

**BİYOGAZ HAKKINDA GENEL BİLGİ VE  
YAN ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI  
GENERAL KNOWLEDGE ABOUT BIOGAS AND  
USAGE AREAS OF BY PRODUCTS**

**Jale GÜLEN<sup>1\*</sup> ve Çisem ÇEŞMELİ<sup>1</sup>**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fak., Kimya Müh. Bölümü,  
34210, Davutpaşa-İSTANBUL*

**Geliş Tarihi:** 07 Şubat 2012      **Kabul Tarihi:** 06 Nisan 2012

**ÖZET**

Enerji üretimi, dönüşümü ve tüketimi, toplum yaşamı için her zaman önemli olmuştur. Artan nüfusla birlikte fosil kökenli yakıtlarının sınırlı olması ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle yeni enerji kaynakları için arayış başlamıştır. Bu açıdan, sürekli, yenilenebilir ve çevreye zararsız enerji kaynakları önem kazanmıştır. Biyogaz, anaerobik sindirim ya da biyolojik maddelerin fermantasyonu ile elde edilir ve diğer enerji türlerine göre temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada biyogazın tanımı, oluşumu ve enerjiye yönelik kullanım alanları açıklanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Biyogaz, Yenilenebilir, Atık, Gübre

**ABSTRACT**

Energy production, conversion and consumption are one of the important factors in community life. With increasing population, searching of alternative energy sources has begun because of fossil sources scarcity and environmental effects of them. From this point of view, energy sources, which is continuous, renewable, and ecofriendly have gained importance. Biogas is produced by anaerobic digestion or fermentation of biodegradable materials and it is a clean and high value energy source according to other energy types. In this study, description, formation and usage of energetic applications of biogas are explained.

**Keywords:** Biogas, Renewable, Waste, Fertilizer

---

\* Sorumlu Yazar: [gulenj@yildiz.edu.tr](mailto:gulenj@yildiz.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Biyogaz başta hayvan gübrelere ve bitki artıkları olmak üzere, her türlü organik materyalin havasız koşullarda fermantasyonu sonucu elde edilen, bileşiminde metan ve karbondioksit olan bir gaz karışımıdır. Isıl değeri yüksek bir enerji kaynağıdır. Biyogaz teknolojisi organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir. Ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Atık geri kazanımı sağlar. Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder. Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.

Bu çalışmada biyogazın tanımı ve elde edilmesi, biyogazın önemi ve biyogazın kullanım alanları açıklanmıştır.

## 1. BİYOGAZ NEDİR?

Biyogaz; bitki ve hayvan artıkları gibi organik maddelerin havasız ortamlarda fermantasyonu sonucu oluşan enerji kaynağıdır. Bileşiminde % 60-70 metan, % 30-40 karbon dioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot bulunan biyogaz, renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır.

Biyogazın üretildiği kaynaklar 3 gruba ayrılabilir;

o Bitkisel atıklar: İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları, vb.

o Hayvansal atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, vb (Öztürk, 2005).

o Şehirselle ve endüstriyel atıklar Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular, zirai atıklar, orman endüstrisinden elde edilen atıklar, deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, kağıt endüstrisinden elde edilen atıklar, gıda endüstrisi atıkları, sebze, tahıl, meyve ve yağ endüstrisinden elde edilen atıklar, şeker endüstrisi atıkları, evsel katı atıklar, atık su arıtma tesis atıkları, vb. (URL I)

*Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünleri*

Tablo 1’de çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve metan gazı miktarları verilmiştir. Biyogazın ısı değeri bileşimindeki metan oranına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 4700-6000 kcal/m<sup>3</sup> kadardır. Bu nedenle ısınma, aydınlatma ve su ısıtılması gibi amaçlarla kolaylıkla kullanılabilen temel enerji kaynaklarına alternatif olabilecek bir enerji kaynağıdır (Öztürk, 2005).

**Tablo 1.** Biyogazın Bazı Yakıt Türleri ile Karşılaştırılması (URL II)

Yakıt Cinsi	Isıl Değeri (kcal/kg)	Biyogaz Miktarı Karşılıkları (Biyogazın Metan Miktarı %60)
No6 Fuel-Oil (1 kg)	9200	0.56 kg
Karışık Dökme Gaz (1 kg)	11000	0.46 kg
Motorin (1 kg)	10200	0.50 kg
Doğalgaz (1 m <sup>3</sup> )	8250	0.62 m <sup>3</sup>
İthal Linyit Kömürü (1 kg)	6500	0.79 kg

**Tablo 2.** Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları(URL III)

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

Biyogaz renksiz, kokusuz, parlak mavi bir alevle yanan ısı değeri yüksek bir gaz karışımıdır. Yapılan çalışmalardan elde edilen

sonuçlar, gazın bileşiminin ortamın sıcaklığı, su miktarı, asiditesi ve artıkların cinsi gibi etkenlerle değiştiğini göstermektedir (Öztürk (2005), Koca (2007), Pehlivan (2009), Bilgin (2003) .

Tablo 3: 1m<sup>3</sup> Biyogazın Hacimsel Olarak Ortalama % Bileşimi (URL IV)

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

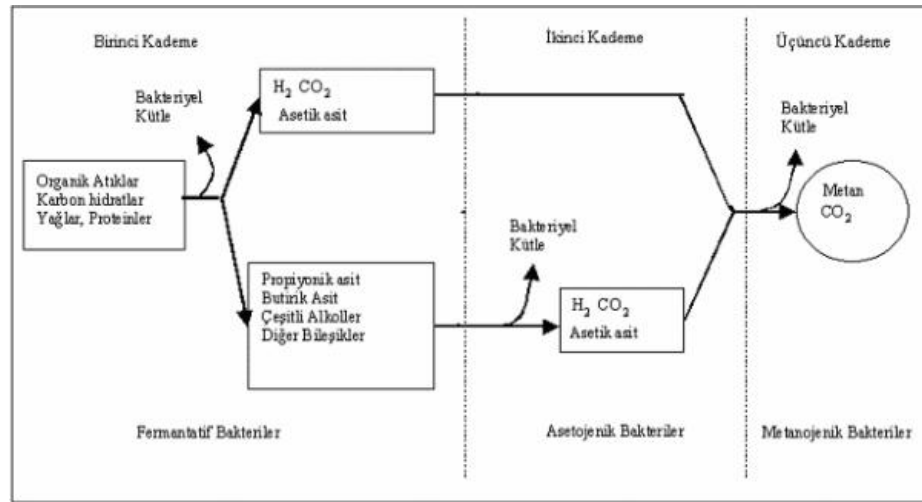
Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve kullanımı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yöneliktir. Petrol veya dizel yerine araçlarda kullanımı hidrokarbon, azot oksitleri parçacıklar gibi hava kirletici unsurların emisyonunda önemli bir azalma sağlar. Biogaz ısı ve elektrik üretiminde doğal gaz veya fuel oil yerine kullanımı ile hava kirletici emisyonlar önemli ölçüde azalacaktır (Börjesson ve Berglund 2003).

## 2. İYOGAZIN ELDE EDİLMESİ

Biyogaz, havyan gübresi içindeki organik maddelerin anaerobik fermantasyonu sonucu elde edilir. Fermantasyon mikroorganizmaların vasıtasıyla organik maddelerin sindirilmesi sonucu metan üretimi ile gerçekleştirilir. Bu üretim 3 kademede gerçekleşmektedir (Şekil 1). Anaerobik fermantasyonun bu üç aşaması aşağıdaki gibi sıralanır;

- \* Fermantasyon ve hidroliz
- \* Asetik asidin oluşumu
- \* Metanın oluşumu

## Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünleri



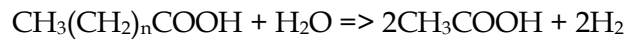
Şekil 1. Anaerobik İşlemin Basamakları (Öztürk 2005)

### 2.1. Fermantasyon ve Hidroliz

Biyogaz üretiminin birinci evresi olan bu aşamada fermentatif ve hidroliz bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları, proteinleri ve yağları parçalarlar. Organik maddeler  $\text{CO}_2$ , asetik asit ve çözülebilir uçucu organik maddelere dönüşürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin  $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}]$  oluşum aşaması adı da verilir (URL III, URL IV, URL V).

### 2.2. Asetik Asitin Oluşumu

Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik asite dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetogenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir.

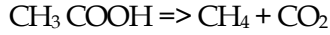
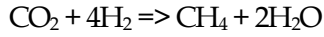


Diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha az olmaktadır (URL III, URL IV, URL V).



### 2.3. Metan Gazının Oluşumu

Bu son aşamada ise anaerobik fermantasyon işleminde metan oluşturan bakteri grupları devreye girmektedir. Metan oluşturan bakteriler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> 'yi kullanarak metan (CH<sub>4</sub>) ve suyu (H<sub>2</sub>O) açığa çıkarırlarken, bir diğer metan oluşturan bakteriler grubu ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturmaktadırlar.



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

1 kg organik katı maddenin (KM) üç temel ögesi olan karbonhidrat, yağ ve proteinden anaerobik fermantasyon sonucu elde edilecek CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'nin ağırlık yüzdesi üretilebilecek biyogaz ve metan miktarları ile üretilen biyogaz içindeki hacimsel olarak metan yüzdeleri Tablo 4de verilmiştir (URL III, URL IV, URL V).

**Tablo 4.** Bazı Organik Maddelerden Oluşan Biyogaz Miktarı (Öztürk, 2005)

Organik Maddeler	Spesifik Gaz Üretimi (L/kg)	Gaz Oranı
Karbon hidratlar	790	%50 CH <sub>4</sub> , %50 CO <sub>2</sub>
Lipitler	1 250	%68 CH <sub>4</sub> , %32 CO <sub>2</sub>
Proteinler	700	%71 CH <sub>4</sub> , %29 CO <sub>2</sub>

**Tablo 5:** Organik Maddenin Üç Temel Ögesinden Elde Edilecek Biyogaz ve Metan Miktarlarıyla Hacimsel ve Ağırlık Yüzdesi Olarak Gaz Bileşimleri (URL IV)

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

Burada ağırlık ve hacimsel %'lerde meydana gelen farklılık CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'ün yoğunluklarının farklı olmasından ileri gelmektedir. CO<sub>2</sub> =2 hava yoğunluğu; CH<sub>4</sub>=1/2 hava yoğunluğu.

**3. BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Biyogaz üretiminde, anaerobik fermantasyonda etkili olan faktörler sıcaklık, pH, organik madde yükleme hızı, MRS (mikroorganizma bekletme süresi), C/N, toksitite ve hidroliz besleme süresidir.

Sıcaklık;

Üretim üzerinde sıcaklığın büyük etkileri vardır. Metabolik hızda, iyonizasyon denkliliklerinde, substratların çözünürlüğünde sıcaklık önemli bir parametredir. Mikroorganizmaların etkili olduğu sıcaklık aralıkları vardır ve proseslerde bunlara dikkat edilmelidir. Anaerobik parçalanma sıcaklığın bir fonksiyonudur. Öyle ki optimum sıcaklığa ulaşıncaya kadar sıcaklık arttıkça parçalanma da artmaktadır. Sıcaklık optimumu aştığında reaksiyon hızı ile beraber metabolik aktivite de düşmektedir. Reaktörün içerisindeki sıcaklık bekleme süresini ve reaktör hacmini de belirler. Sıcaklığın düzeyine göre sınıflandırılması üç şekilde yapılabilir Öztürk, 2005).

1. Psikofilik sıcaklık aralığı = 12-20 Derece
2. Mesofilik sıcaklık aralığı = 20-40 Derece
3. Termofilik sıcaklık aralığı = 40-65 Derece (URL I)

pH;

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. Bio karbonatlar pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önler (Öztürk, 2005).

pH değerinin 6.7 düzeylerine düşmesi durumunda bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Asit oluşturucu bakterilerin ise sayısı artarak pH'nın düşmesine ve metan oluşumunun durmasına sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesi sağlanır. pH'nın kararlı bir hale gelebilmesi için kimyasal da kullanılabilir. Bu kimyasallardan bir tanesi sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksittir. (URL I)

#### Organik yükleme hızı;

Birim hacimde bio reaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı (KOl) olarak ifade edilir. Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda bio reaktör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da gaz üretim hızını düşürür. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer (Öztürk, 2005).

#### HBS;

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biogaz üretilmesi için gerekli olan süredir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde, besi maddelerinin %70-80 oranında biokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişir.

#### MRS;

Biyokütle parçalama işleminde kararlılığı korumak için önemli bir metod sistemde mikroorganizmaların bekletme sürelerini (MRS) kısa tutmaktır. MRS arttığı sürece sistemdeki dengesizliklerde artacaktır.

#### C/N oranı;

Besi maddesinde azot bulunmasının iki faydası var. 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 (Öztürk, 2005).

C/N oranı biyogaz elde edilecek olan atık için uygun değerlerde olmalıdır. Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebebiyle biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir (URL I).



Besi maddesindeki bileşikler, bio reaktörde 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. Hayvan gübresinden biyogaz üreten atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. C/N oranı 15/1 ila 30/1' i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. C/N hesaplamalarında devamlı kuru madde esas alınır. Optimum C/N oranı farklı organik maddelerin karıştırılması ile elde edilebilir. Sabit karışım sürekli gaz üretimini garanti etmek için gereklidir.

Toksisite;

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikro organizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda olan mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümelerini geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/Lt. amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/Lt. amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir (Öztürk, 2005).

#### **4. NEDEN BİYOGAZ?**

Günümüzde bol ve ucuz enerji özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi klasik enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu enerjilerin bir müddet sonra tükenebileceği kaçınılmaz bir gerçektir. Dünyada enerji konusu ile ilgilenen kuruluşlar, bütün ülkelerin enerji tasarrufunda bulunmalarını ve bu arada her ülkenin kendi koşullarına göre yeni alternatif enerji kaynakları bulmalarını önermektedir. Yeni ve önemli enerji kaynaklarından biri de, biyogaz olarak dikkati çekmektedir.

Dünyada biyogaz üretim ve kullanımı giderek gelişmektedir. Hayvan gübresinden elde edilen biyogazın tesis oranları dikkate alınrsa dünyadaki tesislerin % 80'i Çin'de %10'u Hindistan'da, % 10'u Nepal ve Tayland'da bulunmaktadır. Tesis sayısına göre ise ülkelerin sıralaması Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Asya Ülkelerinde Biyogaz Tesis Sayıları (URL I)

Ülkeler	Çin	Hindistan	Nepal	Kore
Tesis Sayısı	7 000 000	2 290 000	49 500	29 000

Avrupa'nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaza ve tesis sayısına bakılacak olursa bu noktada Almanya 2 200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Bu ülkeyi 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya'da biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve günümüze kadar 139 tesisten 2 200 tesise kadar ulaşmıştır (URL I).

#### 4.1. Biyogaz Tesisleri ve Yapılan Çalışmalar

Qi ve arkadaşları ev tipi bir biyogaz sistemine ait analizler yaptılar. Gonguheng bölgesi Guangxi Zhang otonom bölgesinin kuzey doğusundadır. Sistemde kullanılan tank 8 m<sup>3</sup> tür ve servis süresi 15 yıldır. Bu sisteme dayanarak yapılan ekserji dönüşüm oranı % 49.02, ekserji kullanım oranı % 21.60 ve verim % 10.59 olarak bulunmuştur (Qi et al, 2012). Qi ve arkadaşları Kuzey Çin'de domuz gübresi ve sebze atıklarının beraber kullanıldığı bir sistemin avantajlarını da incelemişlerdir. Bu sistemin kullanılışı ile atmosfere salınan H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, ve C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> gibi hava kirletici unsurların emisyonlarında azalma olmaktadır. Ayrıca gübre ve sebze artıklarının uyum içinde kullanımı verimde % 32,4 lük bir artış sağlamıştır (Qi et al, 2005). White ve arkadaşları Ontario'da sığır çiftliklerinde küçük ölçekli biyogaz sistemi üzerinde analizler yaptılar (White et al, 2011). İşletilen tesis 120 MW lık elektrik üretim kapasitesindedir. Yapılan çalışmalar biyogaz üretiminde kullanılan hammadde miktarındaki değişmelerin biyogaz verimini % 10-80 arasında etkilediğini göstermektedir. Castro Villela ve Luz Silveria süt endüstrisinde biyogaz kullanımına ait çalışmalar yaptılar (Castro Villela ve Luz Silveria, 2005). Hazırlanan projede biyogazın yanması

ile bir absorpsiyon + soğutma sistemi ((NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O) ile soğuk su üretiminin termoekonomik analizi üzerinde çalışmışlardır. Sunulan model ekserjetik üretim maliyetini azaltmaktadır. İnceleme absorpsiyon soğutma sisteminin sıkıştırılmalı soğutma tesislerinden daha verimli olduğunu göstermiştir. Purohit ve Kandpol 15-25 m<sup>3</sup> kapasiteli bir biyogaz tesisi üzerinde çeşitli ekonomik analizler yaparak sistemin verimliliğini incelemişlerdir (Purohit ve Kandpol 2007) Aoki ve arkadaşları Japonya'da 60 m<sup>3</sup> lük bir termofilik reaktörde süt mandıra gübresi kullanarak biogaz üretimini denediler. Yapılan başarılı çalışmaların sonunda üretilen biogaz 15 kW gücündeki jeneratörde elektrik üretimi için kullanılabilmiştir (Aoki et al, 2006) Rao ve arkadaşları Hindistan'da yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak anaerobik reaksiyon sonucu biogaz üretimini incelediler. Biyogaz üretim tesisinin potansiyeli zirai atık, hayvan gübresi ve endüstriyel atıklar da dahil olmak üzere 25 700 MW olarak bulunmuştur. Atıklara ait toplam biyogaz potansiyeli 40 734 MM<sup>3</sup>/yıldır (Rao et al, 2010). Maeng ve arkadaşları Danimarka'da biyogaz tesislerinin teknolojik ve ekonomik gelişmelerini incelediler. Yirmi biyogaz tesisinin düzenli kullanımı ile 2005 de CO<sub>2</sub> emisyonunda % 20 oranında azalma sağlanmıştır. Bütün çalışan tesislerde gübre ile beraber organik atıkların kullanımı tesislerde elde edilen gaz verimini olumlu etkilemektedir (Maeng et al, 1999) Goel ve arkadaşları Hindistan'da atık çay yapraklarını iki fazlı anaerobik bir reaktörde biyogaz üretimi için kullandılar. Denemeler sonucu üretilen gazın metan içeriği % 73 olarak bulunmuştur (Goel et al, 2001)

İşçi ve Demirer pamuk atıklarını kullanarak biyogaz üretim potansiyelini incelediler. Kesikli reaktörde pamuk sapı, pamuk tohumu kabuğu ve pamuk yağı keki kullanarak yapılan çalışmalar olumlu neticeler vermiştir. İçinde 1 gram pamuk sapı, kabuğu ve keki içeren 30 ve 60 g/l lik konsantrasyonlar kullanıldığında 23 günlük bir periyotta 65, 86 ve 78 ml lik metan gazının üretilebilmesi mümkün olmuştur (İşçi ve Demirer, 2007). Tekin ve Dalgıç zeytin püresi kullanarak biogaz üretimi üzerinde çalışmalar yaptılar. Yapılan denemeler biogaz içindeki metan miktarının kesikli veya yarı sürekli üretiminde % 75-80 arasında değişen değerler vermiştir (Tekin ve Dalgıç, 2000).

#### 4.2. Biyogaz Tesislerinin Karakteristikleri ve Türkiye’de Yapılan Biyogaz Projeleri

Tesis ve üretim teknolojisinin basitliği, enerji potansiyelinin büyüklüğü, uygulama alanlarının genişliği, kullanımının kolaylığı gibi nedenlerle biyogaz üzerinde önemle durulması gereken bir enerji kaynağı görünümündedir. Ülkemizde yılda yaklaşık 20 milyon ton hayvan gübresi tezek olarak yakılmaktadır. Oysa bu gübre biyogaz üretiminde kullanıldıktan sonra yine tarımsal hizmetlerde çiftlik gübresi olarak uygulanabilir(Goel et al, 2001). Ayrıca biyogaz üretimi ile;

- Organik artıkların oksijensiz fermantasyonu sonucunda oldukça temiz gaz elde edilir.
- Gübre mikroorganizmalar tarafından parçalanıp daha küçük yapıları moleküllere dönüştükleri için bitkiler tarafından daha kolaylıkla kullanılabilir, gübre değeri eskisine oranla %20-25 arasında artar.
- Zararlı parazit ve patojen mikroorganizmaların üremesi imkansızlaşır, bu şekilde artığın ortamın çevre sağlığını tehdit etmesi önlenir.
- Organik artıkların biyolojik oksijen ihtiyaçları azaldığından artıkların hava kirlenmesine sebep olması önlenir
- Fermente gübrenin, tarım uygulamalarında kullanılması durumunda verimin yaklaşık olarak % 25 oranında arttığı görülür

Biyogaz içerisindeki metan gazına bağlı olarak yüksek kaliteli bir yakıt ve yanıcı bir gazdır. Biyogaz öncelikle doğalgazın ve tüp gazın kullanıldığı tüm yerlerde kullanılabilir. Biyogazın kullanımında ön şart normal enerji teminidir. İstenilen yanma ve ısı temini için biyogazın oksijene ihtiyacı vardır.

1 m<sup>3</sup> biyogaz ile şunlar yapılabilir:

- 2 BG motoru 1saat süre ile çalıştırabilir,
- 60 W eşdeğerindeki fitilli bir lambayı 7 saat süre ile çalıştırabilir,

- 4 kişilik bir ailenin üç öğün yemeğini pişirebilir,
- 300 litrelik bir buzdolabını 3 saat süre ile çalıştırabilir,
- 1.25 kWh elektrik enerjisi üretebilir.

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

1- **“Sığır-Koyun-Tavuk Gübreleri ve Bunların Karışımlarından Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri”**. Araştırma fermantör sıcaklığı 30 °C’de sabit tutulan 1 m<sup>3</sup> kapasiteli prototip biyogaz tesislerinde yürütülmüştür. En yüksek biyogaz verimi tavuk gübresinden elde edilmiştir (1215,6 l./m<sup>3</sup>). Tavuk gübresinin karışıma girdiği durumlarda biyogaz üretimi artmıştır.

2- **“Ankara Koşullarında 12 m<sup>3</sup> Kapasiteli TOPRAKSU Tip A Biyogaz Tesisinde Sığır Gübresinin Biyogaz Verimi”**. Araştırma sabit kubbeli (Çin Tipi) biyogaz tesisinde yürütülmüş, fermantör sıcaklığına müdahale edilmemiştir. Fermantör sıcaklığı 9 °C’de biyogaz verimi 1.4 m<sup>3</sup>/gün, 20 °C’de 5.9 m<sup>3</sup>/gün olmuştur.

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

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

Tablo 7. Sığır ve Tavuk Gübrelere nin Değişik Sıcaklıklarda Biyogaz Verimleri

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

5- “Değişik Besleme Aralıklarında Sığır ve Tavuk Gübrelere ninden Elde Edilen Biyogaz Miktarları” Fermantör sıcaklıkları 30 °C’de sabit tutularak hergün, üç günde bir, beş günde bir ve yedi günde bir besleme yapılmıştır. Sığır gübresinden en yüksek biyogaz verimi, beş günde bir beslenen denemeden sağlanırken (785.7 l./m<sup>3</sup>) tavuk gübresinden en yüksek biyogaz verimi hergün beslenen denemeden elde edilmiştir (1099.7 l./m<sup>3</sup>).

6- “12 m<sup>3</sup> Kapasiteli Biyogaz Tesisinde Tavuk Gübresinin Gaz Verimi” Doğal koşullarda yürütülen araştırmada fermantör sıcaklığı 5-19 °C arasında gerçekleşmiştir. Tesisten 10 °C’de 2.4 m<sup>3</sup>/gün, 15 °C’de 4.8 m<sup>3</sup>/gün ve 19 °C’de 6.9 m<sup>3</sup>/gün biyogaz elde edilmiştir (URL VI).

## 5. BİYOGAZ YAN ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilerek kullanımı da mümkün olmaktadır. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

### 5.1. Biyogazın Isıtmada Kullanılması

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan gazından ileri gelmektedir. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobalarda basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını

önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir.

### **5.2. Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması**

Biyogaz hem doğrudan yanma hem de elektrik enerjisine çevrilerek 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.

### **5.3. Biyogazın Motorlarda Kullanımı**

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

### **5.4. Yan Ürün Değerlendirme İmkânları**

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar (URL III, URL V).

Dünyanın artan nüfusu ile birlikte gelişen teknolojiler ile enerji bağımlılığı her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte görülen çevresel problemler kullanılan kaynakların tüketim şeklinin önemini artırmaktadır. Tabii enerji kaynaklarının tükeneceği gerçeği ile yenilebilir enerji kaynakları önem kazanmaktadır. Bu açıdan organik kökenli atık/artık maddelerden üretilen biyogaz, çevresel problemlerin azaltılması ve enerji üretimi konusunda önemli bir etki sağlayacaktır.

## 6. SONUÇ

Biyogaz üretimi bilinen, yaygın kullanılan bir teknolojidir. Bu, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına, hayvancılığın teşvik edilmesine, daha yaşanılır mekânların yaratılmasına katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte gübrede açığa çıkan azotun değerlendirilmesi, geri kazanılması veya atmosferik azota dönüştürülmesi konusunda maliyet düşürücü araştırmalar gereklidir.

Ayrıca atıklardan biyogaz üretimi sera gazı etkilerini de azalttığından Kyoto Protokolünde imzası bulunan Türkiye'nin teknoloji üretimi, vasıflı personel ve mali destek problemlerini çözerek biyogaz üretimini yaygınlaştırması gerekmektedir (Avcioğlu ve Türker, 2012).

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

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



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

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

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

Avcioğlu ve Türker Türkiye'nin hayvansal atıklardan sağlanacak biyogaz enerji potansiyelini araştırmıştır ve Ülkenin biyogaz potansiyeli 2.18 Gm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Toplam biyogaz potansiyeli % 68 sığır, % 5 küçükbaş ve % 17 kümes hayvanı artıklarından hesaplanmıştır. Türkiye'de biyogazın enerji olarak eşdeğerliği 49 PJ (1170.4 ktoe) olarak bulunmuştur. 1 GJ dan daha çok biyogaz enerji potansiyeline sahip olan yerler Bolu, Balıkesir, İzmir, Sakarya, Konya, Manisa, Erzurum, Afyon, Kars ve Ankara olarak bulunmuştur (Avcioğlu ve Türker, 2012).

#### **KAYNAKLAR**

- Aoki K., Umetsu K., Nishizaki K., Takahaski S., Kishimoto T., Tanı M., Hamamoto O., Misaki T. (2006) Thermophilic biogas plant for diary manure treatment as combined power and heat system in cold regions, International Congress Series, 1293, 238-241
- Avcioğlu A.O., Türker, U. (2012), Status and Potential of Biogas Energy from Animal Wastes in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1557-1563.
- Bilgin N., 'Biyogaz Nedir?', Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara-2003

- Börjesson, P. Berglund, M. 2003. Environmental analysis of biogas systems. Report ar. 45, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, Sweden.
- Goel, B., Pant, D.C., Kishore V.V.N. (2001) Two phase aerobic digestion of spent tea leaves for biogas and manure generation, *Bioresource technology*, 80, 153-156.
- Işçi A, Demirer G. N. (2007) Biogas Production Potential from Cotton Wastes, *Renewable Energy*, 32, 750-757.
- Koca A., (2007) 'Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Biyogaz', *Doğu Ana.Böl. Arş. Dergisi*, 3, 129- 137.
- Maeng H., Lund H., Huelplund, F. (1999) Biogas plants in Denmark: Technological and economic developments, *Applied Energy*, 64, 195-206.
- Öztürk M., 'Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi', Çevre ve Orman Bakanlığı , Ankara, 2005.
- Pallov P., Tara C. K., (2007) Technoeconomics of biogas Based Water Pumping in India: An attempt to Internalize CO<sub>2</sub> emissions mitigation and Other Economic Benefits, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1208-1226.
- Pehlivan E., 'Biyogaz ve Biyogaz Uygulamaları', II. İç Anadolu Bölgesi Enerji Forumu Konya-Akşehir-Ereğli, Şubat 2009.
- Qi J, Chen B., Chen W., Chu X. (2012). Inventory analysis for a household biogas systems, *Procedia Environmental Science*, 13 1902-1906.
- Rao P. V., Banal S. S., Dey R., Mutmuri S. (2010) Renewable and sustainable Energy reviews, 14 2086-2094
- Tekin A.R., Dalgıç A. C. (2000) Biogas production from olive pomace, *Resources, conservation and recycling*, 30 301-313
- Qi, X., Zhang, S., Wang, Y., Weng, R. (2005) Advantageous of the integrated pig biogas- vegetable green house system in North China, *Ecological Engineering*, 34, 175-185.
- Villela, I.A.D., Silveira, J.L (2005) Thermo-economic analysis applied in Cold Water Production System Using Biogas Combustion, *Applied Thermal Engineering*, 25, 1141-1152.
- White Andrew J., Kirk Donald W., Graydon John W., ( 2011) Analysis of Small Scale Biogas Utilization Systems on Ontario Cattle farms , *Renewable Energy*, 36 1019-1025.
- URL 1 2.4.2012 tarihinde <http://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz> adresinden alınmıştır.

*Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünleri*

---

- URL II 10.10.2011 tarihinde [www.biyogaz.org.tr](http://www.biyogaz.org.tr) adresinden alınmıştır
- URL III 24.10.2011 tarihinde <http://www.eie.gov.tr/biyogaz> adresinden alınmıştır
- URL IV 4.4.2010 tarihinde <http://homepage.uludag.edu.tr/~yahyau/biyogaz.htm> adresinden alınmıştır
- URL V 14.10.2010 tarihinde <http://www.enerji.gov.tr/BysWEB/DownloadBelgeServlet?read=db&fileId=42013> adresinden alınmıştır
- URL V 14.12.2010 tarihinde <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/biyogaz/bigaz.htm> adresinden alınmıştır
- URL VI 2.4.2012 tarihinde [http://www.tarim.gov.tr/%5CFiles%5Csanal\\_kutuphane%5Cbiyogaz%5Cbiyogaz.htm](http://www.tarim.gov.tr/%5CFiles%5Csanal_kutuphane%5Cbiyogaz%5Cbiyogaz.htm) adresinden alınmıştır.

\*\*\*\*