

# BİYOĞAZIN SAFLAŞTIRILMASI VE MOTORLU TAŞIT YAKITI OLARAK KULLANIMI

Muharrem EYİDOĞAN

Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Umuttepe Kampüsü, İzmit / Kocaeli  
e-mail: muharrem\_eyidogan@hotmail.com

## ÖZET

Organik atıklardan üretilen biyogaz içeriğinde yaklaşık olarak %50-70 metan ( $CH_4$ ), %30-50  $CO_2$  ve 10-4000 ppm hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) bulunmaktadır. Biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılabilmesi için, içeriğindeki metan oranının en az %96-97 ve  $H_2S$  in en çok 17 ppm olması gerekmektedir. Metan oranı ve  $H_2S$  miktarı istenilen değere ulaşan biyogaz, yüksek basınç altında (200-250 bar) sıkıştırılarak biyogaz ve ya sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ile çalışan motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilir. Bu çalışmada biyogazın saflaştırma yöntemleri ve motorlu taşıtta kullanımından bahsedilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, biyogaz saflaştırma, yenilenebilir enerji

## Biogas Upgrading and Using as a Vehicle Fuel

### ABSTRACT

Biogas, produced from organic waste, mainly consists of %50-70 methane, %30-50  $CO_2$  and 10-4000 ppm hydrogen sulphur. Biogas is needed to upgrade at least %96-97 methane ratios and maximum 17 ppm  $H_2S$  concentration for using as a vehicle fuel. When biogas reaches desired methane ratio and  $H_2S$  concentration, biogas can be used at vehicles where compressed natural gas or biogas is used as fuel, after compressing to 200-250 bar pressure. In this study, biogas upgrading methods and using it as a vehicle fuel have been investigated.

**Keywords:** Biogas, biogas upgrading, renewable energy

## GİRİŞ

Dünya nüfusunun her geçen gün artması ve insan yaşamını kolaylaştıracak ürünlerin kullanımının yaygınlaşması, dünyada kişi başına düşen enerji tüketimini artırmaktadır. Enerji tüketiminin artması ise zorunlu olarak enerji üretiminin artırılmasını gerekli kılmaktadır. 2005 yılı verilerine göre dünya enerji üretiminin %86,5'i fosil kökenli kaynaklardan sağlanmıştır. Fosil kökenli enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenmesi, bu kaynakların verimli olarak kullanımının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin ve yaygın bir şekilde kullanımını da gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de biyogazdır. Biyogaz, organik atıkların anaerobik (havasız) ortamda çürütülmesi sonucu elde edilen bir gazdır ve içeriğinde  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$  ve az miktarda  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$

bulunmaktadır. Biyogaz teknolojisinin yaygın olduğu ülkelerde her türlü organik atık, biyogaz üretim tesislerinde işlenerek enerji elde edilmektedir. Çevreye zarar verebilecek bu atıklar sterilize edilerek toprak ve su kirliliği önlenmekte, tesislerden çıkan organik gübre ise tarım alanlarında değerlendirilmektedir. Tablo 1'de biyogazın bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Organik Atıklardan Üretilen Biyogaz İçeriği [1]

İÇERİĞİ	Birim	Biyogaz
Metan ( $CH_4$ )	Hacim (%)	50-70
Karbondioksit ( $CO_2$ )	Hacim (%)	30-50
Azot ( $N_2$ )	Hacim (%)	< 1
Hidrojen sülfür ( $H_2S$ )	ppm	10-4000
Oksijen ( $O_2$ )	Hacim (%)	< 0,2
Isıl değeri	MJ/Nm <sup>3</sup>	24-33

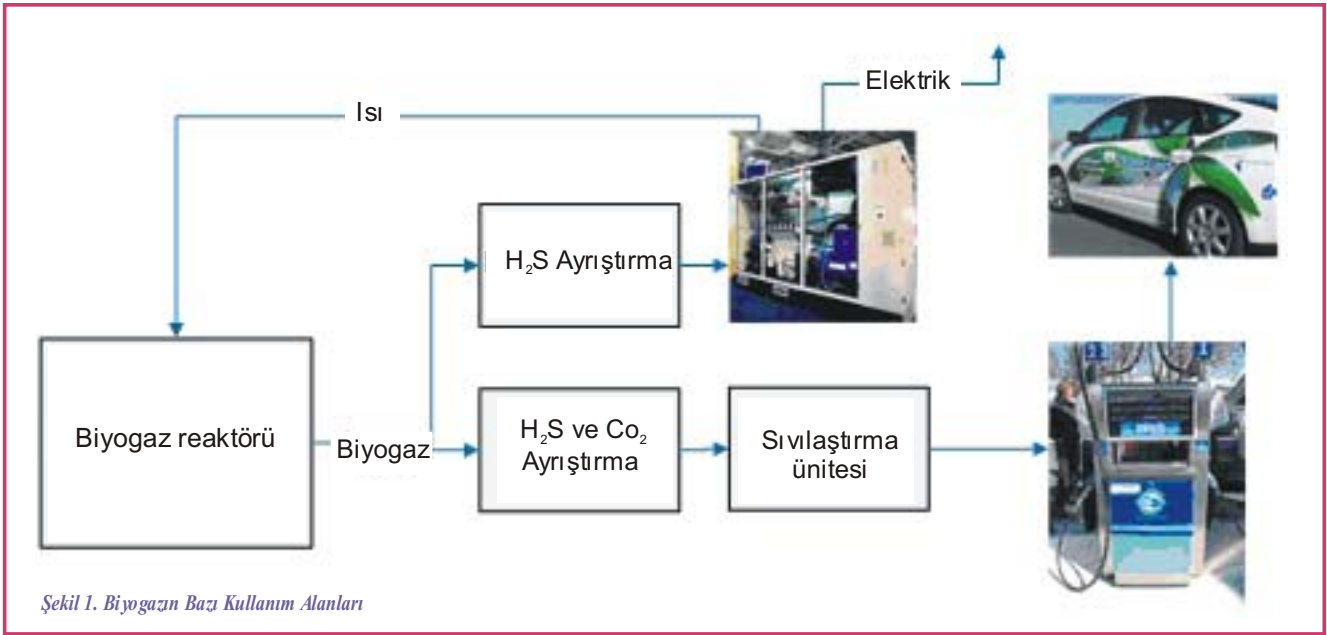
\* İletişim yazarı

Geliş/Received : 27.06.2008

Kabul/Accepted : 12.09.2008

Biyogaz, kırsal kesimde rahatlıkla elde edilip kullanılacak alternatif bir enerji kaynağı olup, benzin, dizel, LPG ve doğal gazın yerine kullanılacak bir yakıttır [2]. Biyogaz içerisinde bulunan ve mekanik parçalarda korozyona neden olan  $H_2S$ , biyogazdan ayrıştırılarak doğrudan gaz motorlarında kullanılıp elektrik üretilmektedir. Ancak biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılması ve doğal gaz hatlarına verilebilmesi için içeriğindeki  $H_2S$ 'e ek olarak  $CO_2$ 'de ayrıştırılması (metan zenginleştirilme) gerekmektedir [3]. Biyogazın bazı kullanım alanları Şekil 1'de verilmiştir.

gönderilen biyogaz, sudan geçerken içeriğindeki  $CO_2$  ve  $H_2S$  çözünerek su ile birlikte absorpsiyon kulesinden dışarı alınmaktadır. Metan ise suda çözünmediği için absorpsiyon kulesinin üst kısmında toplanmaktadır. Absorpsiyon kulesinin üst kısmında istenilen metan oranına ulaşan biyogaz, bir kurutucudan geçirilerek içeriğindeki nem alınır. Absorpsiyon kulesinin alt kısmından alınan, içeriğinde  $CO_2$  ve  $H_2S$  çözülmüş su ise desorpsiyon kulesinde  $CO_2$  ve  $H_2S$ 'den ayrıştırılarak tekrar kullanılabilir. Suda çözme yöntemiyle biyogaz saflaştırma ünitesi şematik resmi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Biyogazın Bazı Kullanım Alanları

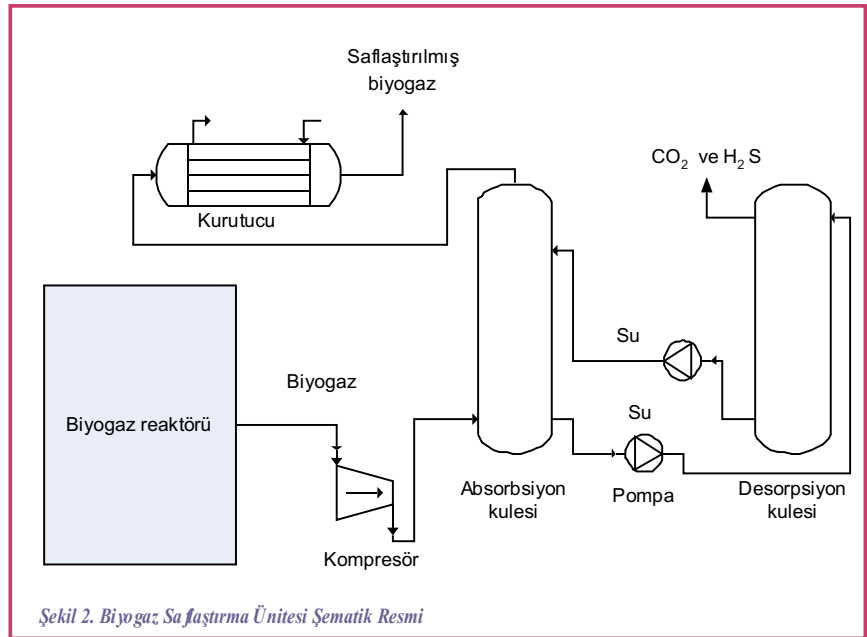
## BİYOĞAZ SAFLAŞTIRMA

Biyogazın metan oranının artırılması, içeriğindeki  $CO_2$ 'nin ayrıştırılması mümkün olmaktadır. Biyogaz içeriğindeki metan oranının artmasıyla birlikte, gazın ısı değeri artmakta ve daha düşük kapasiteli depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde biyogaz içeriğindeki  $CO_2$ 'nin ayrıştırılması için birçok farklı yöntem uygulanmaktadır [4]. Bunlardan bazıları;

- ▶ Suda çözme,
- ▶ Polietilen glikol ve
- ▶ Membran ile ayrıştırma.

### Suda çözme

İçerisinde su bulunan absorpsiyon kulelerinin alt kısmından basınçlı şekilde



Şekil 2. Biyogaz Saflaştırma Ünitesi Şematik Resmi

Tablo 2. Farklı Kapasitelerdeki Suda Çözme Yöntemi ile Saflaştırma Ünitesi Maliyeti [1]

Biyogaz kapasitesi	250 m <sup>3</sup> /h	500 m <sup>3</sup> /h	750 m <sup>3</sup> /h	1000 m <sup>3</sup> /h	2000 m <sup>3</sup> /h
Kurulum (€)	72.500	97.000	120.000	145.000	195.000
Bakım (€)	25.000	40.000	60.000	75.000	100.000
İşletme (€)	10.000	12.000	15.000	17.500	20.000
Elektrik (€)	30.000	55.000	86.000	107.500	193.500
Su (€)	8.050	16.125	24.188	32.250	64.500
Kimyasallar (€)	1.250	2.500	3.750	5.000	10.000
Besin (€)	350	625	950	1.250	2.500
Toplam fiyat (€)/yıl	147.150	223.250	309.888	383.500	585.500
Toplam fiyat (€)/ m <sup>3</sup>	0,105	0,0799	0,0739	0,0686	0,0523

\* Tesis ömrü 15 yıl \* Enerji tüketim maliyeti: 0.05 €/ kWh \* Su tüketim maliyeti: 1,5 €/ m<sup>3</sup>  
 \* Yıllık çalışma süresi: 8600 h/yıl \* Biyogaz içeriği: %65 CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>S 1500 ppm  
 \* Saflaştırılmış gaz: %97 CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>S < 2 ppm olarak kabul edilmiştir.

Farklı kapasitelerdeki suda çözme yöntemi ile saflaştırma ünitesi için maliyet hesabı Tablo 2'de verilmiştir. Tesis kapasitesi arttıkça saflaştırma maliyeti düşmektedir. 250 m<sup>3</sup>/h kapasiteli bir tesiste 1 m<sup>3</sup> saf biyogaz elde etmenin maliyeti 0,105 € iken, 2000 m<sup>3</sup>/h kapasiteli bir tesiste bu fiyat 0,0523 €'ya kadar düşmektedir. Bunun nedeni ise kurulum maliyetlerinin kapasite ile doğru orantılı şekilde artmamasıdır.

### Polietilen glikol ile ayrıştırma

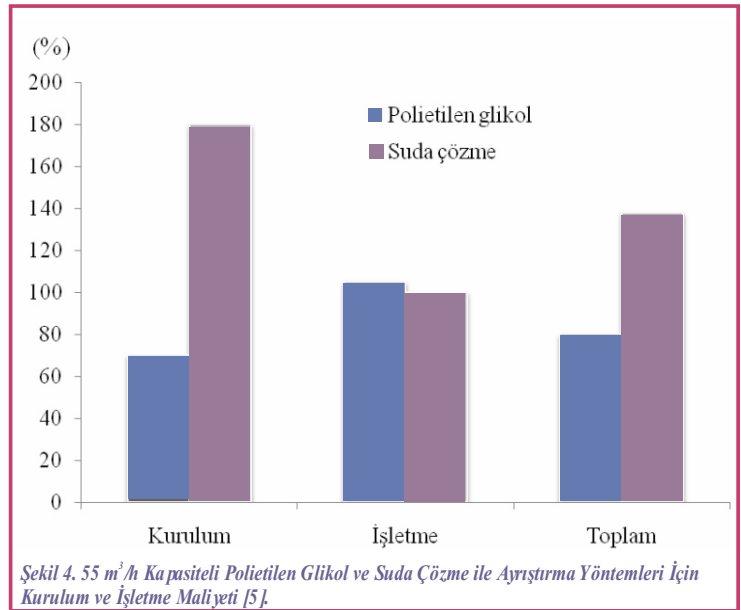
Bu yöntemde su ile ayrıştırma yöntemi gibi fiziksel bir işlemdir. Su ile ayrıştırma yönteminden farklı olarak, bu yöntemde su yerine seleksol kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S seleksolde suya göre daha iyi çözüldüğünden, biyogazın absorpsiyon kulesine daha düşük basınçla gönderilmesine

imkan sağlamaktadır. Bu yöntemde de suda çözme ile ayrıştırmada olduğu gibi seleksol desorpsiyon yoluyla tekrar kazanılabilmektedir. Şekil 3'te Polietilen glikol ile ayrıştırma yapan bir tesis görülmektedir.

55 m<sup>3</sup>/h debili polietilen glikol ve suda çözme yöntemi ile saflaştırma yapan iki tesisin kurulum ve işletme maliyeti Şekil 4'te verilmiştir. Suda çözme yöntemi ile saflaştırma yapan tesisin ilk kurulum maliyeti polietilen glikol'e göre yaklaşık olarak iki kat daha yüksektir. İşletme maliyeti ise polietilen glikol ile saflaştırma yöntemine göre daha düşüktür. Tesisin 15 yıllık çalışma ömrü olduğu kabul edildiğinde, su ile çözme yönteminin toplam saflaştırma maliyeti polietilen ile saflaştırma yöntemine göre yaklaşık %70-80 daha fazladır.



Şekil 3. Polietilen Glikol Ayrıştırma Ünitesi [5]



### Membran ile ayırıştırma

Bu yöntemde membranın bir tarafından basınçlı şekilde gönderilen biyogaz, içerisindeki moleküllerin farklı büyüklüklerde olmasından yararlanılarak saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S metana göre daha küçük molekül yapısına sahip olduğu için membrandan rahatlıkla geçebilmekte, metan ise membrandan geçememektedir. Bu şekilde CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S biyogazdan ayrıştırılarak, yüksek saflıkta biyogaz elde edilebilmektedir. Tablo 3'de membran yöntemi ile gas scrubbing olarak nitelendirilen polietilen glikol ve suda çözme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 3. Membran Yöntemi ile Suda Çözme ve Polietilen Glikol Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları [1].

Ayrıştırma yöntemi	Prosesin çalışma prensibi	Avantaj	Dezavantaj
Suda çözme ve polietilen glikol (Gas scrubbing)	CO <sub>2</sub> ve H <sub>2</sub> S, su veya glikol sıvısı tarafından tutulmaktadır	- Yüksek gaz kalitesi - Ön işlem gerektirmez - Kompakt proses tasarımı - Bilinen teknoloji - CO <sub>2</sub> 'i tekrar kullanmak mümkün	- Kirlı suyun prosteden dışarı atılması (Desorpsiyon işlemi yapılmazsa) - Proseste su kullanımı
Membran ile ayırıştırma	Farklı molekül büyüklüklerinden yararlanılarak CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S ve CH <sub>4</sub> 'ün ayrıştırılması	- Sıvı ve kimyasala ihtiyaç bulunmamakta - Düşük mekanik aşınma - Kompakt proses tasarımı	- Ön işleme gerek duyulmaktadır. - Yüksek kurulum maliyeti - Yüksek enerji ihtiyacı - Yaygın olmayan bir teknoloji

## HİDROJEN SÜLFÜR (H<sub>2</sub>S) AYRIŞTIRILMASI

Hidrojen sülfür konsantrasyonu, biyogaz üretimi için kullanılan atığın türüne bağlı olarak değişiklik göstermesine rağmen biyogaz içerisinde daima bulunmaktadır. Gaz motoru, kompresör ve gaz depolama tanklarında korozyon oluşumunu önlemek için H<sub>2</sub>S'in biyogazdan ayrıştırılması gerekmektedir. H<sub>2</sub>S ayrıştırma yöntemleri,

- ▶ Biyogaz reaktörüne hava/oksijen ilavesi,
- ▶ Biyogaz reaktörüne demir klorür ilavesi,
- ▶ Aktif karbon kullanımı
- ▶ Polietilen glikol ve
- ▶ Su ile ayırıştırma yöntemleridir.

### Biyogaz reaktörüne hava / oksijen ilavesi

Biyogaz reaktörüne stokiometrik oranlarda (%2-6 hava) hava gönderilerek, havanın içerisindeki oksijenin H<sub>2</sub>S ile reaksiyonu sonucu hidrojen sülfat oluşmaktadır. Oluşan sülfat ise reaktörün alt kısmında toplanarak, organik gübre ile reaktörden dışarı

atılmaktadır. Bu yöntemde sıcaklık, reaksiyon süresi ve eklenen hava miktarına bağlı olarak hidrojen sülfür konsantrasyonunda %95'e varan azalma sağlanmaktadır. Biyogaz, içerisindeki metan oranına bağlı olarak %6-12 hava bulundurması durumunda yanıcı bölgededir. Dolayısıyla reaktöre gönderilen havanın çok hassas şekilde ayarlanması gerekmektedir.

### Biyogaz reaktörüne demir klorür ilavesi

Biyogaz reaktörüne demir klorür eklenerek, demir klorür ile hidrojen sülfürün reaksiyona girmesi sağlanmakta ve reaksiyon sonucu demir sülfat oluşmaktadır. Bu metot yüksek konsantrasyondaki H<sub>2</sub>S'in (1000-4000 ppm) ayrıştırılması için

etkili bir yöntem olmasına rağmen, düşük konsantrasyondaki H<sub>2</sub>S'in (< 1000 ppm) ayrıştırılması için aynı etkinliğe sahip değildir [6].

### Aktif karbon kullanımı

Biyolojik filtrelemede olduğu gibi biyogaz içerisine gönderilen havanın, hidrojen sülfür ile katalitik reaksiyonu sonucu kükürt ve su oluşmaktadır. Açığa çıkan kükürt ise aktif karbon tarafından absorbe edilerek, biyogazdan ayrıştırılmaktadır. Sistem 7-8 bar basınç ve 50-70 °C sıcaklıkta en iyi sonucu vermektedir. Aktif karbonun 4000-8000 saat çalışma ömrü olup, biyogaz içerisindeki H<sub>2</sub>S konsantrasyonu 3000 ppm'in üzerinde ise sistemin rejeneratif olarak dizayn edilmesi tavsiye edilmektedir [4].

## BİYOGAZIN MOTORLU TAŞITLARDA KULLANIMI

Biyogaz, hem binek taşıtlarda hem de ağır vasıtalarda yakıt olarak kullanılabilir. Biyogazın motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için, biyogaz içerisindeki metan oranının

Tablo 4. Bazı Ülkelerde Biyogazın Motorlu Taşıtta Kullanılabilmesi İçin Biyogazdan İstenen Özellikler [4].

	Fransa	İsviçre	İsveç
Alt ısııl değeri (MJ/Nm <sup>3</sup> )	38-46	-	45,5
Çiğ noktası sıcaklığı (°C)	En düşük dış ortam sıcaklığından 5 °C daha düşük		
Su içeriği (max) (mg/Nm <sup>3</sup> )	100	5	32
Metan (min) (% hacim)	97	96	97
CO <sub>2</sub> (max) (% hacim)	2	-	3
Oksijen (max) (% hacim)	3,5	0,5	1
CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> (max) (% hacim)	3	3	3
Hidrojen sülfür (max) (ppm)	5	4	17

% 96-97'ye kadar yükseltilmesi ve içeriğindeki H<sub>2</sub>S'in 17 ppm'in altına düşürülmesi gerekmektedir. İçeriğinde % 97 metan bulunduran 1 m<sup>3</sup> biyogaz, yaklaşık olarak 1 litre benzine eşdeğer enerjiye sahiptir [1]. Bazı ülkelerin biyogaz standartları Tablo 4'te verilmiştir.

Saflaştırılarak metan oranı yükseltilebilir ve H<sub>2</sub>S'i ayrıştırılan biyogaz, 200-250 bar basınç altında sıkıştırılarak, benzin-biyogaz veya benzin-sıkıştırılmış doğal gazla (CNG) çalışabilen çift yakıtlı motorlu taşıtlarda hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. Taşıtlarda biyogaz kullanılması durumunda NO<sub>x</sub>, HC emisyonu ve partikül miktarı azalmaktadır. Bu özelliğinden dolayı biyogaz çevre dostu bir yakıt olarak da nitelendirilmektedir. Biyogazın bazı

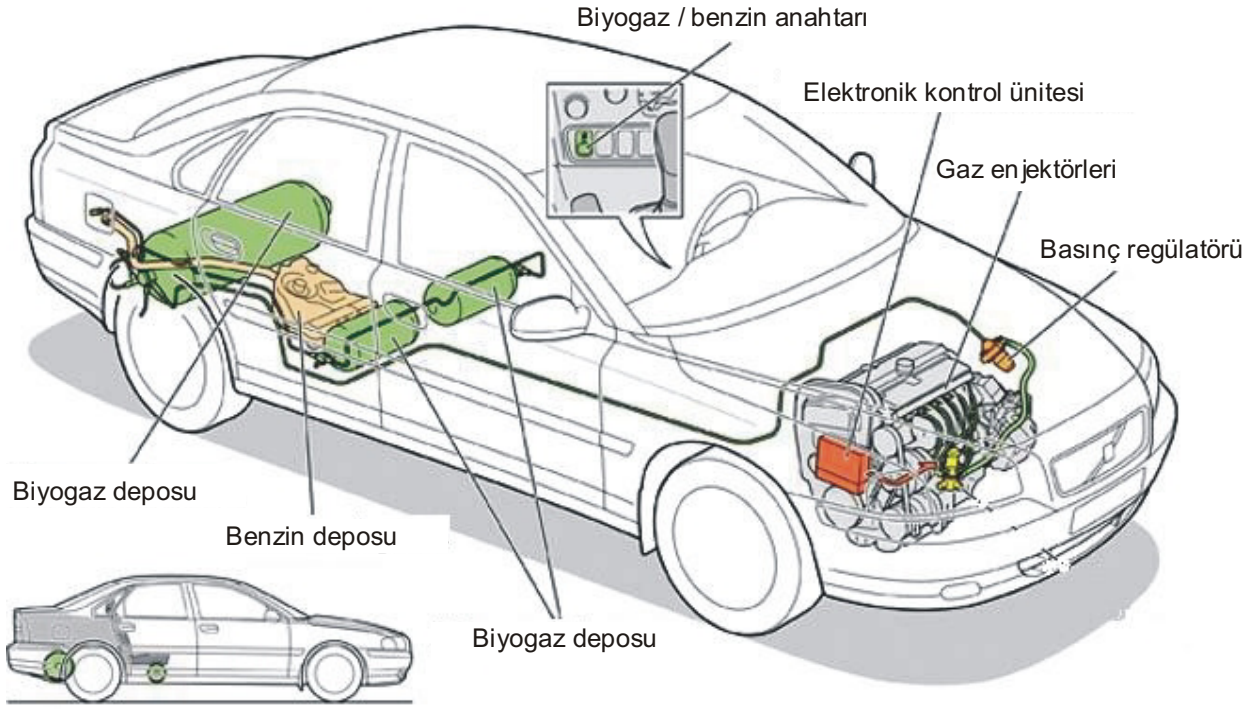
ülkelerde motorlu taşıtlarda kullanılmasına ait örnekleri Tablo 5'de verilmiştir. Şekil 5'de biyogaz ve benzinle çalışan çift yakıtlı bir binek taşıt görülmektedir [6].

Biyogaz partikül madde (PM), NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları bakımından dizel, benzin ve LPG gibi geleneksel motorlu taşıt yakıtlarıyla karşılaştırıldığında, bu yakıtlara nazaran daha düşük miktarda emisyon açığa çıkarmaktadır. Biyogaz içerisinde çok büyük oranda metan bulunmakta, metan ise benzin ve motorin gibi sıvı yakıtlara nazaran daha az karbon içermektedir. Metanın daha az karbon içermesi neticesinde motorlu taşıttan çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Motorlu taşıtlarda kullanılan bazı yakıtların emisyonlarına etkisi Şekil 6'da verilmiştir [1].

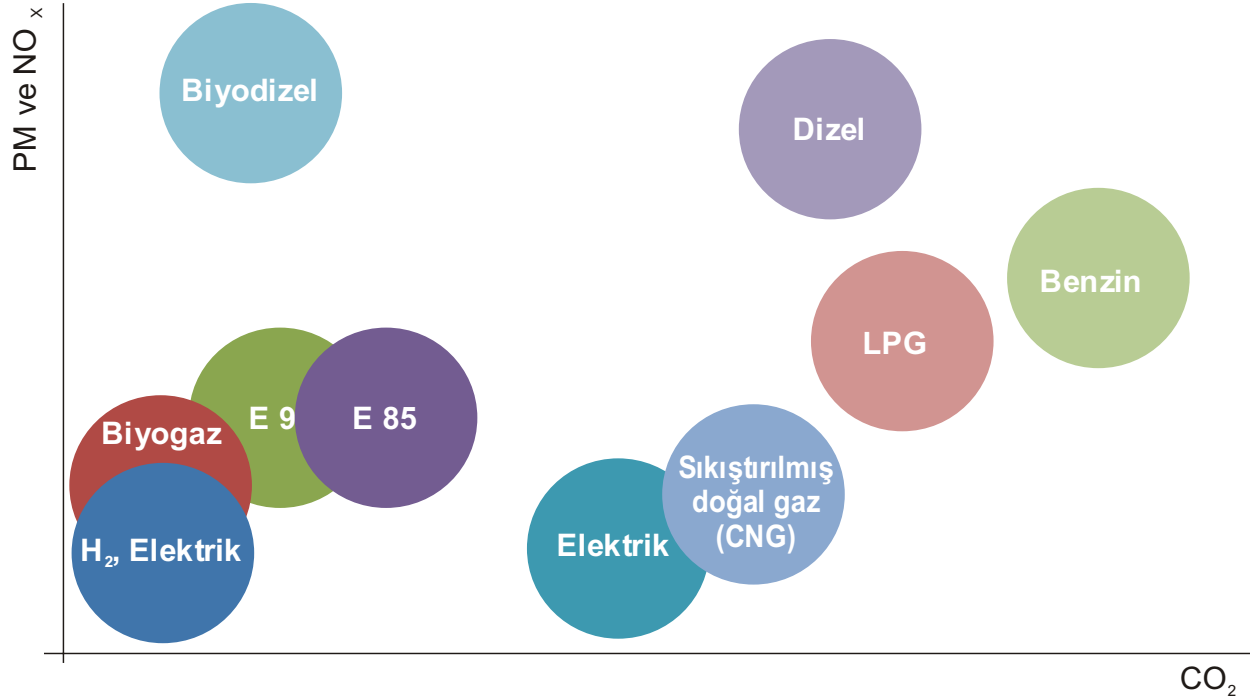
Tablo 5. Biyogazın Saflaştırılarak, Motorlu Taşıtlarda Kullanılmasına Ait Bazı Örnekler [5]

Ülke	Şehir	Biyogazın kullanıldığı yer	Biyogaz hammaddesi	% CH <sub>4</sub> (hacim)	CO <sub>2</sub> ayırma yöntemi	H <sub>2</sub> S ayırma yöntemi
Fransa	Lille	M. taşıt	Biyo-atık ve hayvan. güb.	97	Su ile ayrıştırma	Su ile ayrıştırma
Almanya	Jameln	M. taşıt	Hayvan. güb, enerji bitkisi	96	Polietilen glikol	Polietilen glikol
Almanya	Straelen	M. taşıt	Hayvan. güb, enerji bitkisi	97	Polietilen glikol	Aktif karbon
İsveç	Boras	M. taşıt	Biyo-atık, ev ve endüstriyel atık çamuru	97	Kimyasal absorpsiyon	Aktif karbon
İsveç	Uppsala	M. taşıt	Gıda atıkları, Hayvan. Güb. Atık çamur	97	Su ile ayrıştırma	Su ile ayrıştırma
İsviçre	Lucerne	M. taşıt	Atık çamur	96	Polietilen glikol	Aktif karbon
Amerika	Los Angeles	M. taşıt	Evsel Çöp	96	Membran	Aktif karbon

## Çift yakıtlı sistem (CNG / Biyogaz)



Şekil 5. Biyogaz /CNG ve Benzinle Çalışan Çift Yakıtlı Binek Otomobil [6]

Şekil 6. Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Bazı Yakıtların PM, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> Emisyonları Bakımından Karşılaştırılması

## SONUÇ

Biyogazın gaz motorlarında kullanılarak enerji elde edilmesi için, biyogaz içerisinde bulunan ve korozyona neden olan H<sub>2</sub>S'in büyük oranda biyogazdan ayrıştırılması gerekmektedir. Büyük oranda H<sub>2</sub>S'den arındırılan biyogaz, doğrudan gaz motorlarında kullanılarak elektrik ve ısı enerjisi elde edilebilmektedir.

Organik atıklardan üretilen biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılabilmesi için metan oranının en az %95 civarı olması ve H<sub>2</sub>S konsantrasyonunun 17 ppm'den daha düşük olması gerekmektedir.

Biyogaz ayrıştırma yöntemleri maliyet bakımından karşılaştırıldığında, suda çözme ile ayrıştırma yöntemi, ilk kurulum maliyeti bakımından polietilen glikol ile ayrıştırma yöntemine göre daha yüksek, işletme maliyeti ise daha düşüktür. Tesisin 15 yıllık çalışma ömrü olduğu varsayılırsa, su ile çözme yönteminin toplam saflaştırma maliyeti polietilen ile saflaştırma yöntemine göre yaklaşık % 70-80 daha fazladır.

Saflaştırılmış biyogaz motorlu taşıtlarda kullanıldığında, petrol kökenli yakıtlara nazaran daha düşük NO<sub>x</sub>, partikül

madde ve CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkarmaktadır. Bu özelliği nedeniyle biyogaz, çevre dostu bir yakıt olarak görülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. **Dirkse, E.H.M.**, "Biogas Upgrading Using the DMT TS-PWS Technology", Report, Page 2-12, DMT Environmental Technology, 2007.
2. **Gustavsson, M.**, "Biogas Technology-Solution in Search of Its Problem", Göteborg University, Göteborg, 2000.
3. **Dirkse, E.H.M.**, "Technologies for Biogas Upgrading, Theme sessions 1 Green Gas: from Production to User Conference Sustainable Mobility", Energy Valley, Leeuwarden, November 2006.
4. "Biogas upgrading and utilization", Task 24: Energy from Biological Conversion of Organic Waste, Report, Page 4-18, IEA Bioenergy, 2000
5. **Persson, M.**, Jönsson O and Wellinger, A., "Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection", Report, Page 5-24, IEA Bioenergy, 2007.
6. "An Assessment of the Potential Role of Biogas as A Renewable Transport Fuel", Biogas as A Road Transport Fuel, National Society for Clean Air and Environmental Protection, Page 14, ISBN 0 903 47461, June 2006.

## KRENLERDE ÇELİK KONSTRÜKSİYONLAR KİTABI CİLT I-II ÇIKTI

