

BİYOGAZ, ÖNEMİ, GENEL DURUMU VE TÜRKİYE'DEKİ YERİ*

Fatma ÇANKA KILIÇ

*Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi,
KMYO, Elektrik ve Enerji Bölümü,
İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı,
Kocaeli
fatmacankakilic@hotmail.com*

ÖZET

Yenilenebilir enerjilerden bioenerji, enerji problemlerine karşı önemli bir çözümdür. Son yıllarda birincil enerji ithalinin artan maliyetleri, çevresel kirlilik ve iklim değişikliklerinin olumsuz etkileri sebebiyle hızlanan çalışmalar, biyoenerji ve biyoyakıtların gelişimine ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlamıştır. Örneğin 2007 yılı sonu rakamlarına göre, dünyada biyoyakıtların üretimi 68 milyar L civarındadır [1]. Biyoyakıtlardan olan biyogaz; her türlü organik atıkların işlenmesiyle elde edilen temiz, çevreye dost ve oldukça verimli bir enerjidir. Biyogaz sayesinde; toprak, su ve hava kirliliğine engel olunarak doğal denge korunur. Ayrıca biyogaz üretiminden elde edilen atıklar, tarımda verimli bir gübre olarak da kullanılır. Bu çalışmada, biyogazın içeriği kapsamlı olarak araştırılmıştır, Türkiye'de biyogazın durumu, bu bilgiler doğrultusunda değerlendirilmiş ve sunulmuştur. Ayrıca, bu çalışmayla, biyogazın önemi vurgulanarak, biyogaz konusunda genel bilinçlenmeye katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, biyoyakıtlar, biyogaz, temiz enerji, alternatif enerji

General Outlook of Biogas, the Importance of Its Usage, and Biogas in Turkey

ABSTRACT

One of the renewable energies, bioenergy is an important solution to the energy problems. In recent years, increasing primary energy importation costs, environmental pollution and negative effects of climate change, studies have been accelerated, development and dissemination of bioenergy and biofuels have occurred, e.g. The production of biofuels in the world was around 68 billion L in 2007 [1]. Biogas which is a clean energy that made from all kinds of organic waste, takes its place in biofuels, as an important eco-friendly and efficient energy. With biogas production, wastes are sterilized, so the soil, water and air pollution prevented, the natural balance is secured. In addition, the wastes which are obtained from biogas production can be used in agriculture as effective fertilizers. In this study, the content of biogas is investigated in detail. The situation of biogas in Turkey is assessed and presented on the basis of this investigation. With this study, it is also aimed to emphasis on the importance of biogas in order to contribute to general awareness.

Keywords : Renewable energy, biofuels, biogas, clean energy, alternative energy

* Geliş tarihi : 24.02.2011
Kabul tarihi : 27.04.2011

GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir göstergesi olarak insanoğlunun vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Enerji yaşam kalitesinin artırılmasında etken olduğu gibi, teknolojik üretim ve gelişim için hayati derecede önemlidir. Enerji tanımı içinde yer alan fosil kökenli yakıtlar ve yenilenebilir enerjilerin kaynağı güneştir. Buna göre, bu enerjilerin tanımlanmaları ve dâhil edildikleri gruplar üçe ayrılır:

- Yerin altında kalan bitkilerin ve canlıların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğramasıyla meydana gelen “Fosil Kökenli Yakıtlar,”
- Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı artan “Yeni Enerji” kaynakları,
- Tükenmeyen ve eksilmeyen “Yenilenebilir Enerji” kaynaklarıdır.

Fosil kökenli yakıtlardan oluşan enerji kaynaklarına alternatif olarak günümüzde hızla önem kazanan, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları Tablo 1’de gösterilmiştir [2]. Dünyada fosil kökenli yakıtların rezervleri sınırlı olup gelecekte tükeneceği bilimsel çalışmalarla ispatlanmıştır. Örneğin bugünkü tüketim

Tablo 1. Bilinen Enerji Kaynaklarına Alternatif Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları [2]

Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Hidroelektrik Enerji
Güneş Enerjisi
Rüzgâr Enerjisi
Jeotermal Enerji
Dalga Enerjisi
Gel-Git Enerjisi
Okyanus Isısı Enerjisi
Hidrojen Enerjisi
Biyokütle ve Biyogaz Enerjisi

hızıyla; petrolün 40-45 yıl, doğal gazın 60-65 yıl ve kömürün 140-150 yıl sonra tükeneceği bilim adamları tarafından bildirilmektedir. Bu durum, yeni ve yenilenebilir enerjilere yönelimi hızlandırmakta ve gelecek nesillere hazırlık olarak vazgeçilmez bir gereklilik arz etmektedir.

Tablo 2. 2006 Yılı İtibarıyla Dünya Yenilenebilir Enerji Üretim Kapasitesi (Güç Üretimi, Su/Hacim Isıtma ve Motorlu Araç Yakıtı Olarak) [2]

Güç Üretimi (Elektrik Santralleri)	2006 Yılı İlaveleri	2006 Yılı Sonu
Büyük Hidroelektrik	12-14	770 GW
Küçük Hidroelektrik	7	73 GW
Rüzgâr Türbinleri	15	74 GW
Biokütle Santralleri		45 GW
Jeotermal Enerji Santralleri	0,2	9,5 GW
Güneş Fotovoltaik – Şebeke Dışı	0,3	2,7 GW
Güneş Fotovoltaik – Şebekeye Bağlı	1,6	5,1 GW
Güneş Termik Elektrik	0,1	0,4 GW
Toplam Yenilenebilir Güç Kapasitesi		980 GW
Su Isıtma / Hacim Isıtma		
Biyokütle Isıtma		235 GWth
Güneşli Su Isıtıcılar	18	105 GWth
Jeotermal Isıtma		33 GWth
Güneşli Su Isıtıcı Ev		50 milyon
Jeotermal Isı Pompalı Ev		2 milyon
Motorlu Araç Yakıtı		
Ethanol (Alkol) Üretimi	5	39 milyar litre/yıl
Biyodizel	2,1	6 milyar litre/yıl

* Renewable Energy World, Vol.8. Num. 6, Nov.- Dec. 2007

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve sürekliliğinin sağlanması günümüzde ihtiyaç olmaktan çıkıp bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun en önemli sebeplerinden biri de fosil kökenli yakıtların yoğun bir şekilde tüketimi, sera gazı oluşumuna kaynak teşkil ederek, küresel iklim değişikliklerine ve birçok çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bilindiği gibi sera gazlarının içeriğinde yer alan ağırlıklı maddelerin başında karbondioksit (CO₂) ve metan gazı gelmektedir. Bunların yanında, kükürt, parçacık madde, azot oksit (NO), kurum ve kül gibi atıklar da çevreyi kirletmektedir. Bu yüzden fosil kökenli yakıtlardan üretilen enerjinin toplam maliyeti bulunurken, uzun sürede meydana gelebilecek çevre ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri de bu maliyetlerin içine dâhil edilmesi gerekmektedir. Temiz enerji çarelerinin hayata etken bir şekilde geçirilmesi şarttır.

Günümüzde birincil enerji üretiminin çok büyük bir oranı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. 2006 yılında dünya birincil enerji üretiminde fosil kaynakların payı yaklaşık % 79, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı % 18 ve nükleer enerjinin payı ise % 3'tür [2].

Öte yandan, dünyada 2006 yılı yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim kapasitesi; elektrik santrallerinde 980 GW, ısıtma amaçlı olanlarda 373 GWth'dır [2]. Biyodizel ve etanol üretiminin toplamı ise 45 milyar litre/yıl olarak gerçekleşmektedir (Tablo 2). Görülmektedir ki, yenilenebilir enerjilerin önemi her geçen gün hızla artmakta ve kullanımının da yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Yenilenebilir enerjilerin bir türü olan biyogaz, biyoyakıtların içerisinde yer almaktadır. 1990'larda biyogazdan elektrik enerjisi üretimi dünyada yaklaşık 5000 GWh iken, 2000'li yıllarda bu rakam 12048 GWh seviyesine ulaşmıştır. Bu rakamlar sırasıyla ABD'de 4984 GWh, İngiltere'de 2556 GWh, Almanya'da 1683 GWh, İtalya'da 566 GWh, Fransa'da

346 GWh, olarak tespit edilmiştir [3]. Biyogazın yaygın olarak üretilmesinde en büyük etken, biyogazdan elektrik enerjisi üretiminin yapıldığı ülkelerde bu enerjinin en az uygulanan perakende tarifeyle yakın bir fiyatla satın alınması ve organik atıkların işlenmesinin yasal bir zorunluluk haline getirilmesidir. Ayrıca, gaz motorlarında biyogaz kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi, biyogazın önemini artırmıştır. Günümüzde yapılan biyogaz üretimiyle organik atıklar değerlendirilmekte ve bunlar sterilize edilerek çevreye olabilecek zararları önlenmektedir. Böylece, toprak ve su temizliği sağlanmakta, doğal denge korunurken, temiz enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Üstelik üretim sonrası çıkan atıklar, bitkisel üretimde toprağı zenginleştirici bir gübre olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; yenilenebilir enerjilerden biyogaz konusu ve içeriği detaylı olarak araştırılmış; önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri değerlendirilmiştir. Yapılan bu incelemelerle de genel bilinçlenmeye katkı sağlaması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasında ve enerji sorununun doğru çözümünde, yenilenebilir enerjiler bünyesinde yer alan biyogaz potansiyelinin başarılı bir şekilde uygulanmasının faydaları ve önemi ortaya konulmuştur.

YENİLENEBİLİR ENERJİLER VE TÜRKİYE

Türkiye'nin dünya üzerindeki coğrafik ve politik konumu son derece önemlidir, Yurdumuz Avrupa'dan Asya ve Ortadoğu ülkelerine bir enerji köprüsü niteliğindedir. Artan enerji ihtiyacına ilaveten Türkiye'de enerji tüketimleri toplamı 2010 sonu beklenen rakamlarına göre yerel oranlar %37 civarındadır ve enerji ihtiyacı maliyetleri 55 milyar ABD dolarına ulaşmıştır [4]. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına hızla önem verilmesi ve var olan yerli

Tablo 3. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli [4]

Enerji Tipi	Kullanım amacı	Doğal kapasitesi	Teknik	Ekonomik
Güneş enerjisi	Elektrik (milyar kWh)	977.000	6.105	305
	Isı (Mtoe)	80.000	500	25
Hidrolik güç	Elektrik (milyar kWh)	430	215	124.5
Rüzgâr				
Direkt enerji (kara)	Elektrik (milyar kWh)	400	110	50
Direkt enerji (kıyı)	Elektrik (milyar kWh)	-	180	-
Dalga enerjisi	Elektrik (milyar kWh)	-	-	-
Jeotermal enerji	Elektrik (10 ⁹ kWh)	-	-	1.4
	Isı (Mtoe)	31.500	7.500	2.843
Biokütle enerjisi	Toplam (Mtoe)	120	50	32

kWh:kiloWatt-saat

Mtoe:Milyon ton petrol eşleniği

kaynaklarını da en doğru ve verimli bir şekilde kullanması gerekmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu'nun tanımına göre, yenilenebilir enerji, sürekli olarak yenilenen ve doğal süreçlerden elde edilen enerjidir [5]. Bu kapsamda, enerji için en ümit verici gelişmelerden biri yenilenebilir enerji üretimiyle ilgili olarak gelişen yeni teknolojilerdir. Henüz arzulanan noktada olmamakla birlikte yenilenebilir enerji teknolojileri, fosil yakıtlara bağımlılığın yaşandığı günümüz dünyasında yeni enerji talepleri fırsatlarını beraberinde getirirken, gelecekte dengeleri değiştirebilecek, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasını sağlayabilecek özelliktedir [6].

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına ait potansiyeli çok büyük olup, özellikle hidrolik, rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelleriyle dünya lideri olacak kadar da zengindir. Tablo 3 Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini göstermektedir [4].

Ülkemiz, birçok ülkede bulunmayan, jeotermal enerjide dünya potansiyelinin %8 'ine sahiptir. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük oranda güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye, hidrolik enerji potansiyeli bakımından da dünyanın sayılı ayrıcalıklı ülkelerindedir. Rüzgâr enerjisi potansiyeli ise yaklaşık 160 TWh civarındadır. Bu enerji kaynaklarının maliyetleri oldukça azdır, yenilenebilir olduklarından dolayı tükenmezler ve fosil yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmazlar [7].

Türkiye'de kirletici etkisi olmayan, temiz, güvenilir, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkan yenilenebilir enerji türlerinin; üretim, kullanım ve yaygınlaştırılması çok büyük önem arz etmektedir. Türkiye, OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü -Organization for Economic Co-operation and Development -OECD-) ülkeleri içerisinde geçtiğimiz on yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülkedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2009 yılı sonu çalışmalarının sonuçlarına göre, son rakamlarındaki %73'lük enerjideki ithal bağımlılık incelendiğinde, bu oranın içeriğinde yer alan petrol ve doğal gazın neredeyse tamamı, kömürün ise %20'si ithal edilmektedir [8]. Enerjide talep güvenliğinden kaynaklanan riskleri azaltmak ve enerjinin daha verimli üretilmesini ve kullanılmasını sağlamak amacıyla; serbest piyasa şartlarının oluşturulması ve rekabete dayalı yatırım ortamının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

2010 yılı içinde işletmeye alınan toplam kurulu gücü 3.490 MW olan santrallerin 1.206 MW'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan santraller olup bunların; 436 MW'ı rüzgâr, 736 MW'ı hidrolik, 17 MW'ı jeotermal, 17 MW'ı ise çöp gazı ve biyogaz kaynaklı elektrik üretim santralleridir [6]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının

enerji arzı içindeki payını arttırmak için Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılına kadar en az %30 düzeyinde olmasını amaçlamaktadır [9].

TÜRKİYE'DE BİOKÜTLE ENERJİSİ, BİYOGAZ VE BİYOPYAKITA GENEL BAKIŞ

Biokütle, oldukça önemli bir teknik potansiyele sahip yenilenebilir enerjidir. Biokütleden ısı elde edilmekte, yakıt üretilmekte ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Başlıca bileşenleri karbo-hidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "Biyokütle Enerji Kaynağı," bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" dir. Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilebilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen geleceği parlak bir enerji kaynağıdır [2].

Biyoyakıt, içeriklerinin hacim olarak en az %80'i son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde edilmiş her türlü yakıt olarak ifade edilmektedir. Biyodizel, biyoetanol, biyogaz ve biyokütle olarak değerlendirilmektedir. Biokütle kökenli en önemli dizel motoru alternatif yakıtı biomotorindir. Biomotorin üretiminde bitkisel yağ olarak kanola, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali (katalizörler sodyum veya potasyum hidroksit) kullanılır. Biomotorin üretmek ve kullanmak için Türkiye gerekli alt yapıya sahiptir. Ülkemizde kanola, ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edildiğinden, fotosentez yoluyla CO₂'i dönüştürüp karbon döngüsünü sağladığı için, sera etkisini arttırıcı etki göstermez [10].

Türkiye'de biomotorin, birçok şirket tarafından üretilmeye başlanmıştır ve bu alandaki üretici şirketler bir araya gelerek, ortak bir yapılanma oluşturmuştur. Bu konuda, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafından desteklenen Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) projeleri de yürütülmektedir [11-13]. Ayrıca bitkisel atıklardan elektrik, ısı veya akaryakıt üretebilen örnek tesis uygulamaları da devam etmektedir. Bu amaçla Türkiye'de yeterli miktarda bitkisel atıkların temin edilebileceği ve üretilecek atık ısının servis edilebileceği özelliklere uygun bir tesis alanının araştırılması ve biyogaz ile biyokütle gazlaştırma tesisleri için örnek uygulamaların yapılması amacıyla yürütülen projelerde artış vardır [14].

Türkiye'de 2005 yılı sonunda 450 ile 878 bin ton arasında değişen miktarlarda biyodizel üretim kapasitesine ulaşılmıştır ve gelecek yıllarda bu üretimin artması beklenmektedir. Biyodizelin satılması için, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

05.01.2006 tarih ve 630/26 sayılı kararıyla biyodizel üreticilerine “işleme lisansı” alma zorunluluğu getirmiştir. Bunun en büyük nedenleri arasında Türkiye’de üretilen biyodizellerin standartlara uymaması gösterilmektedir. Standartlara uymayan yakıt; motor parçalarına, yakıt pompasına vb. parçalara zarar vermektedir. Lisans koşuluyla birlikte, biyodizel üreticisi üretmiş olduğu yakıtı satamayacak, sadece lisans sahibi firmalara teslim edeceklerdir. Biyodizel, dizel yakıtına kıyasla pahalı olmasına rağmen, vergiden muaf tutulduğu takdirde daha ucuz olacaktır [15]. Türkiye’de biyodizel çok soğuk bölgelerimizin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Biyodizel, ayrıca konut ve sanayi sektörlerinde de fuel oil yerine kullanılabilir bir özelliktir.

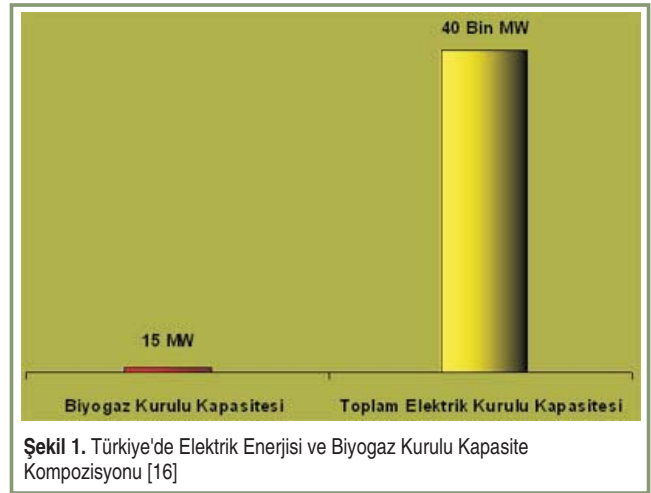
Biyometanol, hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonuyla elde edilen ve benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe benzinle karıştırılarak, küçük ev aletlerinde, kimyasal ürün sektöründe kullanılan Biyometanol, yakıtın oksijen seviyesini artırarak, yakıtın daha verimli yanmasını sağlamaktadır. Ayrıca egzoz çıkışındaki zararlı gazları azaltır, kanserojen maddelerin çevreci alternatifi olarak gösterilmektedir. 3 Milyon tonu benzin tüketimi olmak üzere toplam 22 milyon ton akaryakıt tüketimi olan ülkemizde 160 bin ton biyometanol kurulu kapasitesi bulunmaktadır. Ancak dikkat çekilmesi gereken bir konu da, gıda tarımına elverişli alanların biyodizel ve biyometanol üretimine ayrılması ve bu şekilde gıda güvenliği açısından küresel bir risk oluşturması, biyoyakıt tarımının en büyük dezavantajını oluşturmaktadır.

Biyogaz organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz şartlarda (anaerobik fermantasyon) biyolojik parçalanması sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır.

Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek

biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye’de biyokütle kaynakları; tarım, orman, hayvan, organik şehir atıklarından oluşmaktadır. Atıklar ise yaklaşık 8,6 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olup bunun 6 milyon TEP’i ısınma amaçlı kullanılmaktadır. 2008 yılında biyokütle kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarı 66 bin TEP’tir [10]. Tablo 4’te Türkiye’nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve taşkömürü eşdeğeri gösterilmektedir [2].

Türkiye’de elektrik enerjisi ve biyogaz kurulu kapasite kompozisyonu Şekil 1’de gösterilmiştir [16].



BIOKÜTLE ENERJİSİ

Biokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek, depolamasıyla oluşan ve canlı organizmaların kökeni olarak meydana gelen organik madde enerji kaynaklarıdır. Canlı kütle yani biokütle, çoğu kez pitoplankton ve zooplankton olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ölçü birimi olarak belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütle olarak bilinmektedir [17].

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak, özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin

Tablo 4. Türkiye'nin Hayvansal Atık Potansiyeline Karşılık Gelen Üretilebilecek Biyogaz Miktarı ve Taşkömürü Eşdeğeri [16]

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)	Taşkömürü Eşdeğeri (ton/yıl)
Sığır	11.054.000	39.794.400	1.313.215.200	1.181.894
Koyun-Keçi	38.030.000	26.621.000	1.544.018.000	1.389.616
Tavuk-Hindi	243.510.453	5.357.230	417.863.937	376.078
Toplam	292.594.453	71.772.630	3.275.097.137	2.947.587

Tablo 5. Biokütlenin Enerji Kaynağı Olarak Kullanımındaki Olumlu ve Olumsuz Yönleri [17].

Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri
<ul style="list-style-type: none">• Hemen her yerde yetiştirilebilmesi,• Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,• Her ölçekte enerji verimi için uygun olması,• Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması,• Depolanabilir olması,• 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi,• Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,• Çevre kirliliği oluşturmaması,• Asit yağmurlarına yol açmaması.	<ul style="list-style-type: none">* Düşük çevrim verimine sahip olması* Tarım alanları için rekabet oluşturmaması* Su içeriğinin fazla olması

biokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır.

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlar canlı varlıkların milyonlarca yıl yer altında kalmasıyla oluşan fosil biokütle olarak anılabilirler. Bu yakıtlar biokütle ile aynı özellikleri taşımalarına rağmen yer altındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından dolayı yakıldıklarında havaya birçok zararlı madde bırakırlar. Biokütlenin gazlaştırılması ile de elde edilebilen gaz yakıt, doğal gazın kullanıldığı yerlerde küçük modifikasyonlar yapılarak, kullanımını yaygınlaştırılabilir.

Organik madde ihtiva eden atıkların mikro-biyolojik yönden değerlendirilmesi; hem çevre kirliliğine yol açmaması, hem de temiz enerji üretimi sağlaması bakımından önem taşımaktadır. Biokütle özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan bir kaynaktır. Dünyada enerji üretiminin yaklaşık olarak % 15'i, gelişmekte olan ülkelere ise enerji üretiminin yaklaşık % 43'ü bu kaynaktan sağlanmaktadır [17].

Biokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri Tablo 5'teki gibi özetlenebilir.

Biokütle enerjisi bünyesindeki biyogaz üretimindeki amaçlar şöyle sıralanabilir [18-19]:

- 1-Kaliteli enerji eldesi,
- 2-Kokunun azaltılması,
- 3-Gübrenin korozif etkisinin azaltılması,
- 4-Gübrenin akışkanlığının artırılması,
- 5-Atmosferdeki metan ve amonyak miktarının azaltılması,
- 6-Bitki besin maddeleri kaybının azaltılması,
- 7-Azot yıkanmasının önlenmesi,
- 8-Bitki besin maddeleri yarayışlılığının artırılması,
- 9-Bitki sağlığına yarayışlılık,
- 10-Organik maddelerin dezenfeksiyonu,
- 11-Yabancı ot tohumlarının çimlenme yeteneğinin azaltılması,

12-Organik katı ve sıvı atık sorununun çözümüne yardımcı olunmasıdır.

Biyokütleden değişik yöntemler kullanarak hem enerji, hem de yeni kimyasal maddeler üretmek mümkün olabilmektedir. Bu yöntemleri aşağıda belirtilen gruplarda toplamak mümkündür:

I.Anaerobik ortamda fermentasyon (biyogaz ve melastan etanol üretimi)

II.Isıl parçalanma (katı yüzdesi fazla olan atıklardan piroliz ile gaz yakıt ve aktif karbon üretimi)

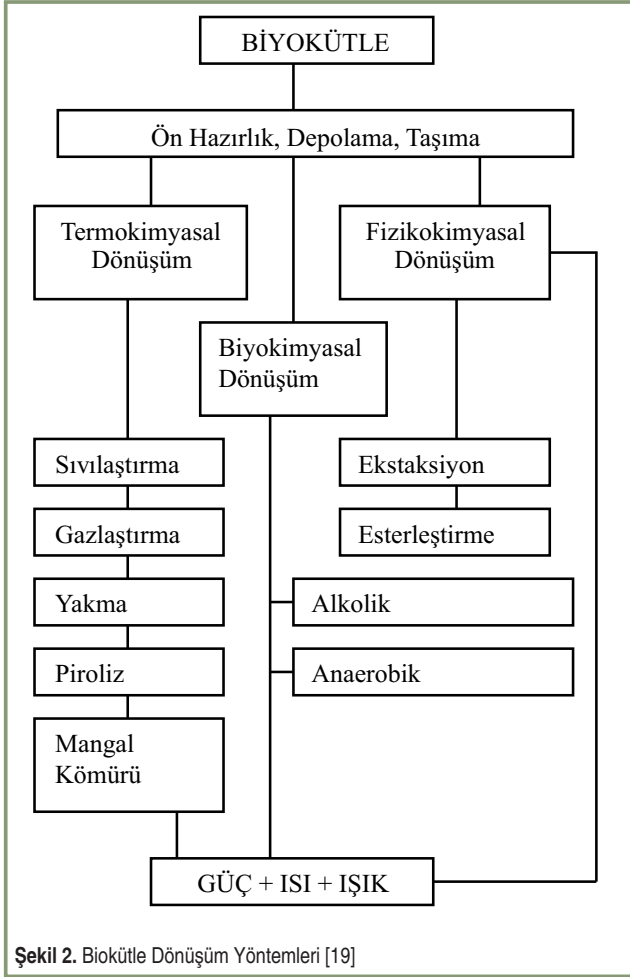
III.Hidrogazifikasyon ve hidrojenasyon ile sentetik yakıt üretimi

IV.Doğrudan yakma (çöp veya katı atıkların havayla yakılmasıyla ısı enerjisi ve elektrik üretimi)

V.Kompostlaştırma (çöp ve hayvan dışkılarının kompostlaşması sonucu organik gübre üretimi)

Biokütle ve diğer organik atıkların enerji amaçlı kullanılması için çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Ön işlemden geçirilmiş atıkların elektrik, ısı ve ışık ihtiyacı olarak kullanılması durumunda uygulanan teknolojiler başlıca üç grupta toplanır. Bunlar; termokimyasal dönüşüm, fiziko-kimyasal dönüşüm ve biyokimyasal dönüşümdür. Günümüzde enerji amaçlı kullanılan atıkların büyük bir kısmı termokimyasal yöntemle ısı ve elektriğe dönüştürülmektedir. Şekil 2'de çeşitli dönüşüm yöntemleri verilmiştir [17].

Biyokütle materyalin yakma dışında en basit değerlendirilmesi, anaerobik fermentasyonla biyogaz üretimidir [20]. Biyogaz, organik içerikli biyolojik parçalanabilir maddelerin havasız ortamda (anaerobik) bakteriler tarafından parçalanması esnasında oluşan ve bileşimi organik maddeyi oluşturan bileşiklere göre değişebilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazı oluşturan bileşenler metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), su buharı (H₂O), hidrojen sülfür (H₂S), amonyak (NH₃), azot (N₂), hidrojen (H₂)'dir. İnsan kaynaklı üretilen organik içerikli çöpler, tarım kaynaklı pamuk, mısır, buğday vb. sap ve saman artıkları, hayvan dışkılarına yönelik atıklar, şeker ve gıda sanayi



Şekil 2. Biokütle Dönüşüm Yöntemleri [19]

faaliyetleri sonucunda oluşan melas, meyve posaları gibi atıklar, biokütle için kaynak oluşturan sahalardır.

Koşulları iyi ayarlanmış bir biyogaz üreticinde elde edilen gaz, %55-70 CH₄, %30-45 CO₂, az miktarda H₂S ve H₂O şeklinde bir bileşime sahip olmaktadır. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki CH₄ yüzdesine bağlı olarak 19.000 ile 27.500 kJ/m³ arasındadır. Bu nedenle biyogaz özellikle kırsal bölgelerde alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmektedir.

Sıcaklık, mikroorganizmaların üreme hızına etki eden bir faktör olup, biyogaz üretimine de etki etmektedir. Organizmalar değişik sıcaklık aralıklarında faaliyet gösterdiklerinden, düşük sıcaklıklarda da gaz üretimi olmaktadır. Ancak, düşük sıcaklıkta gaz üretimi az olmakta ve sonuçta istenilen gaz üretimini gerçekleştirmek için gerekli fermentör hacmi dolayısıyla da yatırım maliyeti büyümektedir. Çalışma sıcaklığının doğru saptanması bir optimizasyon problemidir. Yapılan incelemeler sonucunda, 35°C sıcaklığın mezofilik bölge, 60°C sıcaklığın da termofilik bölge için optimum olduğu saptanmıştır. Belirtildiği gibi anaerobik fermentasyonda sıcaklık da önemli bir faktör olmaktadır. Ülkemizde özellikle Toprak Su tarafından yapılan çalışmalarda

biyogaz fermentasyon kazanlarının, güneş su ısıtıcı kolektör ve eşanjör devresiyle ısıtılması sonucu gaz verimi artırılmıştır.

Diğer yandan, anaerobik fermentasyonla organik maddelerin parçalanması, önemli çevre sorunlarına da alternatif çözüm getirmektedir. Çünkü, yerleşim bölgelerinde önemli sorun oluşturan organik kaynaklı çöpler, anaerobik (oksijensiz) ortamda fermente edildiklerinde, atık içerisinde var olan ve aerobik ortamda yaşayan koliform vb. zararlı organizmalar, anaerobik ortamda yok olmaktadır ve sonuçta söz konusu zararlı atıklar fermente olmuş hijyenik gübreye dönüşmektedir. Büyük yerleşim bölgelerinde bazı zorluklar gösterebilecek bu uygulama, tarım bölgelerine yakın yerleşim yerlerinde ekonomik olabilecek bir uygulama olarak görülmektedir.

Organik madde ve sudan meydana gelen biokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, enerjinin az masrafla dönüştürülmesi, ekonomik olması, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, doğadaki mevcut olan dengeyi bozmaması, su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir [17]. Biokütleden enerji sağlanmasının yanında mobilya, kâğıt, yalıtım maddesi yapımı gibi daha birçok alanda da yararlanılmaktadır. Enerji olarak kullanılmasında ise katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde etmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Biyoetanol, biyogaz, biyodizel gibi yakıtların yanı sıra yine biokütleden elde edilen gübre, hidrojen, metan ve odun gibi daha birçok yakıt türü saymak olanaklıdır.

Ayrıca bu enerjilerin insanlar için yeni iş sahaları oluşturması, istihdam sorununun çözümünde ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır.

Biokütlenin Çevrim Teknolojileri

Biokütlenin çevrim teknolojileri kısaca aşağıdaki sıralamayla özetlenebilir:

Havasız çürütme: Biokütlenin mikroorganizmalar yardımıyla oksijensiz ortamda fermentasyona uğrayarak, hemen her yerde kullanılacak bir yakıt ve değerli bir gübre haline dönüştürülmesidir. Bu yöntemle biokütleden üretilen gaz yakıtlar arasında en iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan biyogazdır. Havasız çürütme yöntemi; çevrim işleminin veriminde kullanılan biokütle kaynağına, sistem büyüklüğüne, pH değerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. (pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. pH teriminde p; eksi logaritmanın matematiksel sembolünden, H ise hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir. pH tanımı, hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması olarak verilebilir: $pH = - \log[H^+]$ [21])

Pirroliz: Biokütleden oksijensiz ortamda organik moleküllerin

parçalanarak gaz elde etme işlemidir. Bu yöntemle katı yakıttan sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Aynı şekilde çöp yığınlarından cam ve metallerin ayrılmasından sonra geriye kalan organik maddelerin hava kullanılmadan yüksek ısı etkisi altında gaz, sıvı yakıt ve kömüre dönüştürülmesidir [22].

Karbonlaştırma: Odun ve maden kömürü gibi organik maddelerin havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğramasıdır. Karbonlaştırma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri ise; yaklaşık olarak %50 CO₂, %35 CO, %10 CH₄ ve %5 diğer hidrokarbon ve H₂'dir. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

Gazlaştırma: Karbon içeren biokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunmasıyla yanabilir gaz elde etme işlemidir. Gazlaştırmada kullanılan biokütle kaynaklarını üç ayrı sınıfta incelemek mümkündür. Bunlar; mısır sapsarı, buğday, pirinç, ayçiçeği vb. bitkilerin samanları ile tarım atıkları, ceviz kabuğu, erik, kayısı çekirdekleri vb. gıda işleme sonrası oluşan atıklar ile orman ürünleri atıklarıdır.

Doğrudan Yakma: Biokütlenin içindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkime verme işlemi olarak tanımlanır. Mısır, ayçiçeği sapsarı gibi tarım atıkları içindeki yanabilir maddeler, karbon, hidrojen ve potasyum gibi bazı metalik elementlerdir. Kimyasal tepkime sonucu çevredeki havanın oksijeni tüketilmekte ve ısı ile birlikte ortaya karbondioksit, su buharı ve bazı metal oksitler çıkmaktadır.

Fermantasyon: Bazı mikroorganizmaların ürettiği enzimlerin etkisiyle organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları, proteinleri ve yağları parçalayarak, CO₂, asetik asit ve çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürme işlemidir [17].

Tablo 6'da biokütle kaynaklarından elde edilen yakıtlar, uygulama alanları ve biokütlenin çevrim yöntemleri verilmiştir [17].

Teknolojide biokütlenin en uygun şekilde kullanılabilmesi

için onun bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bunlar; nem oranı (% olarak su miktarı), karbon/nitrojen oranı (C/N), kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Enerji dönüşümünde kullanılacak bioküteller için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır. İçinde % 35'ten daha fazla su ihtiva eden biokütle termokimyasal dönüşüm sonucu elektrik üretimi için uygun değildir. Biokütle içerisinde yüksek oranda şeker bulunuyorsa bu ürün alkol fermantasyonu ve anaerobik fermantasyon için uygundur. Nem oranının yanında parça boyutu da uygun dönüşüm sisteminin seçiminde önemli bir parametredir.

BIYOGAZ

Biyogaz, organik kökenli atık ve artıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımdır. Bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; % 40-70 metan, % 30-60 karbondioksit, % 0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunur [23].

Biyogaz; ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Atık geri kazanımı sağlar. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yokedir. Hayvan gübrelere kaynaklanan insan sağlığını ve yer altı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır. Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta, üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir [24].

Biyogaz elde edimi temel olarak organik maddelerin ayrıştırılmasına dayandığı için temel madde olarak bitkisel atıklar ya da hayvansal gübreler kullanılabilir. Örneğin tavuk gübrelere oldukça verimli biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Tavuk gübresi topraklarda tuzluluğa sebep olduğu için, topraklarda verim amaçlı kullanılmaz. Oysa kullanılmayan bu gübre, biyogaza dönüştürüldüğünde ve

Tablo 6. Biyokütle Kaynaklarında Kullanılan Çevrim Teknikleri, Elde Edilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları [17].

Biyokütle	Çevrim Yöntemleri	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi
Tarım Atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Su Isıtma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon	Metan	Otomobiller
Organik Çöpler	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Sentetik Yağ	Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz	Dizel	Ürün Kurutma

sonrasında elde edilen gübreye çok daha faydalı bir hâle dönüştürülmüş olunur. Günümüzde biyogaz üretimi, çok çeşitli çaplarda; tek bir evin ısıtma ve mutfak giderlerini karşılamaktan, jeneratörlerle elektrik üretimine kadar yapılmaktadır [25].

Biyogazın Oluşumu

Biyogaz oluşumunda başlıca üç evre vardır ki bunlar sırasıyla; Hidroliz, Asit oluşturma ve Metan oluşumdur. Birinci aşama atığın mikroorganizmaların salgıladıkları enzimlerle çözünür hâle dönüştürülmesidir. Bu aşamada polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere dönüşür. Sonraki aşamada asit oluşturu bakteriler devreye girerek bu maddeleri asetik asit gibi küçük yapıllı maddelere dönüştürürler. Asit oluşumu üretim esnasında pH'nın düşmesine neden olabilir bu ise metan oluşumunu sağlayacak bakteriler üzerinde olumsuz etki yaratabilir. Son aşamada bu maddeleri metan oluşturu bakteriler, biyogaza dönüştürürler. Biyogaz oluşumu mikrobiyolojik etkenlerle gerçekleşmekte ve doğal olarak bu mikrobiyolojik organizmaların etkileneceği her türlü koşul biyogaz üretimini de etkilemektedir.

Bir anaerobik sistemde karmaşık yapıllı organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için ortamda farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Bu mikroorganizma grupları;

- hidroliz bakterileri,
- asit oluşturan bakteriler ve
- metan üreten bakterilerdir.

Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmaktadır. Hiçbir mikroorganizma tek başına basit yapıllı maddeler dahi olsa bir organik maddeyi metana dönüştürememektedir [26].

Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

Biyogaz üretimi için kullanılan materyaller, hayvansal gübreler, organik atıklar ve endüstriyel atıklar olarak üç başlık altında incelenebilir. Bu bağlamda kullanılan materyaller şunlardır:

1. Hayvansal atıklar

Hayvancılık ile elde edilen atıklar,
Hayvan gübreleri,

2. Bitkisel atıklar

Bahçe atıkları,
Yemek atıkları,

3. Endüstriyel atıklar

Zirai atıklar,
Orman endüstrisinden elde edilen atıklar,
Deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar,
Kâğıt 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 tesisi atıkları.

Tablo 7'de çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimi ve gazdaki metan miktarı verilmektedir [27].

Tablo 7. Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları [27]

Kaynaklar	Biyogaz Verimi (L/kg)	Metan Oranı (Hacim %'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 Saplari ve Artıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58
Alg	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80

Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler:

Genel olarak biyogaz oluşumuna etki eden mikrobiyolojik bakterilerin etkileneceği her faktör biyogaz üretimini de etkilemektedir. Bir bakterinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için belirli sıcaklık ve pH değerlerine ihtiyacı vardır. Aynı zamanda toksisite de bakterilerin faaliyetlerini direk olarak etkileyen etmendir. C/N (Karbon/Azot) oranı bir bakterinin ayrıştırma hızına etkisi bulunduğu için önemlidir. C/N oranının dar olması bakterilerin o atığı daha hızlı ayrıştırması demektir. Ayrıca biyogaz üretiminin yapıldığı reaktörde organik yüklenme hızı ve hidrolik bekleme süresi de biyogaz üretimini doğrudan etkiler. Buna göre:

Sıcaklığın biyogaz üretimine etkileri: Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık değerlerinde aktif olmamaktadır. Bu yüzden biyogaz üretiminin gerçekleşeceği reaktör sıcaklığı biyogazın üretimine veya hızına etki etmektedir. Bu bakteriler sıcaklık değişimlerine karşı oldukça duyarlıdır. Reaktörün içerisindeki sıcaklık bekleme süresini ve reaktör hacmini de belirler. Sıcaklığın düzeyine göre sınıflandırılma yapılırsa:

Psikofilik sıcaklık aralığı = 12-20 °C

Mesofilik sıcaklık aralığı = 20-40 °C

Termofilik sıcaklık aralığı = 40-65 °C'dir.

pH'nın biyogaz üretimine etkileri: Metan oluşturan bakteriler için en uygun pH değerleri nötr veya hafif alkali değerlerdir. Anaerobik şartlarda fermantasyon işlemi devam ederken 7-7.5 arasında değişir. pH değerinin 6.7 düzeylerine düşmesi durumunda bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Asit oluşturan bakterilerin ise sayısı artarak pH'ın düşmesine ve metan oluşumunun durmasına sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesi sağlanır. pH'nın kararlı bir hâle gelebilmesi için kimyasal da kullanılabilir. Bu kimyasallardan bir tanesi sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksittir.

Toksinite'nin biyogaz üretimine etkileri: Mineral iyonları, ağır metaller ile deterjan gibi maddeler bakterilerin gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluştururlar. Bu maddelerin biyoreaktörlere sızmasıyla üretimin yavaşlaması veya durmasına neden olabilmektedir. Tavuk yetiştiriciliğinde yemlere antibiyotik katılması, gaz üretiminde tavuk gübrelerinin kullanıldığı sistemlerde toksinite etkisi yapmaktadır. Bu şekildeki yemlerle beslenen tavukların gübrelerinde de antibiyotikler bulunmakta ve bu antibiyotikler metan oluşturan bakteriler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

C/N oranının biyogaz üretimine etkileri: Anaerobik bakteriler karbonu enerji elde edebilmek için kullanırlar. Azot ise bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan diğer maddedir. C/N oranı biyogaz elde edilecek olan atık için uygun değerlerde olmalıdır. Oran 23/1 düzeyinden fazla ve 10/1 oranından az olmamalıdır. Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebebiyle biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir.

Organik yükleme hızının biyogaz üretimine etkileri: Organik yükleme hızı, birim hacim (m³) bioreaktörlere

günlük olarak beslenen organik madde miktarıdır. Organik yükleme hızı optimumda tutulmalıdır. Aksi hâlde pH seviyesi düşerek gaz oluşumu tamamen durabilmektedir. Mesofilik şartlarda çalışan reaktörler için optimum organik yükleme hızı Tablo 8'de görülmektedir [25].

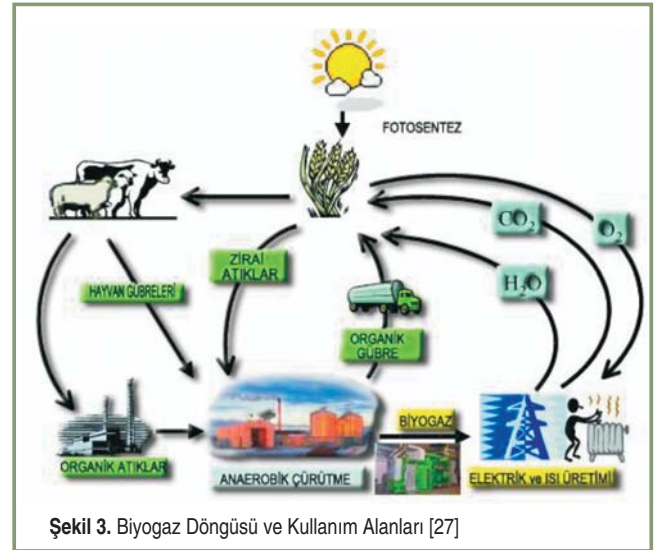
Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz doğal gazın kullanım alanlarıyla paralel olarak kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Biyogaz kullanım alanları Tablo 9'daki gibi sıralanabilir,

Tablo 9. Biyogaz Kullanım Alanları [25]

Biyogazın Kullanım alanları
Doğrudan yakarak ısınma ve ısıtma,
Motor yakıtı olarak kullanımı suretiyle ulaşım,
Türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi,
Yakıt pillerinde kullanımı,
Mevcut doğal gazla katılarak maliyetlerin düşürülmesi,
Kimyasal maddelerin üretimi sırasında biyogaz kullanımı.

Ayrıca, biyogaz çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden gelişen koşullarda çevre kirliliğinin önlenmesinde yeşil yakıt olarak bilinen organik madde kökenli biyogaz kullanımı daha önemlidir. Biyogaz üretimi için kullanılan ham maddeler tarımsal arazilerde üretildiği için, tarımsal



Şekil 3. Biyogaz Döngüsü ve Kullanım Alanları [27]

Tablo 8. Mesofilik Şartlarda Çalışan Reaktörler İçin Optimum Organik Yükleme Hızı [25]

Atık Malzeme	Yükleme Miktarı/Gün
Sığır Gübresi	2.5-3.5 kg UM/m ³ .gün
İlave Besin Maddeli Sığır Gübresi	5.0-7.0 kg UM/m ³ .gün
Domuz Gübresi	3.0-3.5 kg UM/m ³ .gün

işletmelerde gerek seraların ve iskân yapılarının ısıtılmasında gerekse traktörlerin yakıtı olarak kullanılmasında önemli bir fayda sağlayabilmektedir. Şekil 3'te biyogaz döngüsü ve kullanım alanları gösterilmektedir [27].

Bu şekilde kullanılan biyogaz işletme maliyetlerini

Tablo 10. Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri ve Biyogazın Durumu [26]

Yakıt Türü	Isıl Değeri	
	MJ/L	MJ/kg
Propan	25.5	50.2
Bütan	28.7	49.6
Gazolin	34.8	47.1
Dizel fuel	38.7	45.6
Fuel Oil (No:2)	39.0	43.2
Doğalgaz (% 99 CH ₄)	37.3	52.0
Biyogaz (% 65 CH ₄)	24	33.5
Kömür		
Bitümlü		32.6
Linyit		14.0
Odun		19.8
Elektrik	3.6\$	

* MJ/m³; \$ MJ/ kW

önemli ölçüde azaltılmaktadır. Tablo 10'da çeşitli yakıtların ısıl değerleri ve biyogazın durumu görülmektedir [26]. Anaerobik işlemler sonucu oluşan biyogaz önemli ve temiz bir gaz yakıt olarak işletmelerin enerjilerini karşılayabildiği gibi, boru hatlarıyla konutlarda da kullanılabilir.

Biyogaz Tesisinin Tasarımı

Biyogaz üretiminde temel olarak kullanılan ve bilinen reaktör tipleri şöyle sıralanabilir:

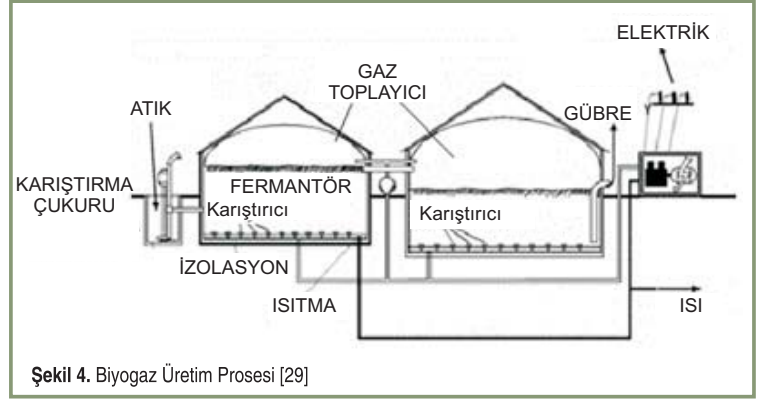
1. Sabit kubbeli veya Çin tipi,
2. Hareketli kubbeli veya Hint tipi,
3. Torba tipi veya Tayvan tipidir. Bu reaktörler tropik iklimlere uygundur; ancak ülkemiz iklim koşullarında verimli bir çalışmaya uygun değildir. Biyogaz üretimi için biyogaz tesisinin tasarımında; reaktör ve sistemler, kullanılan atık maddelerin katı madde içeriğine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya dayalı olarak da uygun reaktör tipi seçilmektedir. Ülke koşulları göz önüne alınarak en gelişmiş reaktör teknolojilerinin tercihi esastır [27].

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak tesis edilmektedirler. Biyogaz tesisleri kapasite olarak incelenecek olursa;

- Aile tipi (6 -12 m³ kapasiteli)
- Çiftlik tipi (50 -100 -150 m³ kapasiteli)
- Köy tipi (100- 200 m³ kapasiteli)
- Sanayi ölçekli tesis (1000-10.000 m³ kapasiteli) şeklinde gruplandırılmaktadır.

Aile tipi biyogaz tesislerinin ekonomik olarak çalıştırılabilmesi için, iklim şartları iyi ve fazla ısıya gereksinim

duymayan bölgelerde yapılması gerekmektedir. Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın olduğu fermantör ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır. Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığının 35°C civarında olması istenir. Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden de yararlanılabilmektedir [28].



Şekil 4. Biyogaz Üretim Prosesi [29]

Şekil 4'te biyogaz üretim süreci gösterilmektedir [29].

Biyogaz Reaktörlerinden Çıkan Atıklar ve Kullanımı

Biyogaz üretim reaktörlerinden çıkan ve çamur veya atık olarak adlandırılan maddeler Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) ve birçok element içeriğinden dolayı bitkiler için iyi bir besin kaynağı ve organik madde açısından iyi bir toprak iyileştirici maddedir [26]. Bu atıklar kurutulduğunda hayvan yemlerine katılan katkı maddesi olarak da değerlendirilmektedir. Ancak fermentöre beslenen maddelerde bulunabilecek zehirli maddeler (pestisit vs.), reaktör çıkışında yoğunlaşacağından, reaktörlerden çıkan maddelerin değerlendirilmesinden önce detaylı analizlerin yapılması önemlidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de ve dünyada fosile dayalı enerji kaynaklarının gelecekte tükeneceği göz önüne alınırsa, kirletici etkisi olmayan, temiz, güvenilir, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkan yenilenebilir enerji türlerinin; üretimi, kullanımı ve bilinçli bir şekilde yaygınlaştırılması çok önemlidir.

Türkiye'nin artan enerji talebini karşılamak için; doğal kaynakların akılcı bir biçimde değerlendirilmesi ve kullanılması, yeni teknolojilere önem verilmesi, enerji üretimini çeşitlendirilmesi, mevcut teknolojilerin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru ve verimli değerlendirilmesi, rasyonel enerji politika ve stratejilerin uygulanması, enerji arz güvenliğinin sağlanması, toplumda enerji verimliliği bilincinin geliştirilmesi de enerjide öncelikli konular arasında yer almaktadır [8].

Türkiye'de klasik biokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. 1995 yılı verilerine göre odun yaklaşık %30 ve tezek %10 oranında enerji üretimi içinde pay almaktadır. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz, kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi çevreyle ilgili koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele sahip şanslı ülkeler arasındadır.

Türkiye'de yerleşim yerine, yaşam tarzına ve faaliyeti özelliğine göre kişi başına yılda 10- 30 m³ metan gazı üretilebilme potansiyeli vardır. Kırsal kesimde bu değer yılda 10 m³ metan gazı/kişi civarındadır. Büyük kentlerde ise bu oran çok daha fazladır. Hayvancılıktan kaynaklanan, atık su arıtmasında oluşan çamurlardan ve tarımsal biokütle kaynaklarının yanı sıra; evsel çöpler de biyogaz üretimi için dikkate alınmalıdır. Bu kaynaklar çoğunlukla ekonomik malzemeler kullanarak yapılan biyogaz üreteçlerinde kullanılabilir. Bu tesislerde kaliteli organik gübre ve enerji elde ederek ekonomiye, koku ve bakteri oluşumunu önleyerek çevre sağlığına katkıda bulunulmuş olunur [30-31]. Buna rağmen ülkemizde enerji politikalarında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu konularda teknolojiler geliştirmek yerine, enerji ihtiyacını ithalatla karşılama yoluna gidilmiştir ve toplam enerji gereksiniminin yaklaşık dörtte üçü ithalatla karşılanmıştır [32]. 2020 yılında birincil enerji ihtiyacının 298,4 Mtep, buna karşılık enerji üretimi 70,2 Mtep ve enerji ithalatının ise %76'ya ulaşması tahmin edilmektedir [26].

Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasında ve enerji sorununun çözümü için; tarımsal, hayvansal ve evsel atıkların anaerobik işlemlerle değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıkların üretim potansiyellerinin, anaerobik parçalanma koşullarının ve uygun üretim türünün belirlenmesi, konuyla ilgili çalışmaların desteklenerek, anaerobik arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi şarttır. Organik madde ve sudan meydana gelen biokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, enerjinin az masrafla dönüştürülmesi, ekonomik olması, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, doğadaki mevcut olan dengeyi bozmaması da bu üretimlerin tercih sebepleri arasındadır [33].

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı

MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organization for Economic Co-operation and Development)
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü
TTGV	Teknoloji Geliştirme Vakfı
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SEMBOLLER

\$, USD	ABD doları
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
cm ³	Santimetreküp
C/N	Karbon/Azot
CO ₂	Karbondioksit
GWh	GigaWatt Saat
km	kilometre
kV	kilovolt
kWh	kiloWatt Saat
kWh/yıl	Bir yıllık kiloWatt saat
m ³	metreküp
Mtoe	Milyon ton petrol eşleniği
MW	MegaWatt
NO	Azot Oksit
TL	Türk Lirası
TWh	TeraWatt saat

KAYNAKÇA

1. **Demirbaş, A.** 2009. "Biofuels Securing the Planet's Future Energy Needs", Energy Conversion and Management, 50, p. 2239-2249.
2. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları," 2008. Oda Raporu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/2008/479, Ankara.
3. <http://www.limitsizenerji.com/haberler/tuerkiyeden-haberler/1074-tubitak-destekli-biyogaz-projesi>, Erişim Tarihi: 28 Ocak 2011.
4. **Çanka, Kiliç, F., Kaya, D. August** 2007. "Energy Production, Consumption, Policies, and Recent Developments in Turkey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 11, Issue 6, p. 1312-1320.
5. **Uğur, A. Şubat** 2005. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı," Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 425.

6. **Yıldız, T.** 2010. "Bakanlığın 2011 Yılı Bütçesini TBMM Plan ve Bütçe Komisyonuna Sunumu," Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
7. **Gençoğlu, M. T.** 2002. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi," Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14/2, 57-64.
8. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2010. "2009 Faaliyet Raporu," Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.
9. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2010. "2010-2014 Stratejik Planı," Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
10. <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=biyoyakit&bn=235&hn=&nm=384&id=40698>, Son Erişim Tarihi: 4 Şubat 2011.
11. <http://www.kobifinans.com.tr/tr/sector/2180506/22826>, Son Erişim Tarihi: 7 Şubat 2011.
12. **Öztürk, B., Okumuş, E.** 2008. "Membran Yöntemiyle Biyogazdan Karbondioksitin Ayrıştırılması ve Metan Saflaştırma," TÜBİTAK Proje No: 105Y084, Samsun.
13. **Kaya, D.** 2006. "Renewable Energy Policies in Turkey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, p. 152-163.
14. "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığıyla Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri," 2010. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
15. **Öğüt, H.** 2011. "Türkiye'de Biyodizel Enerji," http://www.enerjikaynaklari.net/keyf/turkiyede_biyodizel_enerji-120.html, Son Erişim Tarihi: 8 Şubat 2011.
16. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_Turkiye.html, Son Erişim Tarihi: 9 Şubat 2011.
17. **Nacar, Koçer, N., Ünlü, A.** 2007. "Doğu Anadolu Bölgesinin Biokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi," Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
18. <http://www.biyosfer.com.tr>, Son Erişim Tarihi: 10 Şubat 2011.
19. http://www.biyogaz.org.tr/biyogaz_nedir.asp, Son Erişim Tarihi: 11 Şubat 2011.
20. <http://www.fizikkulubu.net/biyokutle-enerjisi/>, Son Erişim Tarihi: 14 Şubat 2011.
21. http://www.ebilge.com/107593/PH_nedir.html, Son Erişim Tarihi: 15 Şubat 2011.
22. http://www.soylenasil.com/bilim/kati_atikpr.htm, Son Erişim Tarihi: 15 Şubat 2011.
23. <http://www.cografya.biz/forum/turkiyedeki-enerji-kaynaklari-t16955.0.html>, Son Erişim Tarihi: 15 Şubat 2011.
24. **Gizlenci, Ş., Acar, M.** 2008. "Enerji Bitkileri Tarımı ve Biyoyakıtlar (Biyomotorin, Biyoetanol, Biyomas)," Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Raporu, T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun.
25. http://www.biyogazder.org/biyogaz_enerjisi.htm, Son Erişim Tarihi: 14 Şubat 2011.
26. **Ardıç, İ., Taner, F.** 2005. "Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Arıtımın Temelleri," Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, YEKSEM 2005, Elektrik Mühendisleri Odası Mersin Şubesi, 19-21 Ekim, Mersin, p. 242-245.
27. <http://www.biyogaz.com/>, Son Erişim Tarihi 2 Şubat 2011.
28. <http://www.albiyobir.org.tr/biyogaz02.htm>, Suat Karakuz, Albiyobir Avrupa Temsilcisi, Son Erişim Tarihi: 15 Şubat 2011.
29. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_uretim_proses.html, Son Erişim Tarihi: 14 Şubat 2011.
30. <http://www.biyogazegitim.com/biyogaz-mikrobiyolojisi.asp>, Son Erişim Tarihi: 16 Şubat 2011.
31. **Acaroglu, M.,** 1999. "The Potential of Biomass and Animal Waste of Turkey and The Possibilities of These As Fuel in Thermal Generating Stations," Energy Sources, Vol. 21, No:4, p. 339-346.
32. **Çanka, Kılıç, F.** 2011. "Recent Renewable Energy Developments, Studies, Incentives in Turkey." Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, Vol. 28, Issue 1, p. 37-54.
33. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenjeri/01-biyogaz/bg_uretim_yararlari.html, Erişim Tarihi: 14 Şubat 2011.