

Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları

Halis DEVİREN¹ / Cumali İLKILIÇ² / Selman AYDIN³

¹Öğr. Gör., Şırnak Üniversitesi, halisdeviren@sirnak.edu.tr

²Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, cilkilic@firat.edu.tr

³Yrd. Doç. Dr., Batman Üniversitesi, selman.aydin@batman.edu.tr

Geliş Tarihi/Received:

26.09.2017

Kabul Tarihi/Accepted:

17.11.2017

Yayın Tarihi/Published:

27.12.2017

ÖZ

Günümüzde güneş, rüzgar ve biyokütle gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımını günden güne artarak devam etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, biyogaz üretmek için kullanılabilen materyaller ve biyogazın kullanım alanları araştırılmıştır. İnsanların enerji ihtiyacı gelişen teknoloji ve büyüyen nüfus ile birlikte dünyada her yıl artmaktadır. Dünyada fosil yakıt rezervlerinin bitme noktasına ulaşması, üretim maliyetlerinin artması ve küresel ısınma nedeniyle, insanlığın alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi zorunluluk haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de biyokütleden elde edilen biyogazdır. Yenilenebilir bir enerji olan biyogaz, biyokütlenin havasız ortamda çeşitli bakteri gruplarının ortak faaliyetleri sonucunda çürütülmesi esnasında ortaya çıkan ve ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit içeren bir gazdır. Biyogaz üretebilmek için; hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, organik evsel katı atıklar vb. kullanılabilir. Biyogaz elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, biyokütle, fermantasyon, organik atıklar

Usable Materials in the Production Biogas and Using Fields of Biogas

ABSTRACT

Today, the using of alternative energy sources such as solar, wind and biomass is increasing day by day. For this reason, in this study, to produce biogas which is the usable materials and its using fields have been investigated. Of people the need for energy is increasing with the developing technologies and growing population together in the world each year. Due to fossil fuel reserves get to the end point, increasing of their costs production and global warming in the world, of humanity heading for alternative energy sources has become imperative. One of these renewable energy resources, which are produced from biomass, is biogas. Biogas is a renewable energy and it is obtained from biomass during anaerobic environment as a result of joint activities of various groups of bacteria and mainly consists of methane and carbon dioxide. In order to produce biogas; animal wastes, vegetative wastes, and household organic solid wastes etc. can be used. Biogas can used to generate the electricity and heat energy.

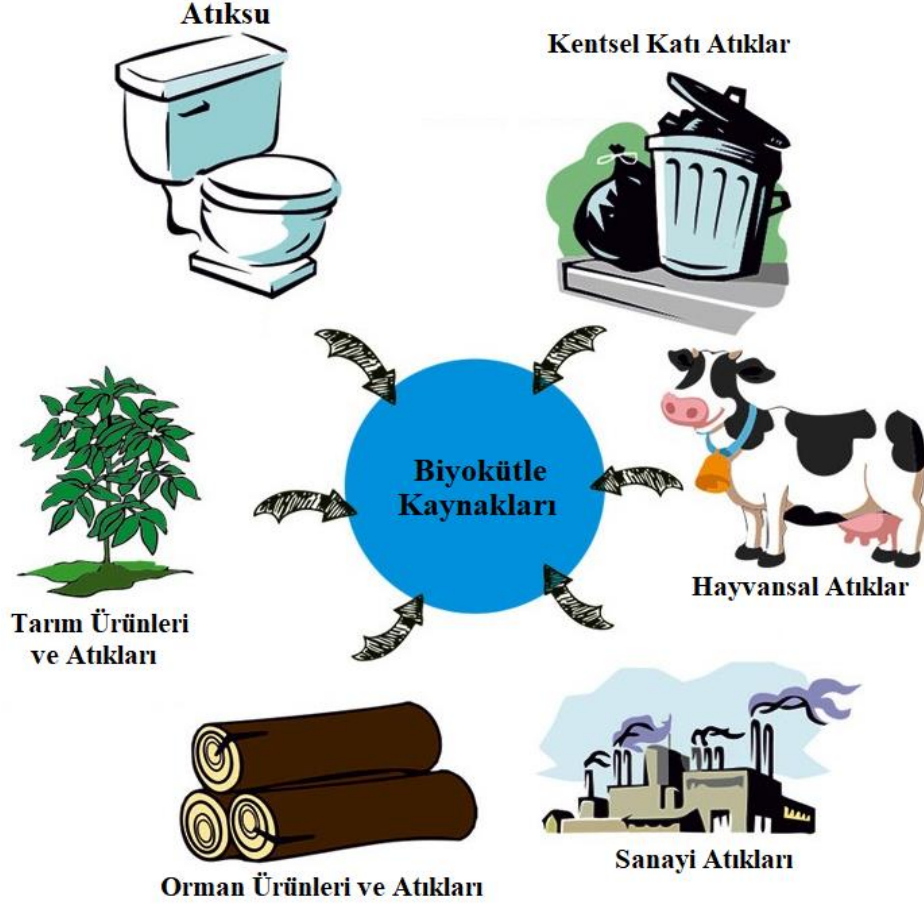
Keywords: Biogas, biomass, fermentation, organic wastes

1. GİRİŞ

Şehirleşme, tarım ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan organik içerikli atıklar, ekonomik ve çevre ile ilgili birçok soruna neden olmaktadır. Organik atıklar, genel olarak etkin bir dönüşüm işleminden geçirilmeden çevreye atılmakta, depolanmakta, yakılmakta veya verimsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sonucunda bu atıkların tamamen bozunması sağlanamamakta ve ülke ekonomisinde önemli

bir yeri olmasına rağmen çevre, ekosistem ve insan sağlığı için tehdit unsuru haline dönüşmektedir. Atıkların kontrolsüz depolanması ve ayrışması, insanların sağlığına zararlı olan CH₄ ve CO₂ gibi gazların oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu atıkların depolanmasında koku, sinek ve patojen oluşumu ile hijyen şartları bozulmaktadır. Aynı zamanda oluşan nitrat birikimi, toprak yapısı ile mikrobiyolojisinin bozulmasına, nitratın yüzey ve yeraltı sularına karışması sonucu sebze-meyve tüketimi ve içme suyu yoluyla da insan ve diğer canlı yaşamını tehdit etmesine neden olabilmektedir (Yu vd., 2002: 22).

Temiz bir enerji kaynağı olan biyogaz başlıca hayvan gübresi olmak üzere özel olarak yetiştirilen bazı bitkilerden, tarımsal ve her türlü organik atıktan uygun bakteriler ile anaerobik arıtım sonucunda elde edilmektedir. Şekil 1’de yenilenebilir enerji kaynakları arasında yaygın kullanılmakta olan biyokütle kaynakları gösterilmiştir.



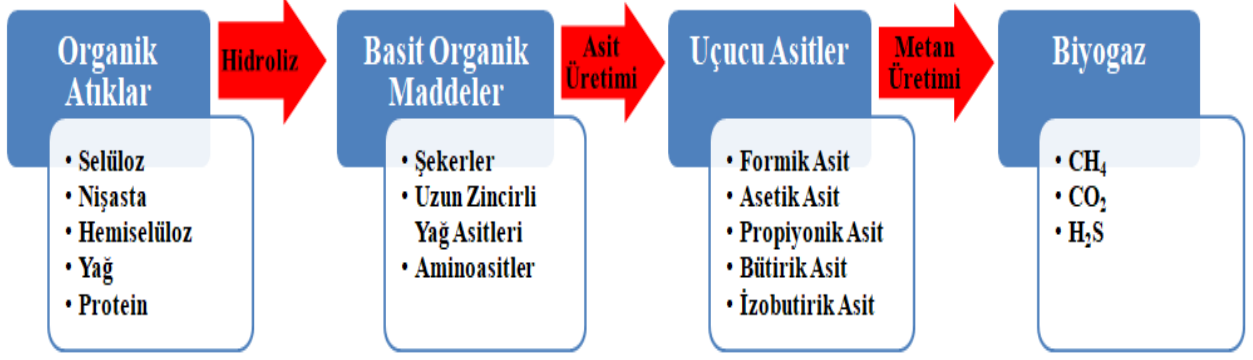
Şekil 1. Biyokütle kaynakları (Biomass in India, 2017).

Çeşitli yöntemlerle biyokütle kaynaklarından enerji elde edilebilmektedir. Bunlar, biyokütle ısı dönüşüm teknolojileri, biyoetanol, biyometanol, biyodizel, biyogaz, Fischer-Tropsch sentezi yakıtları ve dimetil eter gibi sıvı yakıtlardır. Isı dönüşüm teknolojilerinin en kolayı doğrudan yanıcı maddeyi yakmaktır. Doğrudan yakma birçok köyümüzde uzun zamanlardan beridir uygulanan bir yöntemdir (Öztürk, 1999). Bu şekilde istenilen kalitede ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün değildir. Aynı zamanda sağlık yönünden olumsuz etkileri olan çevre kirliliğine neden olmaktadır (Demir ve Yılmaz, 2016). Diğer ısı dönüşüm teknolojisi ise gazlaştırmadır. Gazlaştırma işleminde biyokütle, gazlaştırıcı denilen reaktörlerde yüksek sıcaklıklarda enerji taşıyıcı gazlara çevrilmektedir. Elde edilen bu gaz yakılarak enerji sağlanmaktadır (Öztürk, 1999).

2. BİYOGAZIN ÜRETİM SAFHALARI ve ÖZELLİKLERİ

Biyogaz üretimi, karmaşık ve değişik görevlere sahip olan mikroorganizmaların bulunduğu kompleks bir biyokimyasal işlemdir. Bu işlemde önemli bir rol oynayan bakteriler asit ve metan bakterileri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Asit bakterileri asit üretirlerken, metan bakterileri ise üretilen asitleri kullanırlar. Asit bakterileri bütirik ve propiyonik asit üretenler ile asetik asit üretenler, metan bakterileri ise asetik asit kullananlar ile hidrojen kullananlar şeklinde kendi aralarında alt gruplara ayrılmaktadırlar (Buswell ve Hatfield, 1936). Organik maddelerin havasız ortamda ayrışması Şekil 2’de görüldüğü gibi, en

genel halde hidroliz safhası, asit üretimi safhası ve metan üretimi olmak üzere üç safhalı bir proses halinde ele alınabilir (Türker, 2008).



Şekil 2. Anaerobik ayrışma basamaklarının genel gösterimi

İlk safhada yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözülmüş organik maddeler (Selüloz, Nişasta, Hemiselülöz, Yağ, Protein vb.) bakterilerin hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha düşük molekül ağırlıklı organik maddelere dönüştürülmektedir. Asit üretiminin yapıldığı ikinci safha düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitleri ve ardından da asetik aside dönüştürülür. Son safhada ise asit üretimi safhasında üretilen asetik asit parçalanmasıyla veya CO_2 ve H_2 senteziyle CH_4 metan üretimi gerçekleşmektedir (Yadava ve Hesse, 1981).

Biyogaz ağırlıklı olarak CH_4 ve CO_2 , az miktarda H_2S ve NH_3 ayrıca eser miktarda H_2 , N_2 , CO , O_2 , aromatikler, halojenli bileşikler (klorürler, florürler vb.) ve silikonlar içermektedir. Biyogaz elde edildikten sonra enerji seyreltici olan su buharı ile de doymuş haldedir. Biyogazın ilk üretiminde birçok kimyasal bileşenler içermektedir. Bu bileşenler Tablo 1’de görüldüğü gibi, hacimsel olarak %60–%70 metan (CH_4), %30–%40 karbon dioksit (CO_2), %1–%2 azot (N_2), amonyak (NH_3) ve atık sudaki kükürt derişimine bağlı olarak hidrojen sülfür (H_2S) ile hidrojen (H_2) içermektedir (Painuly vd., 1995; Gustavsson, 2000). Biyogaz havadan daha hafif ve havaya göre yoğunluğu 0.94 kg/m^3 , oktan sayısı yaklaşık 110, yanma sıcaklığı $700 \text{ }^\circ\text{C}$, alev sıcaklığı $870 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ısıl değeri 5.96 kWh/m^3 olan ağırlıklı olarak $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ’ten oluşan bir gaz karışımıdır (Bayrakçeken, 1997). Gaz bileşimi sabit olmayıp ayrıca ortam sıcaklığına, su miktarına, asiditesine (pH) ve kullanılan gübrenin bileşimine göre değişmektedir (Eryılmaz, 1981).

Tablo 1. Biyogaz bileşimi

Bileşenler	Hacimsel %
Metan (CH_4)	50–80
Karbondiyoksit (CO_2)	20–50
Hidrojen sülfür (H_2S)	0,0005–0,0002
Amonyak (NH_3)	0,0005–0,0001
Azot (N_2)	0–3
Hidrojen (H_2)	0–5
Su (H_2O)	0–1

Tablo 2’de görüldüğü gibi biyogaz, arıtıldıktan ve kalitesi iyileştirildikten sonra doğalgazın yerine kullanılabilir (U.S. Department of Energy, 2002). Anaerobik fermentasyon sonucunda oluşan biyogazın içerisinde; CH_4 gazından sonra, hacimsel olarak en fazla yüzdeyi CO_2 oluşturmaktadır. Bu enerji seyreltici gaz üretilen biyogazın içerisinde ayrıştırıldığı takdirde, CH_4 yüzdesi artacaktır ve buna bağlı olarak elde edilmiş biyogazın ısıl değeri artmış olacaktır.

Tablo 2. Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim, hacim %’si	95–98	55–65
Mol ağırlığı, kg/mol	16,04	26,18
Yoğunluk, kg/m^3	0,82	1,21
Isıl değer, MJ/m^3	36,14	21,48

Maksimum Tutuşma Hızı, m/sn	0,39	0,25
-----------------------------	------	------

1 m³ biyogaz, 2148 MJ/kg ısı değeri ile 0,56 kg fuel oil, 0,46 kg sıvılaştırılmış petrol gazı ve 0,62 m³ doğalgazın karşıladığı ısı değere eşit enerji üretebilir. Tablo 3'te içerisindeki metan oranı %60 olan biyogaz diğer yakıtlarla karşılaştırılmıştır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2008).

Tablo 3. Biyogazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması

Yakıt Cinsi	Isıl Değer (kJ/kg)	Biyogaz Miktarı Karşılıkları
1 kg No:6 Fuel-Oil	38492	0,56 kg
1 kg Karışık Dökme Gaz	46024	0,46 kg
1 kg Propan Dökme Gaz	46024	0,46 kg
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	46024	0,46 kg
1 kg Motorin	42676	0,50 kg
1 m ³ Doğalgaz	34518	0,62 m ³
1 kg Soma Kömürü	19664	1,09 kg
1 kg İthal Linyit Kömürü	27196	0,79 kg

Biyogazın yanma özelliği, bileşimindeki metan gazından kaynaklanan biyogazın hava ile 1/7 oranında karışması durumunda tam yanma olayı meydana gelmektedir (Kuhn, 1995). Biyogaz sistemleri, kullanıcılar için pek çok bakımdan avantaja sahiptir. Her şeyden önce biyogaz sistemlerini kullananlar bu sistemleri organik gübre ve enerji üretiminin doğal bir kaynağı olarak görmelidirler. Pek çok kesim tarafından, biyogaz üniteleri enerji üreten sistemler olarak görülmektedir. Bu yaklaşım doğrudur. Fakat bir biyogaz sisteminden elde edilen en önemli ürün enerji değil, organik gübredir (Buğutekin, 2007).

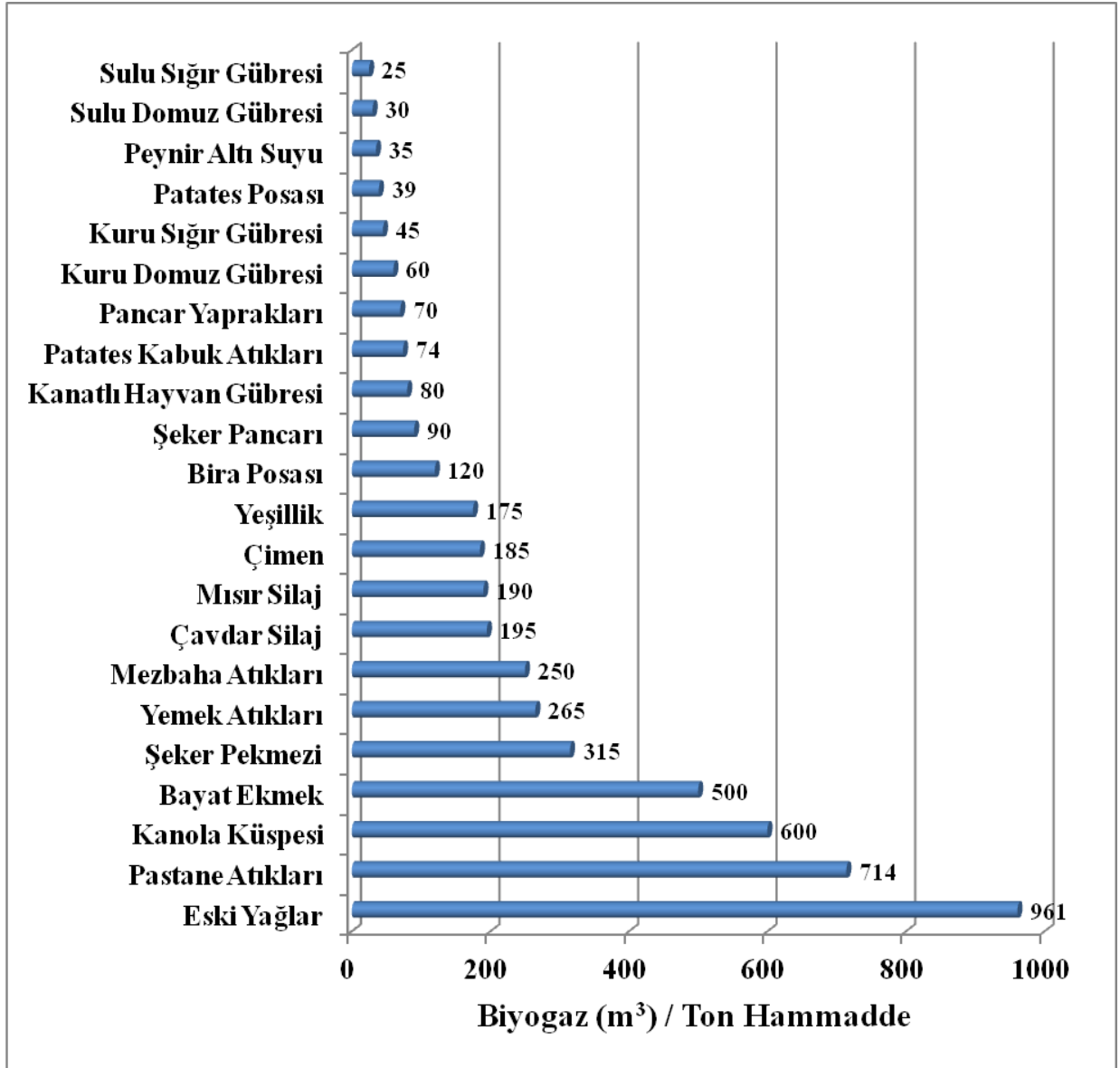
3. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN ATIKLAR

Organik atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı atıkların kimyasal yapısına, bakterilerin ihtiyaç duyduğu besin maddesi içeriklerine, selüloz miktarına, C/N oranına ve biyokimyasal olarak parçalanma özelliklerine göre değişmektedir (Boyd, 2000). Tarımsal, toplumsal ve endüstriyel atık ve atık sular gibi çok çeşitli kaynaklar biyogaz sistemlerinde besleme materyali olarak kullanılabilir. Enerji bitkileri, algler, kültür bitkilerinin hasat sonrası atıkları hayvansal atıklar gibi biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Kentsel atık ve atık sular, özellikle gıda endüstrisine ait atıklar diğer önemli kaynaklardır. Belediyelere ait atık su arıtımında anaerobik fermentasyonun kullanımı diğer uygulamalara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar toksik madde ve ağır metaller içermektedir. Fakat hayvansal atıklar anaerobik fermentasyona daha uygundur (Vijayalekshmy, 1985). Hayvansal atıklarda atık miktarları, hayvanların beslenme rejimine, büyüklüklerine ve iklim şartlarına göre değişkenlik göstermektedir (Bouallagui vd., 2009). Çağımızda dünya üzerinde yer alan pek çok ülkede sanayi ve tarım alanlarının gelişmesine bağlı olarak hayvansal, bitkisel, organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklarında ciddi miktarlarda artışlar olmuştur. Ülkeler ekonomik yapılarından dolayı; sanayi alanında, tarım veya hayvancılık alanında yâda her iki alanda gelişir ve bu alanlarda üretim yaparlar. İşte bu üretimler sonucu çevreye ve doğaya çok büyük zararları olabilecek atıklar meydana gelir. Biyogaz ile organik atıkların bertarafı sağlanırken beraberinde enerjide üretilebilmektedir. Bitkisel, hayvansal, şehir ve endüstriyel atıkların anaerobik veya aerobik fermentasyonu sonucu elde edilebilen biyogaz, içeriğindeki metan gazından dolayı yanabilme özelliğine sahip, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tablo 4'te görüldüğü gibi çevresel açıdan büyük sorunlara neden olabilecek sanayi, tarım veya hayvancılık alanında üretim sonucunda oluşan atıklar biyogaz üretimi için kullanılabilir atıklardır (Anon, 2000j).

Tablo 4. Biyogaz üretiminde kullanılan organik atık maddeler

Organik Atık Maddeler	
Orman Endüstri Atıkları	Sebze, Meyve, Tahıl ve Yağ Endüstri Atıklar
Zirai Atıklar	Yemek Atıkları
Evsel Katı Atıklar	Hayvan Gübreleri Büyükbaş Hayvancılık, Küçükbaş Hayvancılık, Tavukçuluk vb.
Kâğıt Endüstri Atıkları	Şeker Endüstri Atıkları
Deri Ve Tekstil Endüstri Atıkları	Gıda Endüstrisi Atıkları (Çikolata, Maya, Süt, İçecek Üretimi)

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretimi konusunda yapılan ilk çalışmalarda çiftlik gübresi kullanılmıştır. Zaman içerisinde meydana gelen gelişmelerle, fermantasyon işleminde farklı atık türleri gübre ile birlikte kullanılmıştır. Birden fazla atık malzemenin homojen karışımının fermantasyonu, kofermantasyon, farklı tipte kullanılan malzemeler ise komateryal olarak adlandırılır. Proses performansını artırma ve farklı atık türlerini eş zamanlı ve daha ekonomik olarak değerlendirebilme şansı sunan kofermantasyon uygulamasında tarımsal, kentsel, kırsal ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Bu uygulamada, reaktörde fermantasyon işleminin gerçekleşebilmesinde gerekli ve yeterli bakteri popülasyonunun sağlanabilmesi için çiftlik gübresi genellikle ana bileşen olarak gereklidir. Diğer atık türleri çiftlik gübresi ile birlikte kullanılır. Kullanılacak komateryalin zararlı bileşenler yönünden incelenmesi önemlidir (Karakuz, 2017). Bu zararlı bileşenlerin materyalin içerisinde bulunması durumunda biyogaz oluşmaz. Kullanılan hammaddeye göre elde edilen biyogaz miktarları değişiklik göstermektedir. Bunun sebebi hammaddeler içerisindeki biyolojik olarak çürüyebilme özelliğine sahip bileşiklerin hammadde içerisinde değişik oranlarda dağılıyor olmasındandır. Biyogazın elde edilebilmesinde kullanılan bazı maddelerin içerdikleri biyogaz potansiyelleri Şekil 3'te görüldüğü gibidir (Ni vd., 1993).



Şekil 3. Madde bazında biyogaz üretim miktarları (m³ biyogaz/ton hammadde) (Werner vd., 1989).

4. BİYOGAZIN KULLANIM ALANLARI

Biyogazın enerji kaynağı olarak kullanılması bileşimindeki metan ve karbondioksit içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Biyogazın ısı değeri içeriğindeki metanın yüzde oranına bağlı olmakta ve karbon dioksitin ısı değere bir katkısı olmadığı gibi yanma sonucu açığa çıkan enerjinin bir kısmı CO₂'in ısı

kapasitesine bağılı olarak CO₂'in ısınma ısısı olarak kaybolmaktadır. % 99 CH₄ içeren biyogazın ısı değeri 37,3 MJ/m³ iken %65 CH₄ içeren biyogazın ısı değeri 24,0 MJ/m³ olarak değişmektedir. Bu özellikleri ile biyogaz metan içeriğine göre evlerde mutfak, aydınlatma, doğal gaz ve araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır (Minnesota Department of Commerce State Energy Office, 2003).

Biyogaz, Tablo 5'te verilen diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında temiz bir yakıt olduğu ve doğalgaz yakma sistemlerinde kullanılabilir seviyededir. Son yıllarda biyogazla ilgili yapılan çalışmalar, biyogazdan elde edilecek enerjinin artırılması ve değerlendirilmesi yönünde yapılmaktadır. Bu amaçla biyogazdaki CO₂'nin giderilerek metan içeriğinin artırılmasına çalışılmaktadır. Bu gerçekleştirildiği takdirde biyogazın çeşitli motorlarda yakıt olarak kullanılması söz konusudur. Biyogaz üretiminin temel amacı, çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi elde etmektir. Ayrıca önemli olan diğer bir amacı da organik atıkların kontrollü koşullarda depolanmasının sağlanması, arıtma etkisinin bulunması, organik atıklardan kaynaklanan koku sorununu ve zararlı patojenlerin giderilmesini büyük ölçüde çözmesi ayrıca tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırabilmesidir (FAO/CMS, 1996).

Tablo 5. Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri

Yakıt Türü	Üst Isıl Değeri	
	MJ/L	MJ/kg
Propan (STP)	25,5	50,2
Bütan (STP)	28,7	49,6
Gazolin	34,8	47,1
Dizel fuel	38,7	45,6
Fuel Oil (No:2)	39,0	43,2
Doğal gaz (% 99 CH ₄)	37,3*	52,0
Biyogaz (% 65 CH ₄)	24*	33,5
Kömür		
Bitümlü		32,6
Linyit		14,0
Odon		19,8
Elektrik	3,6 ^s	

*MJ/m³ ; ^s MJ/ kW

4.1. Biyogazın Ev Cihazlarında Kullanımı

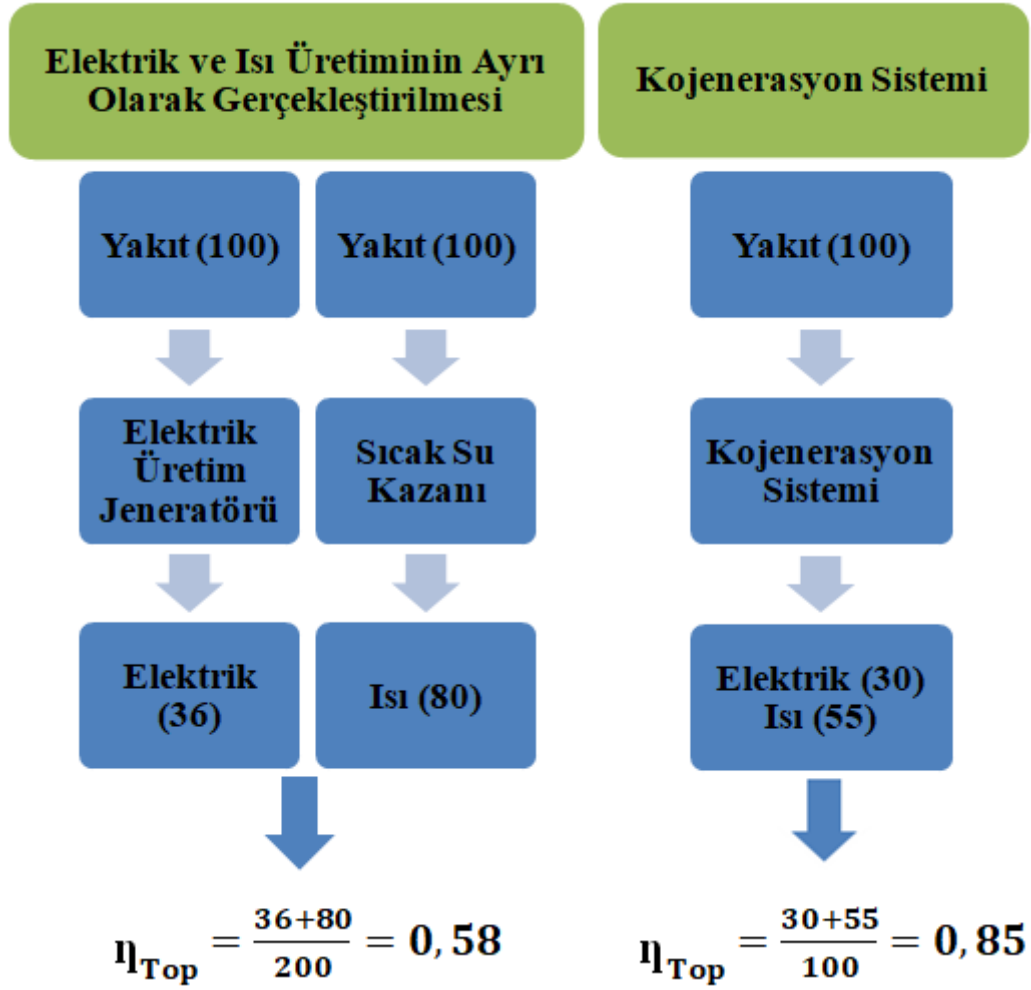
Biyogaz diğer yanıcı gazların kullanıldığı bütün yerlerde kullanılabilir. Biyogaz hava ile 1/20 oranında karıştırılırsa yüksek patlama meydana gelir. Biyogaz kullanılan cihazın ayarlarının iyi olması gereklidir. Gaz basıncı 5 -20 cm SS ise pişirme için çok ideal bir basınçtır. Düşük verimli lambalar yaklaşık 10 cm SS'na ihtiyaç duyarlar. Fitilleri uzun süre dayanmaz ve biyogazın fitile gelmeden önce hava ile karıştırılması önemlidir. Biyogaz ünitelerinde hidrojen sülfatın yoğunlaşması ile aşındırıcı asitler oluşur. Bu nedenle su ısıtıcıları, buzdolapları kısmi olarak risk taşımaktadırlar. Yanmanın meydana geldiği yerlerin (ocak vb.) dökme çelikten veya yüksek yoğunluktaki emayeden olması gerekir. Biyogazın içerdiği sülfat demir oksit filtre ile giderilebilir (Painuly vd., 1995).

Biyogazla çalışan lambaların verimi %3'tür. 60 Watt gücündeki biyogaz lambaları, yaklaşık 0,11-0,15 m³/h yakıt tüketmektedir. Verim oranı düşük olduğundan dolayı biyogazın yakılarak aydınlatmada kullanılması uygun değildir. 1 m³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisiyle 60 Watt gücündeki lambalardan 25 âdeti 1 saat çalıştırılabilirken, yakılması durumunda aynı güçte 7 adet gaz lambası ancak çalıştırılabilmektedir (Anon, 2000).

Radyant sobalarda, seramik kütle 600 - 800 °C'de ısı yaymaya başlar. Bu ısıtıcılarda verim % 95 civarındadır. Bu ısıtıcıların çalışma basıncı 20-80 Mbar arasındadır ve biyogaz tüketimleri yaklaşık saatte 200-300 litredir. Biyogazın ısıtma cihazlarında kullanımı, diğer alanlarda kullanımına göre daha verimlidir. Fakat yaz aylarında kullanılamaması dezavantajına karşılık biyogazın soğutma tesislerinde kullanımı bir çözüm olabilmektedir. Özellikle süt üretiminde kullanılan elektriğin yaklaşık olarak %15-30'u sütün soğutulmasına harcanmaktadır. Fakat kompresörlerde biyogazın kullanımı, gaz tahrikli motorların pahalı olması nedeniyle ekonomik olmadığı için absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin

kullanması mümkündür. Fakat bu sistemlerin yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. LiBr-H₂O çevrimi özellikle ortam iklimlendirilmesinde en uygun olan sistemlerden bir tanesidir (Werner vd., 1989; FAO/CMS, 1996). Küçük ölçekli absorpsiyonlu soğutucularda verim %1,5–4 arasındadır. Saatlik biyogaz ihtiyacı, 40 °C ortam sıcaklığında yaklaşık olarak 0,3–0,8 l/l soğutma hacmi olmaktadır. Bu da 100 litre hacimli bir soğutucunun günde yaklaşık olarak 2 m³ biyogaz harcaması demektir (Werner vd., 1989; Anon 1999b).

Biyogaz ile çalışan elektrik jeneratörlerinde, kullanılan yakıtın enerjisinin yaklaşık % 75'i sistemden atık ısı olarak kaybedilmektedir. Bu atık ısının da kullanılabilirdiği modern kojenerasyon sistemlerinde, toplam sistem verimi yaklaşık olarak % 85-90 olarak gerçekleşmektedir (Anon 1999c; Anon 1999f). Elektrik çevrim veriminin % 36 gibi yüksek, yakma veriminin de % 80 alındığı ayırık sistemlerle karşılaştırıldığında, elektrik çevrim verimi % 30, ısıl çevrim verimi % 55 olan kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi, % 58'den % 85'e kadar çıkarılabilmektedir. Bu verim artışının şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir (Anon 2001c).



Şekil 4. Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması (Anon 2001c)

Güç üretimi ve ısı enerjisi kullanımının yanında soğutma sistemlerine de entegre edildiğinde trijenerasyon üniteleri ortaya çıkmaktadır. Trijenerasyon sayesinde özellikle ısı enerjisi ihtiyacının düşük olduğu, soğutma ihtiyacının yüksek olduğu yaz aylarında sistem daha verimli kullanılabilmekte ve toplam verim artmaktadır (Chevalier ve Meunier, 2005). Fakat kompresörlerde biyogazın kullanımı, gaz tahrikli motorların pahalı olması nedeniyle ekonomik olmadığı için absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanması mümkündür. Fakat bu sistemlerin yatırım maliyetleri yüksektir. LiBr-H₂O çevrimi özellikle ortam iklimlendirilmesinde en uygun sistemlerden bir tanesidir (Werner vd., 1989; FAO/CMS, 1996). Biyogazın gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra, kullanılabilceği bazı ev cihazları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Biyogazın evsel cihazlarda kullanılması (Shenzhen Sunrise Econergy Co. Ltd., 2017).

4.2. Biyogazın Motorlu Taşıtlarda Kullanımı

Petrol ürünleriyle çalışan tüm içten yanmalı motorlarda biyogaz kullanılabilir. Birçok ülkede otobüslerde ve diğer taşıma araçlarında dizel motor yakıtlarına alternatif yakıt ve çevre dostu olarak görülmektedir. Biyogazın kullanıldığı motorların gürültü seviyesi dizel yakıtı kullanılan motorların gürültü seviyesinden düşük olup ayrıca egzoz gazı emisyonları ve NO_x emisyonu dizel motorların egzoz gazı emisyonundan daha düşüktür (Henham ve Makkar, 1998).

İçten yanmalı motorlarda, vuruntulu yanma olarak tanımlanan basınç artışlarının azaltılması için benzin ve dizel gibi sıvı yakıtları kalitelerine göre sınıflandırmak ve vuruntu eğilimini belirlemek için başvurulan oktan ve setan sayıları yanında, gaz yakıtlarda da metan sayısı kullanılmaktadır (Jewell vd., 1986). Metan ve biyogaz vuruntuya karşı dirençlidir. Metanın oktan sayısı 120'dir. İçerdiği CO₂ nedeniyle biyogazın ise 100'ün biraz üzerindedir ve yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir. Benzinde bu oran 89-98 arasında değişmektedir. Düzgün ekipmanların kullanılması ve yakıt-hava karışımının doğru olarak ayarlanması durumunda, biyogaz kullanımı motorun aşınmasını ve bakım giderlerini diğer konvansiyonel sıvı yakıtlara göre düşürmektedir (Bayhan ve Zablocki, 1991).

Biyogazın içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımındaki avantajlar, tam yanma, yağlama yağlarının özelliklerini bozmama ve vuruntuya neden olmamasıdır (Cheng-qiu vd., 1989).

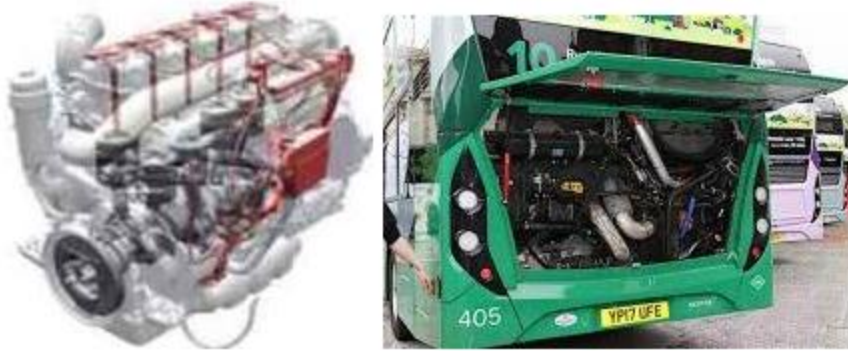
Biyogaz içten yanmalı motorlarda kullanıldığında elektrik elde edilebildiği gibi, su pompalama gibi sistemlerde de mekanik tahrik olarak kullanılabilir. Fakat motorların biyogaz sistemine uzak kalması ve sistemlerde kullanılan gaz depolama ünitelerinin küçük olması bu kullanımı zorlaştırmaktadır (Johansson, 1999).

İçten yanmalı motorlarda 1 kWh enerji için yaklaşık 0,45-0,8 m³ biyogaza ihtiyaç vardır. Biyogazın yakıt olarak yüksek basınçta depolandığı ve içten yanmalı motorlarda kullanıldığı uygulamalarda, güvenlik nedeniyle sistemde emniyet vanası, hızlı kapama vanası, çift cidarlı gaz borusu, ek pompa muhafazası, gaz kontrol pompası ve gaz vanası kullanılmalıdır. Biyogaz hareketli ve sabit tarımsal makinelerde de kullanılabilir (Anon, 2000). Taşımacılıkta biyogazın yakıt olarak kullanımı, İsveç şartlarında araştırılmış ve özellikle kırsal kesim için ekonomik olarak diğer yakıtlara alternatif olabileceği bulunmuştur (Seki, 2002). Biyogazın taşıtlarda kullanımı, doğal gazla çalışabilen içten yanmalı motorların tamamında mümkündür. Bu tip kullanımda biyogazın artırılması gerekmektedir. Biyogazın taşıtlarda kullanımı, doğal gaz ile çalışabilen içten yanmalı motorların tamamında mümkün olmaktadır. Bu tip kullanımda biyogazın artırılması gerekmektedir. Bunun nedenleri;

- Alt ısıl değerinin yüksek olmasıyla daha uzun mesafelerin gidilebilmesi,

- Güvenli sürüş için düzenli ve sabit gaz kalitesinin gerekli olması,
- H₂S, amonyak ve suyun yüksek seviyede olması yüzünden oluşabilecek korozyif etkiden kaçınılabilmesi,
- Mekanik arızaya neden olabilecek partiküllerin olmaması,
- Gaz içerisinde bulunan su yüzünden oluşabilecek buzlanma nedeniyle ortaya çıkan tıkanıklıkların önüne geçilmesi,
- Gaz kalitesinin tanımlanması ve güvenceye alınmasıdır.

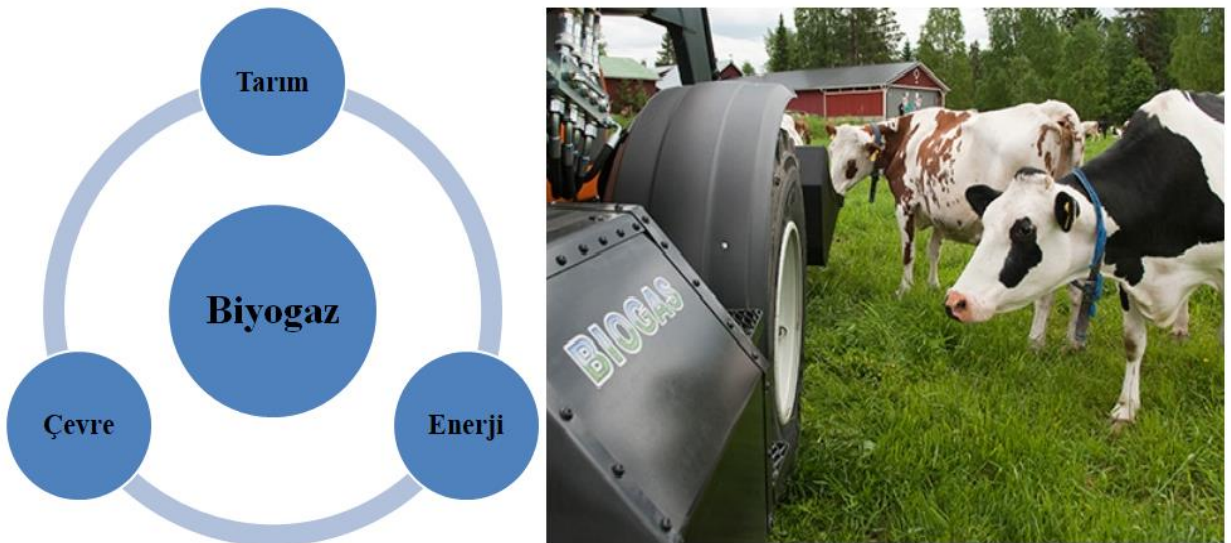
Uygulamalarda genellikle, metan oranının %95'in üzerinde olduğu arıtım sistemleri kullanılmaktadır. Avrupa'da 1996 yılında başlayıp 2000 yılında tamamlanan ZEUS (Zero and Low Emission Vehicles in Urban Society) projesi kapsamında; kanola biyodizeli, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), elektrik ve etanol kullanan araçların yanı sıra biyogaz ile çalışan araçlar üretilmiştir. Bunun sonucunda 3 adet kamyon, 45 adet minibüs ve geri kalanı otomobil olmak üzere toplamda 223 araç faaliyete geçirilmiştir (Marchaim, 1992). Biyogazın bir otobüsün içten yanmalı motorunda kullanıldığı uygulama Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Biyogazın motorlarda kullanımı (NGV Global News, 2017).

4.3. Biyogazın Diğer Kullanım Alanları

Biyogaz üretiminin temel amacı, çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi üretmektir. Ayrıca önemli bir diğer amacı da organik atıkların kontrollü koşullarda depolanmasının sağlanması, arıtma etkisinin bulunması, organik atıklardan kaynaklanan koku sorununu büyük ölçüde çözmesi ve tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırmasıdır. Fermente olmuş gübrenin fermente olmamışa göre, yetiştirilen bitki türü ve toprak özelliklerine de bağlı olarak, ürün veriminin % 10–30 oranında artırdığı rapor edilmiştir. Hindistan'da fermente gübrenin kullanımı kimyasal gübre kullanımını % 30-35 oranında düşürmüştür (Kocar ve Eryasar, 2004; Kocar vd., 2007). Biyogaz üretiminde gübre kullanılması sonucunda; Tarım alanında kullanılacak fermente olmuş gübre, enerji ve hayvansal atıkların çevreye olan zararları bertaraf edilmiş olup bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Biyogazın tarım, çevre ve enerji ile ortak kullanımı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynağı olmayan, hava kirliliğine neden olan ve hidrokarbon içeren fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz vb.) enerji kaynaklarının gittikçe azalması hatta bitme noktasına ulaşmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle vb.) olan ihtiyacı arttırmış ve üretim teknolojilerini geliştirmek için zorunluluk haline gelmiştir. Hayvansal, bitkisel, organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyogazın üretimi ile enerji elde etmenin yanı sıra ortaya çıkan atıklar tarlalarda kullanılmak üzere iyi bir organik gübreye dönüşmektedir. Ayrıca elde edilen biyogazın içerisinde %20-45 miktarında bulunan ve enerji seyreltici olan CO₂ gazının ayrıştırılmasıyla biyogaz taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilen, doğal gaz ile belli oranlarda karıştırılıp kullanılabilen, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Anon., (1999b). Biogas Digest Volume I, Biogas Basics. *Information and Advisory Service on Appropriate Technology*.
- Anon., (1999c). Biogas Digest Volume II, Biogas- Application and Product Development. *Information and Advisory Service on Appropriate Technology*.
- Anon., (1999f). Waste Treatment Systems, GBU. 1999: Retrieved from <http://www.gbubiogas.de/outgoing/gbu-biogas.pdf>
- Anon., (2000). Reducing Barriers to Zero and Low Emission Mobility is the Final Report of the ZEUS Project. 2000: Retrieved from <http://www.miljobilar.stockholm.se/upload/3430/Zeus-FinalReport>.
- Anon., (2000j). Selecting a Gas Use Option-Chapter 3. 2000: Retrieved from <http://epa.gov/agstar/pdf/handbook/chapter3.pdf>
- Anon., (2001c). The European Educational Tool on Cogeneration. 2001: Retrieved from http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN_Tool.pdf
- Bayhan, M., ve Zablocki, M. (1991). Biogas as Fuel in Agricultural Engines. *13.Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi*, Konya.
- Bayrakçeken, H. (1997). *Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Biomass in India (2017). What Goes Around Comes Around: 2017. Retrieved from <http://www.whatsupgermany.de/clean-energy/hydropower-bioenergy/>
- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Romdan, E.B., Rachdi, B., ve Hamdi, M. (2009). Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. *Journal of Environmental management*, 90(2009), 1844-1849.
- Boyd, R. (2000). Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk. University of East Anglia: 2000. Retrieved from www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf
- Buğutekin, A. (2007). *Atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi*. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Buswell, A.M., & Hatfield, W.D. (1936). *Anaerobic Fermentations*. Urbana: State of Illinois, Dept. of Registration and Education, Div. of the State Water Survey.
- Cheng-qiu, J., Tian-wei, L., ve Jian-li, Z. (1989). A Study on Compressed Biogas and Its Application to the Compression Ignition Dual-Fuel Engine. *Biomass*, 20(1989), 53-59
- Chevalier, C., ve Meunier, F. (2005). Environmental Assessment of Biogas Co- Or Tri-Generation Units by Life Cycle Analysis Methodology. *Applied Thermal Engineering*, 25 (2005), 3025-3041
- Demir, M.E., Yılmaz, A. (2016). Appropriate wastes for biogas producing and organic waste quantities for Batman City. *International Engineering, Science and Education Conference*, 41-50.
- Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (2008). Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atık/Atık Ham Maddeler ve Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları: 2008. Retrieved from www.eie.gov.tr/biyogaz/atik.html
- Eryılmaz, H. (1981). *Biyogaz Üretiminde Türkiye koşullarına en uygun Üreteç tipinin tespiti*. Ankara: T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları.
- FAO/CMS (1996). A system approach to biogas technology. *Biogas technology a training manual for extension*.
- Gustavsson, M. (2000). *Biogas Technology*. Göteborg: Göteborg University Solution in Search of Its Problem – A Study of Small-Scale Rural Technology Introduction and Integration.
- Henham, A., ve Makkar, M.K. (1998). Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Diesel Engine. *Energy Convers. Mgmt.*, 39(1998), 2001-2009
- Jewell, W.J., Koelsch, R.K., ve Cummings, R.J. (1986). Cogeneration of Electricity and Heat from Biogas. *SERI/STR* (1986),231-2844

- Johansson, B., (1999). The Economy of Alternative Fuels When Including the Cost of Air Pollution. *Transportation Research*. 4(1999), 91-108 (BG-101)
- Karakuz, S. (2017). Almanya biyogaz sektörüne bakış. 2017: Retrieved from <http://www.albiyobir.org.tr/biyogaz04.htm>
- Kocar, G., Eryasar, A. (2004). *Biyogaz Üntesinin Oluşturulması ve Değişik Organik Kökenli Artıkların Değerlendirilmesi*. (Proje Raporu, Proje no.2000/GEE/002). İzmir: Ege Üniversitesi Araştırma Fonu,
- Kocar, G., Eryasar, A., Illeez, B. (2007). Biogas Feasibility in Energy requirement of a Rural House in Izmir/ Turkey. The 3rd International Energy, Exergy and Environment Symposium, 1-5 July Evora, Portugal.
- Kuhn, E. (1995). Kofermantation, Arbeitspapier. *Kuratorium für Technick und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)*.
- Marchaim, U., (1992). Biogas Processes for Sustainable Development. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN92-5-103126-6
- Minnesota Department of Commerce State Energy Office (2003). Minnesota: *Minnesota's Potential for Electricity Production Using Manure Biogas Resources*.
- NGV Global News (2017). Advantages of Biogas Buses: 2017. Retrieved from <http://www.ngvglobal.com/blog/biogas-green-step-change-nottingham-city-transport-0810>
- Ni, J.-Q., Naveau, H., ve Nyns, E.-J. (1993). Biogas: Exploitation of a renewable energy in Latin America. *Renewable Energy*, 3, 6-7(1993), 763-779.
- Öztürk, İ. (1999). *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Painuly, J.P., Rao, ve H., Parikh, J. (1995). A Rural Energy-Agriculture Interaction Model Applied to Karnataka State. *Energy*, 20 (3), 219-233.
- Seki, K. (2002). How to use biogas absorptive storage of digester gas. *Energy Technology Laboratories Energy Conversion TBU*.
- Shenzhen Sunrise Eenergy Co. Ltd. (2017). Home Biogas Equipment: 2017. Retrieved from http://www.company-list.org/shenzhen_sunrise_eenergy_co_ltd.html
- Türker, M. (2008). Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya'daki eğilimler, VII. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. 225-230.
- U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse (2002). Methane (Biogas) from Anaerobic Digesters: 2002. Retrieved from <http://www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/ab5.html>
- Vijayalekshmy, M.V. (1985). *Biogas Technology Information Package*. Bombay: Tata Energy Research Institute.
- Yadava, L.S., ve Hesse, P.R. (1981). *The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia*. Improving Soil Fertility through Organic Recycling, FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No. 10.
- Yu, H.W., Samani, Z., Hanson, A., & Smith, G. (2002). *Energy recovery from grass using two-phase anaerobic digestion: Waste Management* 22, 1-5.
- Werner, U., Stöhr, U., ve Hees, N. (1989). *Biogas Plants in Animal Husbandry*. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien. Gate: Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.