine sahiptir ve bitkilere uygulandığındaki yakıcı etkisi ortadan kalkar. Ayırışmadan sonra azot genellikle organik bağını yitirmiş olur ve amonyak (NH<sub>3</sub>) formunda bulunur. Bundan dolayı, bitki tarafından direk olarak özümselebilir. Bu şekilde çiftçiler, gübreleştirmenin basit ve ucuz bir yolunu elde ederler. Pahalı mineral gübrelerden vazgeçebilirler.

## 2.2 Biyogaz Üretiminin Safhaları

Biyogaz üretimi karmaşık ve farklı rolü olan mikroorganizmaların bulunduğu kompleks bir biyokimyasal süreçtir. Burada genellikle başlıca iki grup bakteri (asit bakterileri ve

metan bakterileri) esas görevi üstlenirler. Bunlarda kendi arasında ikişer alt gruba ayrılmaktadır.

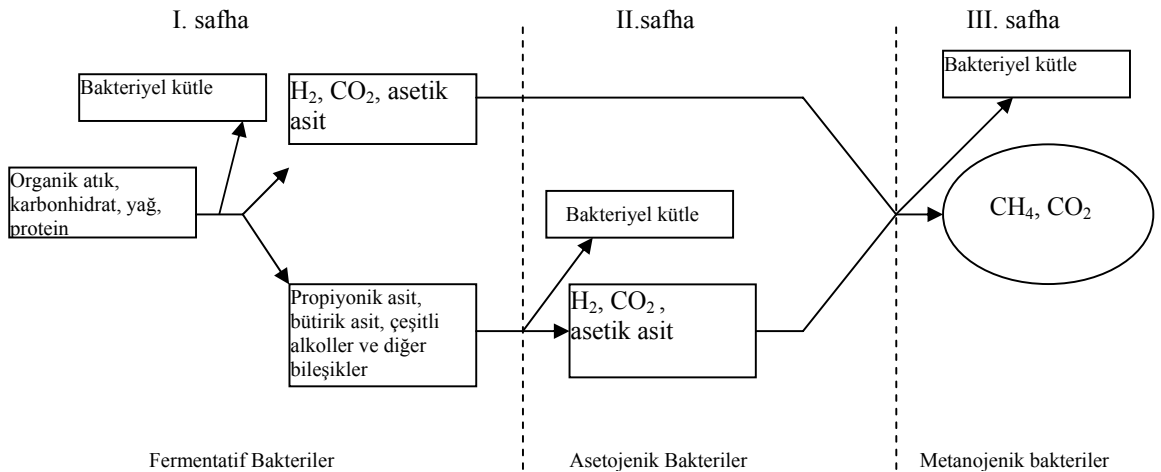
Başlıca anaerobik mikroorganizma grupları;

Asit Bakterileri; bütirik/propiyonik asit üretenler ve asetik asit üretenler

Metan Bakterileri; asetik asit kullananlar, hidrojen kullananlar

Kompleks organik maddelerin havasız ayrışması en genel halde hidroliz safhası, asit üretimi safhası ve metan üretimi olmak üzere üç safhalı bir proses halinde ele alınabilir (Demir ve Öztürk, 1989). Anaerobik çürümenin safhaları Şekil 2. 2’de gösterilmiştir.

İlk safhada yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözülmüş organik maddeler bakterilerin hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha düşük molekül ağırlıklı organik maddelere dönüşür. Asit üretimi safhasına ise düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitleri ve ardından da asetik asite dönüştürülür. Son safhada ise asit üretimi safhasında üretilen asetik asitin parçalanmasıyla veya CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> senteziyle metan üretimi gerçekleşir.



Şekil 2. 2 Anaerobik Çürümenin Safhaları (Kossmann ve Pönitz, 1999'den)

### 2.2.1 Hidroliz

Hidroliz, organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından monomerlerine (yapı taşı) dönüştürülmesi olayıdır. Anaerobik ayrışma çok basamaklı bir prosestir, hidroliz başlıca adımlardan biridir. Hidroliz boyunca kompleks yapıda olan çözünemeyen substrat makromoleküller bakteriler tarafından daha basit ve daha çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar (Parawira vd., 2005).

Bakterilerin hücre dışı enzimleri partikül substratları küçük taşınabilir moleküllere hidroliz ederler, hidrolize olan bu küçük taşınabilir moleküller hücre zarı arasından geçebilir. Enerji sağlamak için ve hücresel bileşenler sentez etmek için hücre içerisinde bu basit moleküller kullanılır. Polisakkaritler basit şekerlere dönüştürülür, selülozun hidrolizi selülaz enzimi tarafından gerçekleşir glukoz oluşur, hemiselülozun hidrolizi ise xyloz, glikoz, pentozos, arabinoz ve mannoz gibi monosakkaritlere indirgenmesi ile sonuçlanır. Nişasta da amilaz enzimi tarafından glukozla dönüştürülür (Elefsiniotis ve Oldham, 1994; Rajoka ve Malik, 1997; Yang vd., 2001; Parawira vd., 2005). Enzimler için optimum pH ve sıcaklık değerleri Çizelge 2. 3'te verilmiştir

Çizelge 2. 3 Patates posasının anaerobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Parawira vd., 2005'den).

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

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

$(C_6H_{10}O_5)_n + (n)H_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$  reaksiyonu ile ifade edilir.

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

### 2.2.2 Asit Üretimi

Asit oluşturucu bakteriler, çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi daha küçük yapıları maddelere dönüştürürler. 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.

Uçucu yağ asitlerinden başka asit bakterileri organik bileşikleri daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve esas olarak metana dönüştürürler. Havasız reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonunun 1000-1500 mg HAC/L'den fazla olması istenmez. 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 (Öztürk, 2005).

Asit üretimi safhasında hidroliz ürünleri asetik asit veya reaktördeki işletme şartlarının kararlı olmaması halinde, propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izo valerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürülür. Asit üretimi safhasında iki farklı bakteri grubu görev yapmaktadır. Birinci grup bakteriler (fermentasyon veya asidojenik bakteriler), organik polimerlerin hidrolizinde ve müteakiben de açığa çıkan oligomen ve

monomerler gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri) karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Diğer bir tür de belli şartlarda H<sub>2</sub> üretir.

Asetik asit bakterileri çoğalmaları için gerekli enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar. Termodinamik sebeplerle asetik asit bakterileri sadece H<sub>2</sub> kullanan mikroorganizma alt grupları ile birlikte yaşarlar. Asetik asit bakterileri aynı zamanda H<sub>2</sub> üreten asetojenik bakteriler olarak da anılmaktadır.

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 asetojenik bakteri grubu ise aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır.



Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır.

### 2.2.3 Metan Üretimi

Anaerobik fermantasyonun üçüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır. Bu bakteriler ve optimum faaliyet sıcaklıkları aşağıdadır:

Psikofilik Bakteriler : 5-25 °C

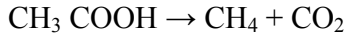
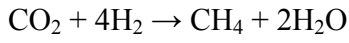
Mezofilik Bakteriler : 25-38 °C

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. 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 fermantasyon uygulanır. (www.eie.gov.tr)

Metan üretimi yavaş bir süreçtir ve genellikle havasız arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilmektedir. Metan, asetik asitin parçalanması ve/veya H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'in sentezi sonucu üretilir.



Havasız reaktörlerde üretilen CH<sub>4</sub>'in yaklaşık %30'u H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den, %70'i ise asetik asitin parçalanmasından oluşmaktadır (Jeris ve Mc Carty, 1965).

## 2.3 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

### 2.3.1 Besleme Sıklığı

Düzenli bir gaz üretimi ve sıcaklık kontrolünü sağlamak için çürütücüyü sık aralarla, örneğin günde birkaç kez beslemekte yarar vardır. Besleme sıklığının artması organik maddenin parçalanma hızını yükseltmektedir (Bayrak Çeken, 1997). Çünkü düzenli bir gaz üretimi için karışım içerisindeki katı madde miktarının sabit tutulması gerekmektedir. Katı madde miktarını sabit tutabilmek için günlük besleme karışımına katılacak su ve gübre miktarları ile günlük besleme miktarları hesaplanır.

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

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



### 2.3.2 Katı Madde İçeriği

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

### 2.3.3 Hidrolik Bekleme Süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir (Öztürk, 2005). Bunu bir denklemle ifade edecek olursak,

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

şeklinde gösterebiliriz. 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 aşağıda verilmiştir.

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

Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçır 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. Dolayısıyla hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir (Öztürk, 2005).

#### 2.3.4 Organik Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı, biyoreaktöre günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak ifade edilir. Hayvan gübresi içindeki organik madde muhtevası (OM),

$$OM(\%) = \left[ \frac{TKM(g) - İOM(g)}{TKM(g)} \right] * 100$$

şeklinde bulunur. Burada,

İOM: kül muhtevası, g

Anaerobik arıtmada bakteriler organik yükleme hızına karşı oldukça hassastırlar. Anaerobik arıtma için organik yükleme hızı ( $\text{kg/m}^3\text{-gün}$ ),

$$OYH = \frac{Q \times UKM}{V} = \frac{UKM}{HBS}$$

denklemleriyle ifade edilir.

Burada

UKM: Uçucu katı madde konsantrasyonu,  $\text{kg/m}^3$

Q: Günlük debi,  $\text{m}^3/\text{gün}$

V: Sıvı hacmi,  $\text{m}^3$

Mezofilik şartlarda çalışan reaktörlerde optimum OYH,

Sığır Gübresi 2.5-3.5  $\text{kg UKM/m}^3\text{-gün}$

İlave Besin Maddeli Sığır Gübresi 5.0-7.0  $\text{kg UKM/m}^3\text{-gün}$

Domuz Gübresi 3.0-3.5  $\text{kg UKM/m}^3\text{-gün}$  alınır.

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

### 2.3.5 Karıştırma

Anaerobik çürütücülerin performansı öncelikle reaktördeki substratın bekleme süresinden, yaşayabilecek durumda olan bakteriyel popülasyon ve giren substratın birbirleri arasındaki temas derecesinden etkilenir. Verimli substrat dönüşümü elde edilmesinde, karıştırmanın önemi pek çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Casey, 1986; Lee vd., 1995; Smith vd., 1996; Karim vd., 2005). Çürütücü içerisindeki substratın karıştırılması sayesinde mikroorganizmalar üniform bir biçimde dağıtılır ve aynı zamanda ısı transferi gerçekleşir (Sawyer ve Grumbling, 1960; Meynell, 1976; Karim vd., 2005). Karıştırma işlemi ayrıca çürümeyi ilerlettiği için partikül büyüklüğünü azaltmaya ve karışımdan biyogazın serbest kalmasına yardım eder.

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 ( Brade ve Noone, 1981; Karim vd., 2005). 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 (geçirimli borular, sızıntı ve diğer faktörler vasıtasıyla). Bilindiği üzere havanın içerisinde bulunan oksijenin metan üretimi üzerinde inhibisyon etkisi bulunmaktadır (Patel vd., 1984). Böylece metan üretimi yavaşlar ve olumsuz etkilenir.

Kısaca karıştırmanın amaçlarını sıralayacak olursak,

- 1.Metanojenler tarafından üretilen metabolitlerin (gaz) giderimi.
- 2.Bakteriyel popülasyon (aşı) ve taze substratın karışması (aşılama).
- 3.Çökeltmenin ve köpük oluşumunun engellenmesi.
- 4.Uniform bir bakteriyel popülasyon yoğunluğunun sağlanması.
- 5.Etkin çürütücü hacmini azaltan ölü bölge oluşumunun önlenmesi (Kossmann ve Pönitz, 1999).

### **2.3.6 Sıcaklık Kontrolü**

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

Biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında aşağıdaki sıcaklık aralıkları korunmalıdır. Bunlar:

Psikofilik sıcaklık aralığı 5-25 °C,

Mezofilik sıcaklık aralığı 25 °C - 38 °C

Termofilik sıcaklık aralığı 50-60 °C

Mikroorganizmalar belli sıcaklık aralığında optimum büyüme sağlarlar. Biyokimyasal reaksiyonla metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar (Şekil 2. 3).

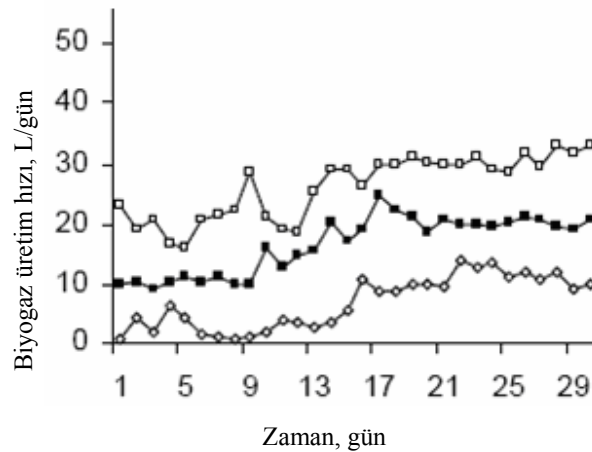
Termofilik sıcaklık şartlarında mezofilik sıcaklık şartlarına göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre daha fazladır. Dolayısıyla reaktör hacmi mezofilik şartlara göre daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre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

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

Psikofilik şartlarda  $\pm 2$  °C /saat

Mezofilik şartlarda  $\pm 1$  °C/saat

Termofilik şartlarda  $\pm 0.5$  °C/saat aralığında korunmalıdır.



Şekil 2. 3 Psikofilik (◇), Mezofilik (■), Termofilik (□) Sıcaklık Koşullarının Biyogaz Üretim Hızı Üzerinde Etkisi (Bouallagui vd., 2004'den).

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

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

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

Anaerobik çürütme istemleri sıcaklık değişimlerine (özellikle ani sıcaklık düşüşü) karşı, aerobik sistemlere göre çok daha hassastır (Öztürk, 1999). Anaerobik çürütücünün optimum işletme sıcaklığı 30-35 °C'dir. Bu sıcaklık tank içine yerleştirilen ısıtıcılarla sağlanabilir. Isıtma için tesisten elde edilen biyogazdan ve güneş enerjisinden faydalanılabilir. Ayrıca tesisi sera içine almak, siyaha boyamak gibi yöntemler de kullanılabilir. Çürütücünün ısı izolasyonu iyi bir şekilde yapılmalıdır.

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

### **2.3.7 pH Kontrolü**

Metan oluşturucu bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemi 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).

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

Biyoreaktörlerde pH düştüğü zaman iki yaklaşım uygulanır. Birinci yaklaşımda organik madde beslemesi kesilmelidir. Böylece ortamda metanojenik mikroorganizmaların konsantrasyonu artırılarak yağ asidi konsantrasyonu azaltılabilir. pH kabul edilebilir seviyeye yükseldikten sonra (6.8 gibi) beslemeye tekrar devam edilir. İkinci yaklaşım pH'ı yükseltmek ve tamponlama kapasitesini artırmak için ortama kimyasal maddeler ilave edilir. Kimyasal madde ilave etmenin en önemli avantajı pH derhal kararlı hale gelebilir. Dengesiz popülasyonlar hızlı şekilde kendisini düzeltmeye çalışırlar.

Kimyasal madde olarak sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ve soda (sodyum bikarbonat) çözeltileri ilave edilebilir. Her iki madde de Türkiye'de bol olarak bulunmaktadır. Sodyum bikarbonat biraz pahalıdır. Fakat kalsiyum karbonat gibi ilave bir katı madde oluşturmaz (Öztürk, 2005).

### **2.3.8 C/N Oranı**

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

Besi maddesinde azot bulunmasının iki faydası vardır. Birincisi, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar. İkincisi, amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önler. Böylece

metan oluşturucu bakterilerin büyümesi için uygun pH şartlarının sağlanması oldukça önemlidir.

Besi 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 görülmüştür ki hayvan atığı içinde 5000 mg/l azotun bulunması biyokimyasal reaksiyon üzerine olumsuz etki yapmadığı gözlenmiştir. 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 (H<sub>2</sub>) ile karbon dioksit gazlarından metan üretimi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Asetattan metan oluşumu üzerine amonyak minimum etki yapmaktadır. Hidrojen (H<sub>2</sub>) tüketiminin engellenmesi, propiyonik asitin parçalanmasını zorlaştırır. Bu da metanojenik bakterilerin tükettiği asetatların engellenmesi gibi hareket eder.

Hayvan gübresinden biyogaz üretilen atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. Bu durumda hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 2. 4'de verilmiştir.

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



Çizelge 2. 4 Organik Maddelerin C/N Oranı (Öztürk, 2005'den)

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	
Kesimhane atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	
<b>Evsel Ve Tarımsal Atıklar</b>					
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	

### 2.3.9 Köpük Oluşumu ve Kontrolü

Fazla miktarda gaz çıkışı çürütücülerde kaçınılmaz olarak kalıcı köpük tabakasına yol açabilir. Köpük oluşumu, gaz çıkışının fazla olduğu işletmeye alma, inhibisyon sonrası iyileşme veya organik yükteki ani artıştan kaynaklanabilir (Mosey ve Foulkes, 1984; Öztürk, 1999). Köpük oluşumu, sıcaklık veya çamur bekleme süresinin yükselmesiyle azalır. Anaerobik reaktörde sıcaklık, köpük oluşumunu iki yolla etkileyebilir, doğrudan çamur partiküllerine gaz kabarcıklarının adsorbsiyon etkisiyle veya dolaylı olarak ayırışma yönünü etkilemesiyle. Bununla birlikte yüksek köpük formasyonlu çamur, gaz üretiminin varlığında ortaya çıkar (Halalsheh vd., 2005).

Çamur bekleme süresinin aynı zamanda yağların konsantrasyonu üzerinde bir etkisi vardır, çamur partiküllerini adsorblamaya ve yüzmeye meyillidir (Rollon, 1999; Halalsheh vd., 2005). Yağ gideriminin geliştirilmesiyle birlikte köpük oluşumunun düştüğü gözlenmiştir (Halalsheh vd., 2005). Kesimhanelerin çıkış sularından yağ ayrımı çözülmüş hava flotasyonu ile yapılabilir. Ayrıca pH'ın düşmesiyle de köpük olumunun yükseldiği gözlenmiştir. Köpüğün doğal sabun maddesi olan stearik ve palmitik asit gibi uzun zincirli yağ asitlerinin reaktörde geçici olarak birikimi ile enzimatik hidroliz yoluyla parçalanmaları sonucu oluştuğu yolunda görüşler de vardır (Mosey ve Foulkes, 1984; Öztürk, 1999). Böyle durumlarda çamur beslemesinin birkaç günlüğüne kesilmesi köpüğün önlenmesi için yeterlidir. Hidrolik bekleme süresinin 10 günden küçük olduğu hallerde de köpük sorunu yaşanmaktadır. Çürütücü üst kısmındaki kararlı köpük tabakasını ortadan kaldırmak üzere mekanik karıştırma ve bu kısma köpük söndürücülü su püskürtme gibi tedbirlere de başvurulmaktadır (Öztürk, 1999).

### 2.3.10 Toksikite

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümelerini geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/l amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/l amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar

(Öztürk, 2005). Aşırı uçucu yağ asiti (UYA) birikimi metanojenleri inhibe edebilir, çünkü yüksek hidrojen seviyeleri propiyonik ve butirik indirgeyen asetojenleri inhibe edebilir (Angelidaki vd., 1993; Magbanua vd., 2001). Gübre aynı zamanda protein ve üre gibi bileşikler de içerir, bunların parçalanmasıyla amonyak açığa çıkar, bu asetik asit metanojenleri için etkili bir inhibitördür (Heinrichs vd., 1990; Magbanua vd., 2001).

Sığır gübresinin çürütmesinde amonyak toksisitesi yaklaşık olarak 2.5 g/l amonyak azotu (NH<sub>3</sub>-N) olarak kaydedilmiştir (Angelidaki ve Ahring, 1994; Magbanua vd., 2001). Domuz ve kümes hayvanları gübrelerinin çürütmesinde ise 4 g/l (NH<sub>3</sub>-N)'den daha fazla değerlerde amonyak toksisitesi kaydedilmiştir (Angelidaki ve Ahring, 1993; Magbanua vd., 2001). Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir. Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Çizelge 2. 5'de verilmiştir.

Anaerobik arıtmada farklı amonyak konsantrasyonlarının metan üretimi üzerine etkileri Çizelge 2. 6'da verilmiştir.

Çizelge 2. 5 Anaerobik Arıtmada Çeşitli Engelleyicilerin Sınır Değerleri (Kossmann ve Pönitz, 1999'den)

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

Çizelge 2. 6 Amonyanın Metan Üretimi Üzerine Etkisi (Öztürk, 2005'den)

Konsantrasyon (mg NH <sub>3</sub> /L)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

#### 2.4 Biyogaz Teknolojisinin Faydaları

Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağı olan biyogaz sistemlerinin toplum ve çevre açısından pek çok faydası bulunmaktadır. Hayvan gübrelere kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlar. Biyogaz üretiminden sonra atıklar çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir. Atık geri kazanımı sağlanmakta, hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmekte ve hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek seviyeye düşmektedir. Bunun yanında bu teknoloji fosil yakıtların yerini aldığı için sera gazı emisyonunu da azaltmaktadır. Böylece, belirli şartlar sağlanırsa biyogaz teknolojisi doğal kaynakların korunmasına ve ülkenin kalkınmasına yeteri kadar katkıda bulunabilir.

Biyogaz ısıtma, pişirme, aydınlatma, içten yanmalı motorlarda yakıt ve soğutma gibi değişik maksatlarla kullanılabilir. 1m<sup>3</sup> biyogaz, dört kişilik bir ailenin günlük yemeklerini pişirebilir. 2.43 m<sup>3</sup> biyogaz ile 6 kişilik bir ailenin bir günlük pişirme ve aydınlatma ihtiyaçları karşılanabilmektedir (Demir, 1993). Bu miktardaki gaz 6 adet büyükbaş hayvanın atıklarından elde edilebilir. Biyogaz tesisinde üretilen gübre ile gübrelenen bitkilerde ham gübre ile gübrelenen bitkilere göre % 16 ila 20 oranında mahsul artışı olmaktadır.

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan (CH<sub>4</sub>) gazından ileri gelmektedir. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir.

Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenler de biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir.

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

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

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

Biyogaz üretim miktarı, atığın türü ve özelliğine göre farklılıklar göstermektedir. Ayrı toplanmış organik katı atıklardan 130-160 litre biyogaz / kg-KM oluşurken (Öztürk, 2000; Üçgül, 2005), gül posası gibi homojen ve tek malzemedan oluşan atıktan 315 litre biyogaz / kg-KM (Tosun vd., 2004; Üçgül, 2005) üretilmektedir. Toplam gaz oluşumu uçucu katı madde (UKM) giderme yüzdesinden de tahmin edilir. Tipik değerler 0.75 ile 1.12 m<sup>3</sup> biyogaz / kg UKM<sub>giderilen</sub> olarak verilmektedir (Filibeli,1996; Üçgül, 2005). Tavuk gübresi için yapılan bir çalışmada oluşan metan gazı 275 litre/kg-UKM olarak bulunmuştur (Alyanak ve Filibeli, 1987; Üçgül, 2005).

Biyogazın ısı değeri metan muhtevasına bağlı olarak 4.700-6.000 kCal/m<sup>3</sup> arasında değişir. 1 m<sup>3</sup> biyogazın ortalama kalorifik değeri 5500 kCal alınabilir. Bu durumda 1 m<sup>3</sup> biyogazın sağladığı ısı miktarı (Çizelge 2. 7)'de özetlenmiştir (Demir, 1993).

Ayrıca Türkiye’de birincil enerji kaynakları üretimi verileri (Çizelge 2. 8) göz önüne alınırsa hayvan ve bitki artıklarından elde edilen enerji gözardı edilemez.

Çizelge 2. 7 Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması

Yakıt Türü	Birimi	Enerji Değeri (MJ)	Yanma Verimi (%)	Kullanılabilir Enerji (MJ)	Biyogaz Enerji Eşdeğeri
Biyogaz	m <sup>3</sup>	20	60	11.8	1 m <sup>3</sup>
Elektrik	kWh	3.6	70	2.5	4.7 kwh
Gazyağı	L	38	50	19	0.62 L
Bütan	kg	46	60	27.3	0.43 kg
Odun Kömür	kg	29	28	8.1	1.46 kg

## 2.5 Biyogaz Üretiminin Kısıtları

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

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

Çizelge 2. 8 Birincil Enerji Kaynakları Üretimi (www.enerji.gov.tr)

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ (BinTon)	LİNYİT (BinTon)	ASFALTİT (BinTon)	PETROL GAZ (BinTon)	DOĞAL GAZ (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	HİDROLİK (GW/h)	JEOTERMAL		RÜZGAR (GW/h)	GÜNEŞ (BinTep)	ODUN (BinTon)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (BinTon)	TOPLAM (BinTep)
							ELEKTRİK (GW/h)	ISI (BinTep*)					
1990	2745	44407	276	3717	212	23148	80	364		28	17870	8030	25478
1991	2762	43207	139	4451	203	22683	81	365		41	17970	7918	25501
1992	2830	48388	213	4281	198	26568	70	388		60	18070	7772	26794
1993	2789	45685	86	3892	200	33951	78	400		88	18171	7377	26441
1994	2839	51533		3687	200	30586	79	415		129	18272	7074	26511
1995	2248	52758	67	3516	182	35541	86	437		143	18374	6765	26719
1996	2441	53888	34	3500	206	40475	84	471		159	18374	6666	27386
1997	2513	57387	29	3457	253	39816	83	531		179	18374	6575	28209
1998	2156	65204	23	3224	565	42229	85	582	6	210	18374	6396	29324
1999	1990	65019	29	2940	731	34678	81	618	21	236	17642	6184	27659
2000	2259	60854	22	2749	639	30879	76	648	33	262	16938	5981	26855
2001	2357	59572	31	2551	312	24010	90	687	62	287	16263	5790	25173
2002	2245	51660	5	2420	378	33684	105	730	48	318	15614	5609	24727
2003	2011	46168		2375	561	35330	89	784	61	350	14991	5439	23812

\*Bir ton ham petrole göre ısı eşdeğerleri bize yakıtların TEP'ini vermektedir.

Havasız arıtma biyoteknolojisinin genel olarak olumsuz özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi,
- Seyreltik atıksularda yeterli alkalinitenin üretilmemesi,
- Bazı durumlarda çıkış suyunda istenilen standart değerlerin sağlanamaması,
- Seyreltik atıksuların arıtılması durumunda oluşan biyogaz miktarının az olması ve elde edilen enerjinin sistemi ısıtmaya yetmemesi,
- Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması,
- Nitrikasyonun mümkün olmaması,
- Metanojenlerin toksit maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması,
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması,
- Biyokütlenin maksimum aktivitesi için gerekli olan azot konsantrasyonunun daha fazla olması,

Bunlara ek olarak, KOİ değeri 1000 mg/l'den az olan seyreltik atıksuların havasız proseslerde arıtılması durumunda havalı sistemlere göre daha düşük arıtma verimi elde edilmektedir (Öztürk vd., [www.cevreorman.gov.tr](http://www.cevreorman.gov.tr)).

## 2.6 Biyogaz Tesisleri

Biyogaz tesisleri çiftlik ölçekli veya daha büyük ölçekte (merkezi) olarak kurulabilir. Her birinin avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

Çiftlik ölçekli biyogaz tesislerinin gelişimi 1970'lerde başlamıştır. 1973'lerdeki enerji krizi ve yüksek enerji fiyatları çiftçileri, araştırma merkezlerini ve teknoloji şirketlerini gübreden enerji üretimini araştırmak için harekete geçirmiştir. Her bir işletmenin ayrı ayrı tesis kurması durumunda atıklar buldukları yerde işlenecekleri için nakliye problemi ortadan kalkacaktır. Buna karşın tesisin işletilmesinde kalifiye elemana ihtiyaç duyulması, optimum biyogaz üretimi için beslemenin sürekli olması ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması gibi kısıtlar mevcuttur.

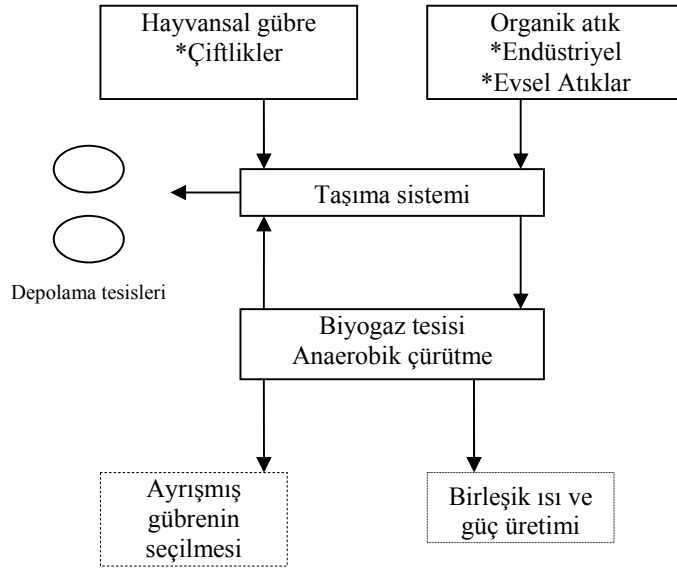
1980'lerin başında daha geniş (merkezi) biyogaz tesislerinin ilk fikri ortaya çıkmıştır. Çiftçilerde üretilen gübreler traktörlerle veya diğer nakliye araçları ile merkezi biyogaz



tesisine getirilir. Eğer mevcutsa gıda işleme endüstrilerinden organik atıklar ve kaynağında ayrılmış evsel atıklar da karıştırılarak tesiste işleme tabi tutulur (Şekil 2. 4). Şekilde de gösterildiği gibi bu işlem esnasında biyogaz üretilir ve birleşik ısı ve güç üretimi tesisinde enerjiye çevrilir. Belli bir bekleme süresi sonrasında ayrılmış gübre çiftliklere veya arazilerin yakınında bulunan depolama tanklarına tarımda kullanılmak üzere taşınır (Raven ve Gregersen, 2005).

Hayvan atıklarının bertaraf yöntemlerinin uygulanmasında karşılaşılabilecek önemli problem yeterli miktarda çiftlik hayvanı gübresinin ekonomik olarak merkezi ünitelere ulaştırılabilmesidir. Bu nedenle çiftlik hayvanı gübreleri için “kaynak haritası” çıkartılması önerilmiştir (Georgakakis ve Krintas, 2000).

Kaynak haritaları, yöntem seçiminde, bertaraf yöntemi için kapasite belirlenmesinde ve toplanabilir çiftlik gübrelerinin kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çiftlik hayvanı gübrelerinin kuru madde miktarı %70 civarında ise kaynaktan 40 km mesafeye, kuru madde miktarı %10 ise kaynaktan 10 km mesafeye taşınmasının ekonomik olduğu belirtilmektedir (TÜBİTAK-MAM, 2001).



Şekil 2. 4 Merkezi biyogaz tesisi (Raven ve Gregersen, 2005'den)

## **2.7 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler**

### **2.7.1 Kesikli (Batch) Fermantasyon**

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 ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).

### **2.7.2 Beslemeli-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 ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).

### **2.7.3 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 ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).

## **2.8 Biyogaz İçindeki Kirleticilerin Arıtılması**

### **2.8.1 Kirleticiler**

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

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

Hidrojen sülfür çok zehirli, korrozif ve renksiz bir gazdır.  $H_2S$  havadan daha ağır olduğundan dolayı düşük seviyelerde dahi ekstra tehlikeye neden olur. 0,05-500 ppm arasında gibi düşük konsantrasyonlarda bu gaz çürük yumurta kokusuna sahiptir. Yüksek konsantrasyonlarda böyle bir koku söz konusu değildir. Suda çözünerek zayıf asit formuna dönüşebilir. Biyogaz içindeki  $H_2S$  miktarı %0,5 ve üzerinde ise  $H_2S$ 'in artırılması gereklidir. Biyogaz içindeki  $H_2S$  miktarı %0,1'in altında ise arıtma yapmaya gerek yoktur. Havadaki konsantrasyonu 1,2-2,8 mg  $H_2S/l$  (%0,117)'e ulaştığında ani ölümlere neden olur. Bu değer 0,6 mg  $H_2S/l$  (%0,05) olduğunda 30-60 dakika içinde ölüm olur. Hidrojen sülfürle kirlenmiş hava solunduğu zaman hidrojen sülfür kırmızı kan pigmentini değiştirir. Kanı kahve renginden zeytin rengine dönüştürür. Oksijenin taşınmasını engeller.

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

## **2.8.2 Arıtma Yöntemleri**

### **Su ile Yıkama Metodu**

Bu metod metanı ayırmak için, suyun içindeki  $CO_2$ 'in ve  $H_2S$ 'in daha yüksek çözünürlüğü kullanılarak uygulanır. Yukarıdan su verilirken basınçlı biyogaz ağzına kadar dolu bir sütun dibine verilir (fiziksel absorpsiyon zıt akımdır). Rejenerasyon veya büyük hacimde su gerektirir. Alternatif olarak, bir kostik çözücü (NaOH) veya bir

organik çözücü (polietilen glikolün dimetileteri) kullanılabilir (International Energy Agency, 2001; Truong ve Abatzoglou, 2003; Batzias vd., 2005).

### **Basınçlı Yayılma Adsorbsiyonu Metodu**

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

### **Membran Metodu**

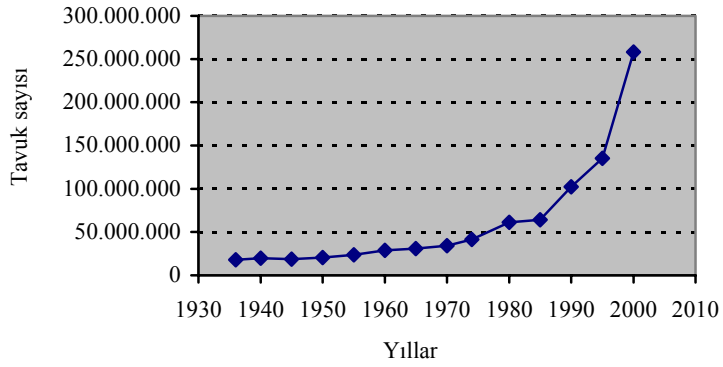
Membranlar metodu iki alternatif teknik içerir, bunlardan birincisi yüksek basınçlı gaz ayırma ve gaz-sıvı adsorbsiyonudur. Yüksek basınçlı gaz membranları seçmeli olarak  $H_2S$  veya  $CO_2$ 'i ayırır. Bu ayırım %96 saflığa kadar üç adımda başarıyla gerçekleşir. Gaz-sıvı adsorbsiyonu biyogaz için yeni bir gelişmedir ve mikrogözenekli hidrofobik membranlar kullanılır, bu da gaz ve sıvıların arasında ara-yüzey oluşmasına izin verir. Daha az çözünürlüklü metan gazın içerisinde kalırken ve kullanmak için biriktirilirken,  $H_2S$  ve  $CO_2$  sıvı çözücü içerisinde çözünebilir (International Energy Agency, 2001; Batzias vd., 2005).

## **2.9 Tavuk İşletmeciliği ve Atık Problemi**

### **2.9.1 Tavuk Yetiştiriciliği**

Türkiye’de modern tavukçuluğun temelleri Cumhuriyet’in kuruluşundan sonra atılmış ve özellikle 1960’lı yıllardan sonra hızlı bir gelişme göstermiştir. Özellikle 1980 yılından sonra, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi yükseliş eğilimine girmiştir. Yıllar itibariyle Türkiye’de tavuk varlığındaki gelişmeler Şekil 2. 5’te gösterilmiştir (Kutlu vd.). Şekilden görüldüğü gibi 2000 yılı verilerine göre Türkiye’deki tavuk sayısı 258.2 milyon civarındadır. Bugün ülkemizde tavuk yetiştiriciliğinin başarılı bir şekilde yapıldığı söylenebilir. Özellikle piliç eti üretiminde büyük entegrasyonların kurulması

ve sözleşmeli üretim modelinin gelişmesi ile birlikte 1990'lı yıllar boyunca yıllık % 10'lara varan bir üretim artış yaşanmıştır. Türkiye'de tavukçuluk Marmara, Ege ve İç Anadolu Bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Özellikle Ankara, Balıkesir, Bolu, Bursa, Elazığ, Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Yozgat ve Çukurova'da piliç eti, Afyon, Balıkesir, Bursa, Çorum, İzmir, Konya ve Manisa'da yumurta üretimi yoğun olarak sürdürülmektedir.



Şekil 2. 5 Yıllar İtibariyle Türkiye'de Tavuk Sayıları

Yumurtacı işletmeler genellikle yöresel olarak kurulan şirket ve kooperatifler (Çorum Yumurta Üretim ve Pazarlama A.Ş., Konya Yumurta Pazarlama A.Ş., Afyon Başmakçı T.K. Koop.) yoluyla pazarlama olanaklarını geliştirmeye çalışmaktadırlar (<http://ekutup.dpt.gov.tr/>).

Tavukçulukla ilgili işletmeleri kurarken üzerinde öncelikle ve önemle üzerinde durulması gereken konuların başında yer seçimi gelir. Koku, sinek gibi istenmeyen özelliklerinden kaçınacak kadar uzakta, ancak bakım-besleme işlerinin kolayca yapılabileceği kadar yakında kurulmalıdır, yönetim binaları ve konutlardan 200-300m uzaklıkta olması uygundur ayrıca kümesler, işletme binaları ve konutlara göre bölgedeki egemen rüzgarlara ters yönde yapılmalıdır, böylece koku etkisi önemli ölçüde azaltılmış olur (Koçak, 1991; Akkaya, 2002). Şekil 2. 6 'de Başmakçı ilçesinde bulunan tavuk yetiştirme çiftliğinden bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 2. 6 Başmakçı ilçesinde bulunan tavuk yetiştirme çiftliğinden bir görünüm

Tavukçulukta genellikle 3 tip kümes sistemi kullanılmaktadır.

a) **Kalın altlık sistemi (yer sistemi):** Kümes tabanı tamamıyla beton ya da sıkıştırılmış topraktan oluşur. Zemin üzerine 10-15 cm kalınlığında altlık serilir ([www.tae.gov.tr](http://www.tae.gov.tr)). Bu sistemde altlık malzemesi gereksinimi, bakteriyel hastalıkların kontrol edilememesi, gübrenin sürekli temizlenme zorunluluğu vardır, bu sebeplerden dolayı büyük kapasiteli üretim çiftliklerinde tercih edilmemektedir.

b) **Izgara sistemi:** Izgara sisteminin kullanılmasının amacı altlıklı yer kümesinde görülen sorunların ortadan kaldırılmasıdır. Bu sistemin yer tipine göre altlık gerektirmemesi, bakteriyel hastalıkların daha iyi kontrol edilmesi, gübrenin yumurtlama dönemi boyunca temizlenmesine gerek olmaması gibi üstünlüklerine karşın, tavukların dinlenecekleri bir yerin olmaması ve kırık yumurta sayısının fazla olması gibi sakıncaları bulunmaktadır (North ve Donalt, 1990; Akkaya, 2002).

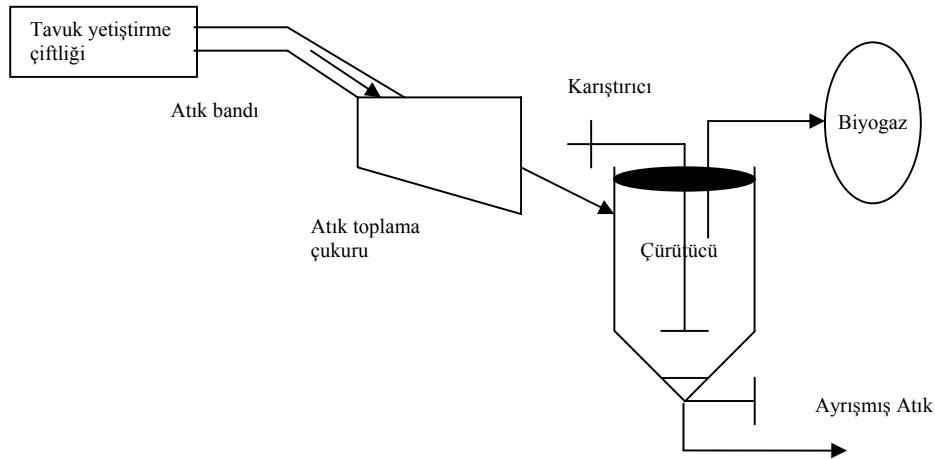
c) **Kafes sistemi:** Bu sistemde tavuklar kümes içerisindeki kafeslerde barındırılırlar. Çok iyi bir havalandırma düzenini gerektiren bu sistemin yararı metre kareye düşen tavuk sayısının yüksekliği ile yer ve işgücünden tasarruf sağlanmasıdır. Altlık sorunu yoktur, yumurtalar daha temizdir. Ayrıca tavuklar fazla dolaşıp enerji kaybetmedikleri için yemden yararlanma biraz daha yüksektir. Gübrenin alta geçmesi ve tavukların

birbirleriyle temasının az olması nedeniyle hastalık kontrolü daha kolaydır. Bu sistemde kafes altlarına biriken gübreyi sık sık temizlemek gerekir, aksi takdirde gübrede fazla miktarda sinek ürer ve sorun yaratır ([www.tae.gov.tr](http://www.tae.gov.tr)).

### 2.9.2 Atık Üretimi ve Atıkların Özellikleri

Yumurta tavukçuluğu işletmelerinde günlük olarak uzaklaştırılması gereken gübre miktarı, her bir tavuğun gübre üretimine ve kümes kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Gübreliliğin kapasitesini belirlemek amacıyla bir tavuğun günlük gübre üretim miktarları, 150-200g (Bengston ve Whitaker, 1986; Akkaya, 2002) veya 175g (Yavuzcan, 1983; Akkaya, 2002) olarak alınabilir. Tavuk yetiştirme çiftliğinden çıkan atıklar ise Şekil 2. 7 'de gösterildiği gibi işlenip tarımsal amaçlı kullanılabilir. Proses ürünü olan biyogaz, enerji elektrik enerjisine dönüştürülüp kullanılabileceği gibi tesisin ısıtılmasında da kullanılabilir. Afyon Başmakçı ilçesindeki tesislere ait atık uzaklaştırma bandına ilişkin bir görünüm Şekil 2. 8 'de yer almaktadır.

Tavuk atığı denildiği zaman sadece ayrışmaya uğrayan besinlerden arta kalan posa ve metabolizma artıklarından ibaret olan tavuk dışkısı değil, aynı zamanda kümeslerde kullanılan yataklık malzemesiyle birlikte oluşan karışım da ifade edilmektedir.



Şekil 2. 7 Bir Tavuk Yetiştirme Çiftliğinde Atıkların İşlenme Süreci



Şekil 2. 8 Tavuk gübrelerinin atık bandıyla ortamdan uzaklaştırılması

Tavuklardan elde edilen atığın miktarı, bileşimi ve değeri; hayvanın tipi, ağırlığı, yediği yemin bileşimi ve miktarı ile birlikte kümeste kullanılan yataklığın cinsi ve miktarına da bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak %10 ham selüloz, %26 kül, %33 ham protein, %10 gerçek protein, %2,6 eter ekstratı, %3-6 toplam azot ve %3 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bulunmaktadır.

Tavuk atığının diğer hayvan atıklarından en önemli farkı, tavuğun bilinen bir fizyolojik özelliğinin sonucu olarak oluşmasıdır. Tavukta üreme organları, kalın barsaklar ve idrar yolları aynı delikle (kloak) dışarı açıldıklarından, dışkı genellikle idrarla karışmış olarak dışarı atılır ve bu nedenle azot bakımından oldukça zengindir.

Taze tavuk artığının su muhtevası %70-80, kuru madde miktarı %20-30 kadardır. Kurutulmuş tavuk artığında toplam azot miktarı %3-6 arasındadır. Bu ise %18-36 proteine eşdeğerdir. Kuru tavuk artığındaki toplam azotun yani ham proteinin varlığı; artığın elde edilişi, saklandığı yer ve süre ile ilişkilidir (Alyanak ve Filibeli, 1987).



Kümesçilik endüstrisinin büyümesinin bir sonucu olarak kümes hayvanları kesim yerleri Çizelge 2. 9 'da verildiği gibi yüksek miktarda organik katı atık ve yüksek miktarda yan ürün oluştururlar.

Çizelge 2. 9 Kümes çiftliklerinde ve kümes hayvanları kesim yerlerinde üretilen organik katı atıkların miktarı ve özellikleri (Salminen ve Rintala, 2002'dan).

Tür	TKM (%)	UKM (%TKM)	Kjeldahl-Azotu (%TKM)	Protein (%TKM)	Yağlar (%TKM)	Metan Potansiyeli (m <sup>3</sup> /kg-UKM)	Metan Potansiyeli (m <sup>3</sup> /kg ıslak ağırlık)
Hayvan ölüsü	37	-	-	-	-	-	0.20-0.25
Yatak malzemesi	52-81	61-65	3.2-5.7	-	-	0.14-0.22	0.10-0.15
Gübre	20-47	60-76	4.6-6.7	-	1.5-2.1	0.2-0.3	0.04-0.06
Kuş tüyü	24.3	96.7	15	91	1-10	0.2	0.05
Kan	22	91	7.6	48	2	0.5	0.1
İç organlar, ayak, baş	39	95	5.3	32	54	0.7-0.9	0.3
Kırıntılar ve kemikler	22.4	68	68.6	51	22	0.6-0.7	0.15-0.17

### 2.9.3 Atıkların Çevresel Etkileri

Tavukçuluk sektörünün gelişimiyle birlikte bazı çevre sorunları oluşmuştur. Bunların başında gübre sorunu gelmektedir. Tavuk dışkısının önemli bir bölümü bitkisel üretimde gübre olarak kullanılmaktadır. Ancak olgunlaşması uzun süreyi gerektirdiğinden bazen bitkilere zararlı olabilmektedir. Uzun süreli kullanım halinde ise yer altı sularının kirlenmesine yol açmaktadır. Ayrıca kokusu da hoş gitmemektedir. Özellikle kafes sistemi ile yapılan yumurta üretiminde biriken tonlarca gübrenin çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılması için yoğun çalışmalar yapılmakta ve çeşitli kurutma yöntemleri geliştirilmektedir. Benzer bir çevre kirliliği de kesimhanelerde ortaya çıkmaktadır. Ancak arıtma tesislerinin devreye girmesi ile bu sorun önemli ölçüde çözüme kavuşmuştur.

Tavukçuluğun son yıllarda öneminin artmasına rağmen, tavuk atıklarının düzgün bir şekilde uzaklaştırılmasına yönelik çalışmalar çok yetersiz kalmıştır. Oluşan atıklar tesis çevresinde açılan açık depolama çukurlarında biriktirilmekte ve buradan da arazilere taşınmaktadır. Afyon Başmakçı'da tavuk atıklarının biriktirildiği toplama çukuruna ait bir resim Şekil 2. 9 görülmektedir.



Şekil 2. 9 Tavuk gübrelerinin biriktirildiği atık toplama çukurları

Tavuk çiftliklerinin olduğu yerlere ve çevresine bakıldığında insan ve çevre sağlığının risk altında olduğu görülmektedir. Bunun yanında yer altı suyu kirliliği, koku oluşumu ve görüntü kirliliği gibi çevre sorunları ilk etapta sıralanabilir. Bu sorunların çözümü için yapılacak çalışmalara hız verilmeli, çevre dostu yatırımlara öncelik verilmelidir.

Hayvan atıkları için çevresel açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemleri büyük ölçekte biyokütle-enerji dönüşüm sistemi olarak dikkate alındığında bu atıklardan enerji elde edilmesi ve ayrıca yan ürün şeklinde besin değeri olan gübre elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

90/667/EEC direktifinde hayvansal artıkların atılması ve işlenmesi, pazarlanması ve hayvansal ya da balık kökenli yemlerde patojenlerin oluşmasına yönelik veteriner kurallarının yer aldığı 27 Kasım 1990 tarihli Konsey Direktifinde, hayvan yetiştiriciliği için organik maddelerin geri kazanımı üzerinde daha sıkı yasal düzenlemeler öngörülmektedir (Avrupa Topluluğu Komisyonu, 2000; Salminen, ve Rintala, 2002).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan tavuk gübreleri ve aşı, Afyon İli Başmakçı ilçesinde bulunan tavukçuluk kooperatifinden temin edilmiştir. Afyon'un küçük bir ilçesi olan Başmakçı ilçesinin temel ekonomisi tarım ve hayvancılık faaliyetlerine dayanmaktadır. İlçede yumurta tavukçuluğu çok gelişmiştir, ilçe merkezinde ve bazı köylerde birinci derecede geçim kaynağı olmuştur. Yumurta üretimi için çiftliklerde 1 milyonun üzerinde tavuk bulunmaktadır.

Yapılan çalışmalarda aşı ve katı madde değişiminin biyogaz üretiminde etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 1.etapta aşı sabit tutularak katı madde oranları değiştirilmiş, 2.etapta ise katı madde sabit tutularak aşı oranları değiştirilmiştir.

Reaktörlerde kullanılan tavuk gübresi ve aşının karışım oranları Çizelge 3. 1'de topluca verilmiştir. 1.etapta aşı oranı %10 (hacimce)'da sabit tutularak katı madde oranları %2.5, %5, %10 ve %15'e ayarlanmıştır. 2.etapta ise katı madde oranı %10'da tutularak aşı oranları sırasıyla %0 ve %2.5 olacak şekilde düzenleme yapılmıştır.

Çizelge 3. 1 Reaktörlerde kullanılan gübre ve aşının karışım oranları

	Etap 1				Etap 2	
Reaktör no	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Katı madde oranları, %	2.5	5.0	10	15	10	10
Aşı oranları, %	10	10	10	10	0	2.5

#### 3.2 Reaktörler

Biyogaz üretimini gerçekleştirmek amacıyla 6 adet reaktör (reaktör hacmi 3 L, gaz boşluk hacmi 0,5 L) kullanılmıştır. Kullanılan reaktörlerin resimleri de Şekil 3. 1 'de gösterilmiştir. Reaktörlerin karışımı gündüz saatlerinde saatte bir kez elle

gerçekleştirilmiştir. Sistemi verimli çalıştırmak amacıyla reaktörler bir elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan su banyosu içine yerleştirilerek sıcaklığın  $35 \pm 1$  °C’de tutulması sağlanmıştır. Reaktörlerin biyogaz çıkış hattına gaz analizi yapmak için gerekli ve yeterli miktarda sürekli taze gaz bulunduran gaz toplama kabı yerleştirilmiştir. Reaktörlere materyaller konduktan sonra gaz çıkışları 90 gün süreyle takip edilmiştir ve bu süre sonunda deney sona erdirilmiştir.



Şekil 3. 1 Deneylerde kullanılan reaktörlerin görünümü

### 3.3 Yapılan Analizler ve Analiz Yöntemleri

Deneylerde kullanılan gübre ve aşının elemental analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Deneysel ve Gözlemsel Öğrenci Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde, LECO CHNS-932, elemental analiz cihazı ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan diğer parametrelere ait analiz metotları aşağıda özetlenmiştir:

Su muhtevası: Numune 103 °C’de 24 saat süre ile etüvde kurutulduktan sonra geriye kalan maddenin başlangıçtaki numunedeki farkının alınması ile bulunmuştur (SSSA, 1993).

$$\text{Su Muhtevası (\%)} = \frac{(A - B)}{A} * 100$$

A: Ham numunenin ağırlığı (g), B: Numunenin kurutma sonrası geriye kalan ağırlığı (g)

pH: Katı numunelere 1:5 oranında CO<sub>2</sub>'siz saf su eklenerek 10 dk. kadar manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra pH metrede (HI 9321 microprocessor pH meter) okuma yapılmıştır.

Uçucu Katı Madde Tayini: Kuru numunenin fırında 550 °C 'de 2 saat süre ile yakılması sonrası kalan külün başlangıçtaki kuru maddeden çıkarılması ile bulunmuştur.

$$\text{Uçucu Katı Madde (\%)} = \frac{(A - B)}{A} * 100$$

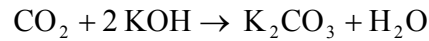
A: Kuru numune ağırlığı, B: Yakma sonrası kalan külün ağırlığı

TKN: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve Kjeldahl tableti kullanarak parçalama işlemi yapıldıktan sonra titrimetrik olarak tayin edilmiştir APHA (1995). Bu işlem için Azot tayin cihazı (Selecta marka Pro-Nitro II) kullanılmıştır.

### **Biyogaz Analizi**

Numune alımları hacim deplasmanı yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Biyogaz oluşum miktarını belirlemek amacıyla taksimatlı kaplar kullanılmıştır. Oluşan gazın bileşimi ise Orsat-tipi gaz analiz cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 3. 2).

Gaz numunesinden 100 ml numune alınır., CO<sub>2</sub>'yi tayin etmek için reaktör çıkış gazı %50'lik KOH çözeltisinden geçirilir. Gaz hacmindeki azalma CO<sub>2</sub> içeriğini verir. CH<sub>4</sub> yüzdesi ise hesap yoluyla bulunur.



Orsat yöntemi gaz analizi için kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Bu analiz yönteminin temel prensibi, belirli bir hacimde ve atmosfer basıncında alınan bir gaz

karışımındaki bileşenlerin, fiziksel veya kimyasal olarak tamamen absorblanabileceği reaktiflerden geçirilmesi ve hacim azalmasının ölçülmesidir. Bu işlem sırasında, numune her bir absorpsiyondan sonra başlangıçtaki basınca getirilir ve hacim değeri okunur. Bu analiz sırasında sıcaklık ve basınç sabit tutulur (APHA, 1995).



Şekil 3. 2 Orsat-tipi gaz analiz cihazı

## 4. BULGULAR

### 4.1 Materyalin Özellikleri

Tavuk gübresi ve aşı Afyon-Başmakçı ilçesinde bulunan tavukçuluk kooperatifinden temin edilmiştir. Tavuk gübresi ve aşıya ait elemental analiz sonuçlar ve kimyasal özellikler Çizelge 4. 1 ve Çizelge 4. 2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Elemental Analiz Sonuçları (%)

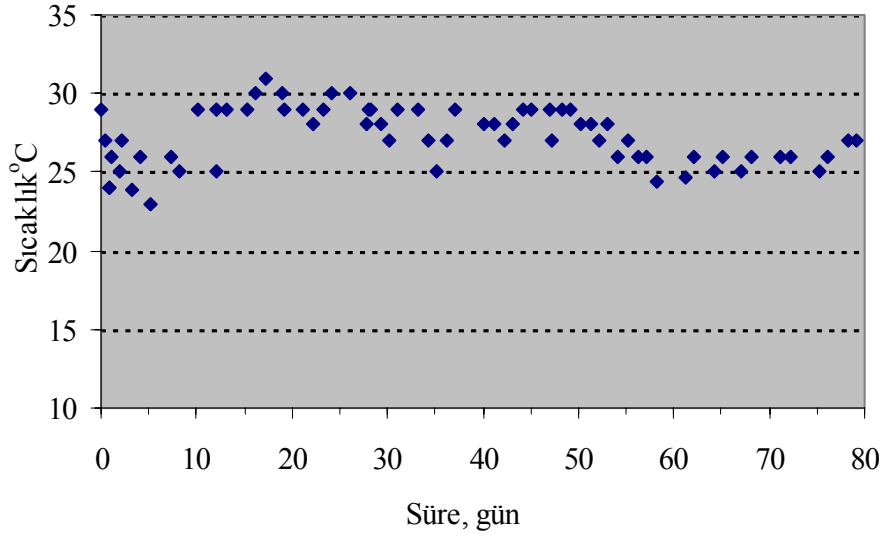
Parametreler	Ham numune	Aşı
C	39.36	41.34
H	4.69	5.05
N	5.23	2.35
S	0.42	0.46

Çizelge 4. 2 Ham posanın kimyasal özellikleri (kuru ağırlık)

	Numune	Aşı
SM	65.4	95.2
Organik madde, %	68.7	63.4
BHA	0.604	1.036
pH	6.41	6.85
TKN	6.5	4.3

### 4.2 Çalışma Ortamının ve Reaktörlerin Sıcaklığı

Çalışmalar laboratuarda gerçekleştirilmiş olup ortam sıcaklığında çok fazla salınımlar olmamıştır. Çalışma süresi boyunca ortam sıcaklıkları Şekil 4. 1 ’de gösterilmiştir. Ortalama sıcaklık 27,17 °C ve standart sapma da 1,92 olarak bulunmuştur. Deney süresince reaktör sıcaklığı da 35±1 °C arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 4. 1 Deney süresince ortam sıcaklığının değişimi

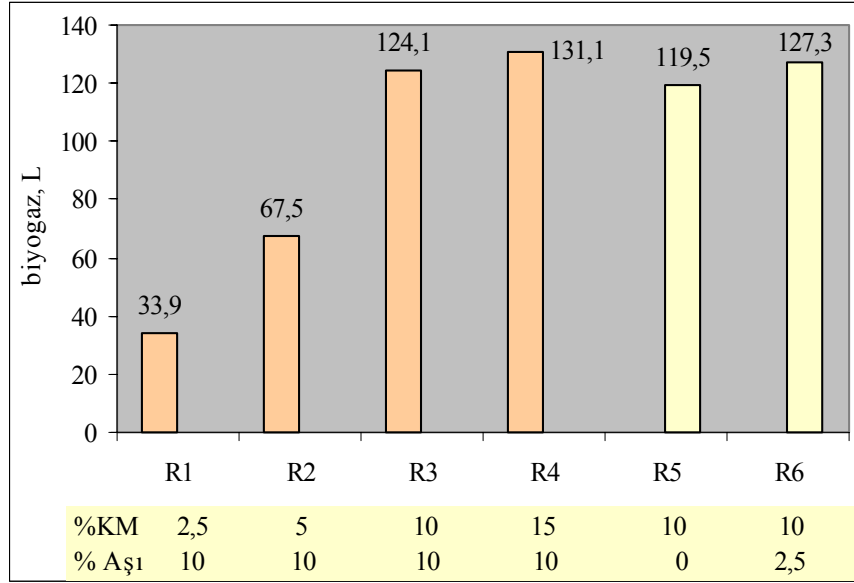
### 4.3 İşletmeye Alma

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra tüm reaktörlere belirtilen oranlarda numuneler ve aşılar dolduruldu. Reaktörler su sıcaklığı yaklaşık 35 °C olan su banyosuna yerleştirildi. Deneylere başlandığı gün reaktörlerden gaz oluşumları başlamıştır. Başlangıçta gaz bileşimindeki CO<sub>2</sub> seviyesi % 80 civarında gerçekleşmiştir. Reaksiyon süresi ile birlikte CO<sub>2</sub> seviyesi düşmüştür. Yaklaşık 20 günlük bir alışma döneminde düşük miktarlarda gaz oluşmuş, daha sonra gaz miktarları artmıştır.

### 4.4 Biyogaz Üretimiyle İlgili Deney Sonuçları

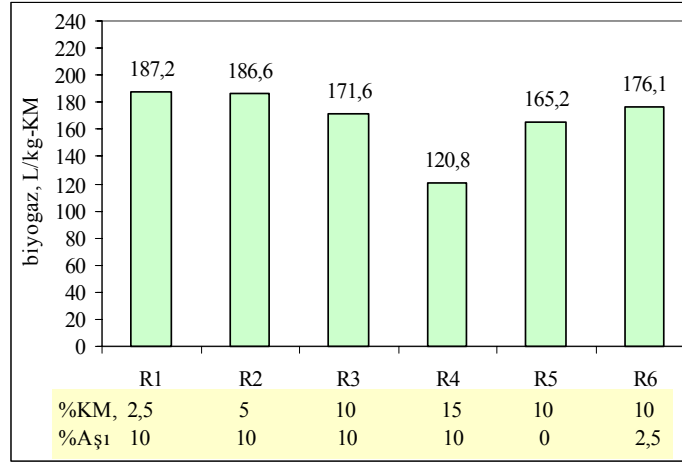
Deneylede katı madde oranları ve aşı oranları değiştirmiştir. Her bir reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarları Şekil 4. 4 'de gösterilmiştir. Şekle bakıldığında katı maddenin artışına paralel olarak biyogaz değerlerinin de arttığı görülmektedir. Katı madde oranının %2.5 olduğu R1 reaktöründe 33.9 L biyogaz oluşurken, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde sırasıyla 67.5, 124.1, 131.1 L biyogaz oluşmuştur. Katı madde oranının aynı olduğu R3, R5 ve R6 reaktörlerinde oluşan biyogaz miktarları incelendiğinde aşı oranının yüksek olduğu R6 reaktöründe bir miktar daha fazla biyogaz oluşurken, aşının olmadığı R5 reaktöründe ise bir miktar daha az biyogaz oluşmaktadır.





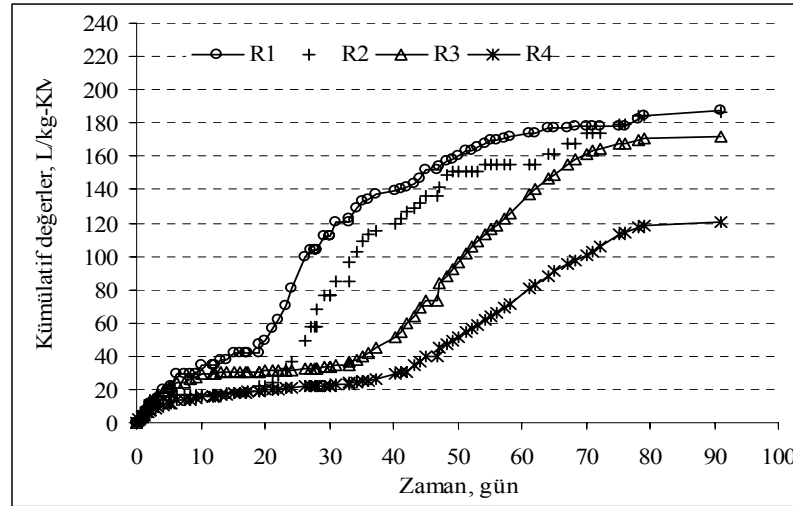
Şekil 4. 2 Her bir reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarları

Reaktörlerde oluşan biyogaz değerlerini kıyaslamada genellikle birim katı madde başına oluşan değerler dikkate alınır. Bu değer reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarının toplam katı maddeye bölünmesiyle elde edilir. Buna göre her bir reaktörde birim katı madde başına oluşan biyogaz değerleri (L/kg-KM) Şekil 4. 3 'te gösterilmiştir. Buradaki değerler incelendiğinde katı maddenin artışı ile birlikte katı madde başına oluşan biyogaz değerlerinin bir miktar azaldığı görülmektedir. Katı madde oranının %2.5 olduğu R1 reaktöründe 187.2 L/kg-KM biyogaz oluşurken, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde sırasıyla 186.6, 171.6, 120.8 L/kg-KM biyogaz oluşmuştur. R4 reaktöründe diğer ilk üç reaktöre göre belirgin bir şekilde azalmanın olduğu görülmektedir. Buradan, belli bir katı madde oranından sonra biyogaz veriminin düştüğü sonucuna varabiliriz. Bu durum katı maddenin artışıyla birlikte karıştırmanın yetersizliğinden ve ortamın homojenliğinin sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Katı madde oranının aynı olduğu R3, R5 ve R6 reaktörlerinde ortamdaki aşırı duruma göre biyogaz oluşum değerlerinin bir miktar değiştiği görülmektedir.

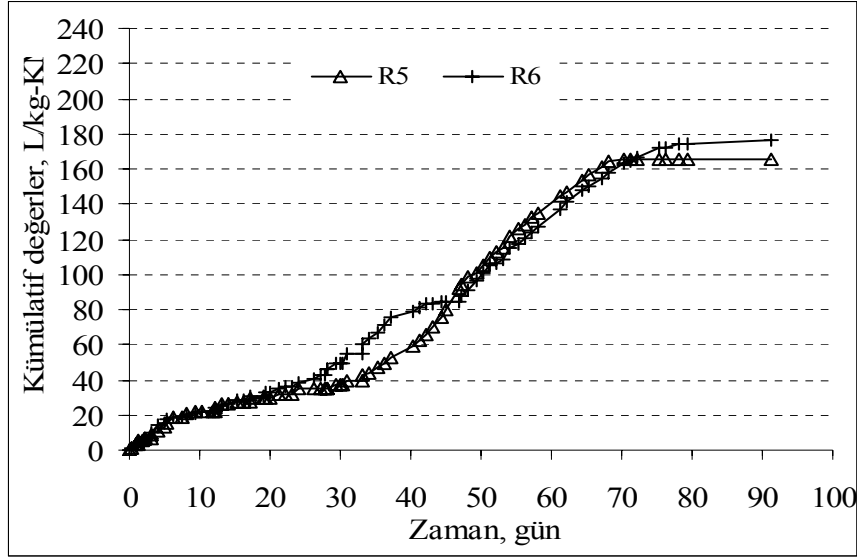


Şekil 4. 3 Reaktörde birim katı madde başına oluşan biyogaz miktarları

Reaktörlerde üretilen biyogaz miktarları 90 gün boyunca izlenerek elde edilen kümülatif değerler L/kg-KM birimiyle Şekil 4. 4 ve Şekil 4. 5 'de gösterilmiştir. Genel olarak incelendiğinde adaptasyon fazının 20 gün civarında olduğu görülmektedir. Aşının sabit tutulup katı madde oranlarının değiştiği R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde katı madde oranının artmasıyla biyogaz oluşum hızının düştüğü görülmektedir. Aşılı ve aşısız olarak düzenlenen R5 ve R6 reaktörlerinde aşının biyogaz oluşum hızını bir miktar artırdığı görülmektedir.



Şekil 4. 4 R1, R2, R3, R4 Reaktörlerinde oluşan kümülatif biyogaz değerleri (Aşı: %10, Katı madde oranları sırayla %2.5, 5, 10, 15)



Şekil 4. 5 R5 ve R6 Reaktörlerinde oluşan kümülatif biyogaz değerleri (KM oranı %10, Aşı oranları sırasıyla %0 ve %2,5)

#### 4.5 Başmakçı İlçesi Biyogaz Potansiyeli

Afyon'un küçük bir ilçesi olan Başmakçı, Türkiye'nin iç güneybatı kısmında yer alır. İlçe, yüzey alanı 41.5 km<sup>2</sup> ve su derinliği 1.5-2.5 m olan Acı Göl'ün yakınında (8-10 km) yer alır. Gölün denizden yüksekliği 842 m'dir. Göl suyundaki yüksek mineraller sebebiyle ticari olarak sodyum sülfat üretilir ve göl yakınlarında yer alan kimya sanayine satılmaktadır. Başmakçı'nın iklimi iç bölgelerdeki tipik sert iklim değildir. Kışları nispeten ılıktır, kar yağışı ve don olaylarına genellikle rastlanmaz. Kış boyunca, bir aydaki yağışlı gün sayısı yaklaşık 10 gün, yaz boyunca ise 5 günden daha azdır. Yaz aylarındaki maksimum günlük sıcaklıklar 35 °C'den daha azdır. Kış aylarındaki minimum günlük sıcaklıklar 0 °C'nin üzerindedir.

İlçenin temel ekonomisi tarım ve hayvancılık faaliyetlerine dayanmaktadır. Özellikle İlçenin doğu ve güney taraflarının dağınık olması ve ilçeye bağlı 14 köyden 10'unun bu kesimlerde (orman ve dağ eteklerinde) olması bu köylerde koyun ve keçi yetiştiriciliğinin, diğer köyler ile ilçe merkezinde ise büyükbaş hayvan ile yumurta tavukçuluğunun daha fazla gelişme göstermesine sebep olmuştur. Buna ilaveten halı

üretimi de ilçenin ekonomisine katkı sağlamaktadır. Yoğun tarımsal faaliyetler sebebiyle, finansal durumu ve bu faaliyetlerde üretilen ürünlerin pazarlanması ve satılmasını kolaylaştırmak amacıyla kooperatifler kurulmuştur.

İlçede ve köylerinde faal olarak 5, kurulmuş, işlevine başlamamış 4 adet tarımsal sulama kooperatifi, 5 adet ise tarımsal kalkınma kooperatifi vardır. Bu kooperatiflerden biri tavukçuluk, bir tanesi gülcülük ve dört tanesi de sütçülükle ilgili olarak faaliyette bulunmaktadır. İlçede yumurta tavukçuluğu çok gelişmiştir, ilçe merkezinde ve bazı köylerde birinci derecede geçim kaynağı olmuştur.

Başmakçı'da yumurta üretimi için çiftliklerde yaklaşık 1.5 milyon tavuk bulunmaktadır. Bu tavuklardan kaynaklanan yaş tavuk atığı 65000 ton/yıl, kuru madde bazında ise 15740 ton/yıl seviyesindedir (Üçgül vd., 2005). Tavuk atıkları için deney sonuçlarından elde edilen  $0.187 \text{ m}^3/\text{kg-KM}$  biyogaz oluşumu dikkate alındığında biyogaz üretimi 2.94 milyon  $\text{m}^3/\text{yıl}$  ( $0.187 \cdot 15740 \cdot 1000$ ) olarak hesaplanır.

Ülkemizde 2000 yılı itibarı ile 258,2 milyon civarında tavuk beslendiği göz önünde bulundurulacak olursa küçük baş hayvan üretiminde tavukların ayrı bir yeri olduğu anlaşılır. Bir tavuğun günde verdiği 175 gr yaş atık (Yavuzcan, 1983; Akkaya, 2002) üretimi esas alınır, yıllık yaş tavuk atığı 16.5 milyon ton seviyesindedir. ( $258,2 \cdot 10^6 \cdot 175 \cdot 365 / 10^6$ ).

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada tavuk gübresinin laboratuvar ölçekli anaerobik çürütme reaktörleri ile biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Çalışmalarda farklı katı madde oranlarının biyogaz üretimine etkisi üzerinde durulmuş, katı madde oranının artışıyla birlikte biyogaz üretim miktarı artmakta, ancak birim katı madde başına düşen üretim azalmaktadır.

Çalışmalar boyunca ortam sıcaklığı ve elektrikli ısıtıcı içerisindeki suyun sıcaklığı sürekli olarak ölçülmüştür. Biyogaz bileşimi orsat cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Biyogaz miktarı ise ölçeklendirilmiş olan gaz toplama kaplarından okunup kaydedilmiştir.

Yurdumuzdaki tavuk çiftliklerinde yaklaşık olarak yıllık yaş tavuk atığı üretimi 16.5 milyon ton seviyesindedir. Buradan elde edilecek biyogaz birleşik ısı güç üretim tesisinde değerlendirilerek uydu kentlerin, köylerin veya küçük bir yerleşim merkezinin enerji ihtiyacı karşılanabilir. Tavuk gübresinin anaerobik ortamda ayrışmasından kalan tamamen hijyenik fermente olmuş gübre depolanıp, gerekli olduğu zaman tarlaya sıvı formda uygulanabileceği gibi granül hale getirilebilir veya toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir.

Hayvan atıkları için çevresel açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemleri büyük ölçekte biyokütle-enerji dönüşüm sistemi olarak dikkate alındığında bu atıklardan enerji elde edilmesi ve ayrıca yan ürün şeklinde besin değeri olan gübre elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

Biyokütlenin biyogaza dönüştürülmesi evsel kullanımlarda olduğu gibi, kojenerasyon tekniğiyle elektrik ve ısı üretimi de büyük bir ekonomik değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanısıra biyogaz üretimi sonucunda sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olması ve fermantasyon sonucu elde

edilen organik gübrenin daha verimli olmasıdır. Böylece tavuk gübresinin anaerobik biyoteknoloji ile değerlendirilmesi, evre kirliliğini azaltıp evre dostu enerji üretimini destekler.

Tavuk gübresinden kaynaklanan evre sağlığı sorunları başarılı planlama, uygulama ve işletme metodolojisi ile çözülebilecektir. Bu atıklar potansiyel bir enerji kaynağı olmakla beraber ayrışma sonrası kalan ürün tarımda verimli şekilde kullanılabilir.

Tavuk gübresinin enerji ihtiyacını karşılamada kullanım oranının artırılması ile enerji yelpazesinin çeşitlendirilmesi sağlanabilecektir.

Yeni enerji kaynağı arayışında enerjinin ucuz ve kolay elde edilebilir ve evre dostu olması çok önemlidir.

Biyogaz üretim tesislerinin ilk yatırım giderlerinin yüksek olmasına karşın kısa sreler sonunda bu masrafları karşılanarak karlı duruma gelmesi mümkündür.

## 6. KAYNAKLAR

- Akkaya, C., 2002. Isparta İli Yumurta Tavukçuluğu ve Etlik Piliç Yetiştiriciliğinde Kullanılan Kümes ve Alet-Ekipman Tiplerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi Zootekni Ana Bilim Dalı , Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Alyanak, İ., Filibeli, A., 1987. Tavuk Çiftliği Artıklarının Çevre Etkilerinin Önlenmesi ve Yararlı Hale Getirilmesi Alternatifleri, Uluslararası Çevre'87 Sempozyumu, Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Atık ve Kirlenme Denetimi Araştırma Grubu. 79-93, İstanbul.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1994. Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. *Water Research*, 28, 727-731.
- Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B.K., 1993. A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: focusing on ammonia inhibition. *Biotechnology Bioengineering*, 42, 159-166.
- APHA, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.19th Ed.1995, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Ardıç, İ., Taner, F., 2004. Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Sudaki Çözünürlüğüne Asidik Önışlemlerin Etkileri. *Ekoloji* 14,53, 39-43.
- Batzias, F.A., Sidiras, D.K., Spyrou, E.K., 2005. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy* 30, 1161–1176.
- Bengston, L.P. and Whitaker, J. H., 1986. Structure in tropical climates, Food and Agricultural Organization of The United Nations. Rome, 40, 42 p.
- Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Marouani, L., Hamdi, M., 2004. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry* 39, 2143–2148.
- Brade, C.E., Noone, G.P., 1981. Anaerobic digestion-need it be expensive? *Wat. Pollut. Control* 80, 70–76.
- Casey, T.J., 1986. Requirements and methods for mixing in anaerobic digesters. *Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Agricultural Wastes*. Elsevier App. Sci. Pub., 90–103.
- Chakravarthi, J., 1997. Biogas and energy production from cattle waste. *Energy Conversion Engineering Conference*. Vol:1, 648-651. Honolulu, HI, USA.
- Commission of the European Communities, 1999. Council Directive 1999/31/EC. *OfficiaJournal*, No. L 182, 1–9.

- Commission of the European Communities, 2000. White paper on food safety (presented by the Commission). Official Journal, No. C076, 1–4.
- Çeken, H.B., 1997. Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 62, Afyon.
- DeBaere, L., 2000. Anaerobic digestion of solid waste: state-of the art. Water Science Technology, 41 (3), 283–290.
- Demir, İ., 1993. Hayvan Atıklarından Biyogaz Eldesi. Türk Devletleri Arasında 2. İlimi İşbirliği Konferansı. 179-186, Almatı, Kazakistan.
- Demir, İ., Öztürk İ., 1989. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Kinetik Modellenmesi 5. Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kongresi. Çevre Gen.Müd. ve Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Desai, M., Patel, V., Madamvar, D., 1994. Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey-poultry waste-cattle dung. Environmental Pollution, 83, 311-315.
- Elefsiniotis, P., Oldham, WK., 1994. Substrate degradation patterns in acidphase, anaerobic digestion of municipal primary sludge. Environment Technology, 15, 741–751.
- Filibeli, A., 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Georgakakis, D. ve Krintas, Th., 2000. Optimal Use of the Hosoya System in Composting Poultry Manure. Bioresource Technology, 72, 227-233.
- Ghosh, S., 1997. Anaerobic digestion for renewable energy and environmental restoration. The 8th International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai International Center, Sendai, Japan, Ministry of Education, Japan.
- Halalsheh, M., Koppes, J., Elzen, J., Zeeman, G., Fayyad, M., Lettinga, G., 2005. Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. Water Research, 39, 2475–2482.
- Heinrichs, D.M., Poggi-Varaldo, H.M., Olieskewicz, J.A., 1990. Effects of ammonia on anaerobic digestion of simple organic substrates. J. Environmental Engineering, 116, 698-710.
- <http://ekutup.dpt.gov.tr/>
- [http://rega.basbakanlik.gov.tr/Eskiler/2004/12/EK\\_10%20Karacabey%20Merinosu.doc](http://rega.basbakanlik.gov.tr/Eskiler/2004/12/EK_10%20Karacabey%20Merinosu.doc)



<http://rega.basbakanlik.gov.tr/Eskiler/2005/05/20050518-1.htm>

Hulshoff Pol, L.H., Euler, H., Eitner, A., Gronganz, D., 1997. GTZ sectorial project, promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial sewage and wastes. In: Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai, vol. 2, 285-292.

International Energy Agency., 2001. Biogas upgrading and utilisation. Bioenergy task 24: energy from biological conversion of organic waste. Abingdon, Oxfordshire, UK: AEA Technology Environment.

International Energy Agency., 2001. Biogas and more! systems and markets overview of anaerobic digestion. Abingdon, Oxfordshire, UK: AEA Technology Environment.

Jeris, J.S. ve Mc Carty, P., 1965. Biochemistry of Methane Fermentation Using C14 tracers, JWPCF, 37,178.

Karim, K., Klasson, T., Hoffmann, R., Al-Dahhan, M.H., 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. Bioresource Technology, 96, 1607–1612.

Kennedy. K.J., ve Van den Berg,l., 1982. Anaerobik Digestion of Piggery Waste Using a Stationary Fixed Film Reactor, Agricultural Wastes, 4, 151-158.

Kobyay, M., 1992. Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları İçin Bir Biyogaz Tesisi Tasarımı. Yüksek lisans Tezi, 57s, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Koçak, Ç., 1991. Etlik piliç üretimi, Bilgehan Basımevi, Bornava-Izmir, 17, 18.

Kossmann, W., Pönitz, U., 1999. Biogas Digest, Biogas Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany.

Kutlu, H.R., Gül, A., Görgülü, M. Türkiye Hayvancılığı; Hedef 2023., Sorunlar, Çözüm Yolları ve Politika Arayışları. <http://ziraat.cu.edu.tr/aykutgul/belgeler/hayvancilikrapor.pdf>

Lay, J.J., Li, Y.Y., Noike, T., 1997. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solid sludge digestion. Water Research, 31, 1518-1524.

Lee, S.R., Cho, N.K., Maeng, W.J., 1995. Using the pressure of biogas created during anaerobic digestion as the source of mixing power. J. Ferment. Bioengng. 80 (4), 415–417.

- Magbanua, B.S., Adams, T.T., Johnston, P., 2001. Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. *Biosource Technology*, 76, 165-168.
- Manjunath, N.T., Mehrotra, I., Mathur, R.P., 2000. Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system. *Water Research*, 34 (6), 1930–1936.
- Meynell, P.J., 1976. *Methane: Planning a Digester*. Prism Press, London, 55–57.
- Mikkelsen, R.L., 2000. Beneficial use of swine by-products: Opportunities for the future. In: Power, J.F., Dick, W.A. (Eds.), *Land Application of Agricultural, Industrial and Municipal by-Products*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, 451–480.
- Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Rufete, B., Paredes, C., 2005. Characterisation of the organic matter pool in manures. *Bioresource Technology*, 96, 153-158.
- Mosey, F.E., ve Foulkes, M., 1984. Control of the Anaerobic Digestion Process, In *Swage Sludge Stabilization and Disinfection*, Ed. A.M. Bruce.
- Nicholas, P., Cheremisinoff, Paul N., Cheremisinoff, Fred E., 1980. *Biomass, applications, technology and production*. Marcel Dekker Inc., New York, 9.
- North, M. O. and Donallt, B. D., 1990. Avavi book published by van nastiand reinhold, Newyork, 189, 190, 191.
- Öztürk, İ., 2000. *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*”, Su Vakfı Yayınları.
- Öztürk, İ., Timur, H. Koşkan, U. *Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*, [www.cevreorman.gov.tr](http://www.cevreorman.gov.tr).
- Öztürk. M., 2005. *Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi*. Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara.
- Parawira, W., Murto, M., Read, J.S., Mattiasson, B., 2005. Profile of hydrolases and biogas production during two-stagemesophilic anaerobic digestion of solid potato waste. *Process Biochemistry*, 40, 2945–2952.
- Patel, G.B., Roth, L.A., Agnew, B.J., 1984. Death rates of obligate anaerobes exposed to oxygen and the effect of media prereluction on cell viability. *Can. J. Microbiol.* 30, 228–235.
- Rajoka MI, Malik KA., 1997. Cellulase production by *Cellulomonas biazotea* cultured in media containing different cellulosic substrates. *Bioresource Technology*, 59, 21–27.

- Raven, R.P.J.M., Gregersen, K.H., 2005. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1–18.
- Rollon, A.P., 1999. Anaerobic digestion of fish processing wastewater with special emphasis on hydrolysis of suspended solids. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Salminen, E., Rintala, J., 2002. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Bioresource Technology*, 83, 13–26.
- Salminen, E.A., Rintala, J.A., 2002. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. *Water Research*, 36, 3175-3182.
- Sarkar SC, Bose A., 1997. Role of activated carbon pellets in carbon dioxide removal. *Energy Convers Manage*, 38:105–110.
- Sawyer, C.N., Grumbling, A.M., 1960. Fundamental consideration in high-rate digestion. *Inc. Sew. Engng. Div. ASCE*, 86–92.
- Sheffield, J., 2002. Financial approaches to animal manure management. In: *Animal Residuals 2002 Conference and Workshop Report (No: JIEE 2002-04)*.
- Smith, L.C., Elliot, D.J., James, A., 1996. Mixing in upflow anaerobic filters and its influence on performance and scale-up. *Water Research*, 30, 3061-3073.
- Sözer, S. ve Yıldız, O., 2004. Bazı Bitkisel Atıkların Biyogaz Teknolojisi ile Değerlendirilmesi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt II, 609-618, İstanbul.
- Speece, R.E., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Vanderbilt University, Arachae Press.
- Suess, M.J., (Editör), Uğurlu, A. (Türkçe Bas. Edit.), 1995. *Katı Atık Yönetimi, Çevre Müh. Odası, Yayını, Ankara*.
- Tosun, İ., Gönüllü, M. T., Günay, A., 2004. Anaerobic Digestion and Methane Generation Potential of Rose Residue in Batch Reactors”, *Journal of Environmental Science and Health Part A—Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, Cilt. A39, No. 4, 911–921.
- Truong LV-A, Abatzoglou N., 2003. An adsorption/reaction process for the purification of biogas prior to its use as energy vector. In: Brebbia CA, Sakellaris I, editors. *Proceedings of the first international conference on sustainable energy planning and technology in relationship to the environment*. Southampton/Boston: WITPress. p. 43–52.

TÜBİTAK-MAM, 2001. Kümes ve Ahır Gübrelерinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi-Başlangıç Raporu.

Üçgöl, İ., Tosun, İ., Koyun, T., Gül, N., 2005. Afyon başmakçı biyokütle rezervinin biyogaz olarak değerlendirilmesi. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Makina Mühendisleri Odası, Kayseri.

[www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/ENERJI/151097.html](http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/ENERJI/151097.html)

[www.eie.gov.tr/biyogaz/mikrobiyoloji.html](http://www.eie.gov.tr/biyogaz/mikrobiyoloji.html)

[www.eie.gov.tr/biyogaz/tasarim.html](http://www.eie.gov.tr/biyogaz/tasarim.html)

[www.enerji.gov.tr/enerjiuretimi.htm](http://www.enerji.gov.tr/enerjiuretimi.htm)

[www.kimyamuhendisi.com](http://www.kimyamuhendisi.com)

[www.tae.gov.tr/page.php?ID=27](http://www.tae.gov.tr/page.php?ID=27)

[www.temenar.gazi.edu.tr/amacimiz.htm](http://www.temenar.gazi.edu.tr/amacimiz.htm)

Yang, X., Chan, H., Gao, H., Li, Z., 2001. Bioconversion of corn straw by coupling ensiling and solid-state fermentation. *Bioresource Technology*, 78, 277–280.

Yavuzcan, G., 1983. İçsel tarım mekanizasyonu, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 871, Ankara, 13-15.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı: Nazmiye GÜL

Doğum Yeri: Isparta

Doğum Yılı: 25.08.1981

Medeni Hali: Bekar

### **Eğitimi Ve Akademik Durumu:**

Lise: 1996-1999 Gazi Lisesi

Lisans: 1999-2003 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce