

# SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR SİSTEMDE BİYOGAZIN YERİ

Vedat YILMAZ

vedatyilmaz@akdeniz.edu.tr

Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya

## ÖZET

Üretilen atıkların yönetimi etkin ve sürdürülebilir olmalıdır. Yenilenebilir bir kaynak olarak organik atıklardan biyogaz üretilmesi pratik ve uygulanabilir bir seçenektir. Bununla birlikte biyogazın üstün yanları ve dezavantajları ortaya konularak, diğer alternatif kaynaklarla karşılaştırmaya gidilmelidir. Yapılan akademik çalışmaların yanısıra, biyogazın etkin şekilde kullanımı 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra yeniden, başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere 2000'li yıllarla birlikte çok ciddi bir ilgiyle değerlendirilmektedir. Özellikle küresel iklim değişiminin önlenmesinde biyogaz üretiminin katkıları olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizin de hem yasal düzenlemeleri yaparak, hem de teknolojik uygulamalarla bu sürece dahil olması ve ilgili sektörlere gerekli teşvikleri hazırlaması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik atık, biyogaz, anaerobik bozundurma, yenilenebilir enerji

## 1. GİRİŞ

Biyogaz, belirli mikroorganizmaların organik maddeleri oksijensiz ortamda bozundurulması ile oluşmaktadır. Bu süreç bataklıklarda ve katı atık deponilerinde kendiliğinden gerçekleşmektedir. Anaerobik bozundurma (AB) ise biyogaz reaktörlerinde evsel, tarımsal ve gıda endüstrisi organik atıklarının kullanılmasıdır.

Reaktörlerden elde edilen biyogaz enerji üretimi için kullanılmaktadır. Tipik olarak biyogaz %60 metan (CH<sub>4</sub>) ve %40 karbondioksit (CO<sub>2</sub>)'den oluşmaktadır. Biyogaz doğrudan ısınma ve elektrik üretimi için kullanılabilmesi gibi CO<sub>2</sub> gideriminden sonra basınçlandırılarak araç yakıtı veya doğal gaz sisteminde kullanımı söz konusu olabilmektedir.

Biyogaz üretiminden sonra kalan ürünler gübre olarak adlandırılır. Organik maddelerde bulunan ve bitkilerin gereksinimi olan azot, fosfor ve potasyum gübre içerisinde korunmakta ve bu ürün tarımsal gübre şeklinde kullanılabilir. Bu ürün tarımsal gübre şeklinde kullanılabilir.

Sürekli olarak atık üretilmesi nedeniyle biyogaz yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Fosil kaynakların bir kısmının yerini biyogazın alması ile de sera gazı emisyonlarında azaltım olabilecektir. Organik katı atıkların katı atık deponilerine yasal süreçler nedeniyle alınmaması ile de belediyeler yeni atık yönetim stratejileri geliştirecekler ve anaerobik bozundurma bu süreçte önemli bir rol oynayacaktır. Bozundurma sonrası ortaya çıkan gübrenin besin elementleri nedeniyle fenni gübreden daha kullanışlı olmasının yanısıra toprağın verimini artırıcı etkisi olduğu da bilinmektedir.

## 2. BİYOGAZ İLE ENERJİ ÜRETİMİ

Yenilenebilir enerji üretiminin enerji arzına çözüm olması yönünde dünya genelinde çok yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Biyogaz, kullanılabilir atıkların toplanmasında, biyogaz reaktörlerinin işletilmesinde ve oluşan gübrenin iletilmesinde kullanılmaktadır. Üretilen enerjinin yaklaşık %20-40 civarı bahsedilen aşamalar için kullanılmaktadır. Ve bu enerji girdisinin miktarı atığın türüne, biyogazın üretim şekline ve işletim sırasında gereken ısıtma miktarına bağlı olmaktadır.

Hayvan atıklarından elde edilen biyogazın düşük miktarda olması nedeniyle, biyogaz üretimi sırasında gerekli enerjinin büyük kısmı kullanılmaktadır. Bununla birlikte arta kalan enerji hayvan atıklarının 200 km uzaktan taşınmasını karşılayabilir düzeydedir. Evsel ve diğer yüksek enerjili atıklardan elde edilen enerji daha yüksek olması nedeniyle, atıkların 600-700 km mesafelerden taşınması mümkün olabilmektedir (Berglund, 2006).

## 3. BİYOGAZIN AVANTAJLARI

Biyogaz üretim sistemleri pek çok hedefi gerçekleştirmek üzere uygulanmaktadır. Temel olarak üç ana kategoride toplanabilmektedir: (i) uygun atık yönetimi, (ii) yenilenebilir enerji üretilmesi ve (iii) bitki besin elementlerinin yönetiminin iyileştirilmesi. Bu sistemlerin hayata geçirilip sürdürülmeleri için pek çok yasal düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Hükümetlerin işletmelerin kurulması için yatırım garantileri vermeleri önemli bir aşamadır.



#### Atık yönetimi

Pekçok büyük biyogaz tesisi evsel organik atıkların arıtımının uygun yöntemi olduğu için inşaa edilmektedir. Organik atıkların katı atık deponilerine konulmasının yasaklanmaya başlaması ile yeni stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Atıkların katı atık deponilere konulması durumunda uygulanacak vergilendirme ile işletilebilirliği zorlaşacaktır. Organik atıkların yalnızca biyolojik arıtımı değil yakma seçeneği için de yasaklanma sözkonusudur. İngiltere ülkedeki organik atıkların katı atık deponilerine konulmasını 2010 yılında %25 ve 2020 yılında ise %65 oranında azaltılmasını hedeflemektedir (NSCA, 2006).

#### Yenilenebilir enerji

Pekçok biyogaz tesisi yenilenebilir enerji üretmesi nedeniyle inşaa edilmektedir. Örneğin anaerobik bozundurma kompostlamaya göre tercih edilmesinin nedeni ekonomik bir getirisinin olmasıdır. Yasal düzenlemeler yapılarak CO<sub>2</sub> vergilerinde artışlar ile biyogaz üretimleri teşvik edilebilir.

#### Bitki besinleri ve gübre

Atık maddedeki bütün bitki besinleri oluşan gübre içerisinde korunmaktadır. AB kentsel atıklardaki bitki besinlerinin dolaşımını sağlayarak kimyasal gübre talebini azaltmaktadır. AB gübrenin kalitesini artırmakta, bitki için uygun olan yüksek amonyum içeriği ile azotun etkinliğini geliştirmektedir. Örneğin domuz atıklarındaki toplam azotta %70 olan amonyum oranı gübre olması durumunda %85'e yükselmektedir (Sommer vd., 2001). Bunun yanısıra gübre verimsizleşmiş topraklara organik madde içeriğini artırmak üzere uygulanabilir. Böylelikle toprak yapısında iyileşmeler ve toprağın su tutma kapasitesinde artış sağlanır.

## 4.BİYOĞAZIN KULLANIMI

Genellikle biyogazın büyük kısmı üretildiği bölgede tüketilmektedir. Ayrıca, biyogaz talebi bütün yıl içerisinde değişebilmektedir. Biyogazın doğal gaz sistemine bağlanması ile boşa kullanımı engellenir. Biyogazın doğal gaz sistemine bağlanması için CO<sub>2</sub>, parçacıklarının, su buharı ve hidrojen sülfürden arındırılması gereklidir.

Isı üretimi biyogazın en sık ve yoğun kullanım şeklidir. Doğal gaz sistemleri için geliştirilmiş su kazanında fazladan ön-arıtım yapılmadan küçük değişimler yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Çoğu biyogaz reaktörü ısıtılmaktadır ve üretilen gazın %10'u büyük ölçekli tesislerde ve %30'u küçük ölçekli tesislerde bu amaç için kullanılmaktadır (Bergland ve Börjesson, 2003).

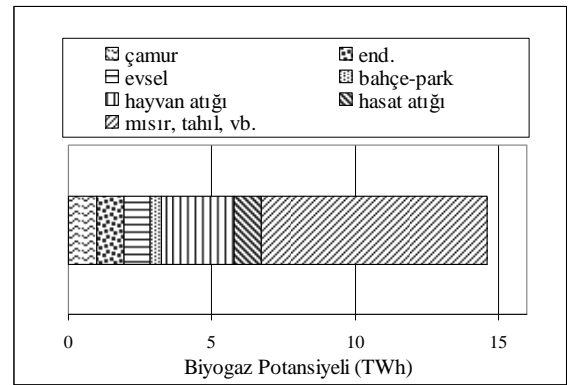
Biyogaz ayrıca birleşik ısı ve güç (BIG) üretimi için kullanılabilir. BIG üretimi için dizel motorları, güç türbinleri gibi pekçok teknoloji uygundur.

AB'de oluşan %2-7 arasında kuru madde içeriği olan gübrenin doğrudan toprakta kullanımında taşıma bir problem olabilir. Ancak oluşan gübrede yüksek miktarlarda azot (tipik olarak kuru ton başına en az 100 kg N, ki bunun da 75 kg 'ı amonyum formundadır), fosfor (kuru ton başına 15 kg) ve potasyum (kuru ton başına 50 kg) içermektedir.

Biyogaz halen Dünyada 3.8 milyon araçta kullanılmaktadır ve 10,000 otomobil ve otobüste hiçbir sorun yaratmadığı belirlenmiştir. Avrupalı araba üreticileri son yıllarda doğal gazlı araçların üretimi için çalışmalar yürütmektedir. Avrupa Birliğinde 2010 yılında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi %21'lere çıkarılmaya çalışılmaktadır. İsveç ise 2020 yılında taşımada biyogazın payını %8'e çıkarmayı hedeflemektedir (Börjesson ve Mattiasson, 2007).

### 4.1.Potansiyeli ve Gelecek Kullanımı

Biyogaz üretimindeki gelişim teorik potansiyele koşut olmayabilir. Atıkların ülke genelinde çok dağınık olması ve bütün atıkların anaerobik bozundurma için özellikle yüksek taşıma masrafları nedeniyle ekonomik olmayabilir. Büyük kapasiteli biyogaz tesislerinin (yıllık 10 GWh'den büyük) işletilebilmesi için, 35-50 küçük kentsel atık gerekmektedir (Nodberg vd., 1998). Örneğin İsveç için yapılan bir çalışmada, tarımsal atıklar, organik atıklar ve enerji bitkilerinden elde edilebilecek biyogaz potansiyeli Şekil 1'de verilmektedir. Henüz ülkemizde yalnızca birkaç arıtma tesisi ve endüstriyel uygulamaları olan biyogaz üretimi için, benzeri hesaplamaların yapılarak ülkemiz potansiyelin ortaya konulması gereklidir.



Şekil 1. İsveç'in biyogaz potansiyeli (Linné and Jönsson, 2004).

Biyogazın genel kullanımı ısıtma amaçlı olsa da araç yakıtı olarak kullanılmasında da ciddi artış görülmektedir. Taşıma sektöründe yüksek yakıt maliyetleri nedeniyle ısınmadan çok taşıma amaçlı kullanımına yönelim sözkonusudur. Biyogaz üretimi

sayesinde 2015 yılında Avrupa'daki ağır vasıtaların kullandığı yakıtın %27'sine karşılık gelecek bir rakama ulaşacaktır. 2002 yılında Avrupa'da üretilen biyogaz miktarı 92 PJ/yıl iken, yapılan tahminlerde bu rakamın 2020 yılında 770 PJ/yıl olacağı öngörülmektedir (Jönsson ve Persson, 2003).

Yeni tür atıkların değerlendirilmesi de sözkonusu olabilir. Son zamanlarda tahıl ürünlerinden etanol üretimine yönelinmektedir. Bu işlem sonrası atık ürünler biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Böylece tahılın tonu başına, enerji üretiminde %60 artış sağlanmaktadır (Börjesson, 2004). Tahıldan elde edilen etanol üretimi ile oluşan bir TWh enerjiye ilaveten arta kalan maddelerden biyogaz eldesi ile 0.4 TWh enerji daha sağlanabilmektedir.

Biyogaz üretim kapasitesi, reaktör sisteminin veriminin artırılması ve izleme ve kontrolünü içeren teknolojinin geliştirilmesiyle kolaylıkla artırılabilir. Üretilen biyogazın çoğunluğunu oluşturan atıksu arıtma tesislerinde, öncelikli olarak hedef çamur miktarının azaltılması ve çamurun stabil hale getirilmesi iken, enerji üretimi ikinci önemdedir. Bu nedenle de reaktörlerin sorunsuz çalışması için düşük yüklem hızlarında işletilmektedir. Bu reaktörlerin daha etkili çalıştırılması için diğer organik atıklarla birlikte bozundurma sağlanabilir. Böylece reaktör içerisinde besin dengesi uygun ve zehirleyicilerin etkisi azaltılmış olur. Reaktör teknolojisi sürekli gelişmekte, yeni yaklaşımlar ve uygulamalar araştırılmaktadır. Tek fazlı sulu çamur tarzı reaktörler çoğunluğu oluşturmaktadır. Yüksek kuru madde içeren atıkların ön-arıtım yapılarak köpük ve kabuk oluşumunu engellenmesi durumunda kuru bozundurma teknolojileri daha uygun olabilmektedir (Lantz vd., 2006). Yine bu tür atıklar için iki fazlı sistemler uygulanarak, öncesinde uçucu yağ asitleri üretilmekte, daha sonraki fazda metan oluşmaktadır. İki fazlı sistemin uygulanması durumunda herbir adım için optimum şartlar sağlanarak daha etkili bozundurma gerçekleşmektedir (Yılmaz ve Demirer, 2008).

İngiltere üzerine yapılan bir çalışmada, var olan atık yönetim stratejilerine göre en düşük ve en yüksek oranda AB'nin uygulanması durumunda oluşan rakamlar ortaya konulmuştur (NSCA, 2006). Düşük oranlı senaryoda arıtma çamurlarının %75'i, hayvan atıklarının %10'u ve gıda atıklarının %10'u; yüksek oranlı senaryoda ise arıtma çamurlarının %90'ı, hayvan atıklarının %30'u, kuru hayvan atıklarının %10'u, gıda atıklarının %65'inin AB'ye tabii olduğu varsayılmaktadır. Düşük oranlı senaryo ile İngiltere'deki araç yakıtının %1.5'u karşılanırken, yüksek oranlı senaryoda bu rakam %8'e yükselmektedir.

## 4.2. Biyogazın ekonomisi

Biyogaz ekonomisi oldukça karmaşık olup, diğer enerji üretim sistemleri ile doğrudan karşılaştırılmasının yapılması güçtür. Diğer enerji üretim sistemlerinin aksine AB sistemleri enerji gereksiniminin dışında pekçok şeye çözüm bulmayı hedefler. Kimi durumlarda enerji üretimi ikinci derecede önemli olabilmektedir. AB yasal gereksinimleri karşılamak üzere (katı atıkların deponi alanında çözülmesinin yasaklanması gibi), mevcut atık yönetim stratejilerinin çevresel etkilerinin azaltılması, veya tarımsal uygulamalar için, ya da iyi bir gübre eldesi gibi pekçok farklı gereksinim için uygulanabilmektedir.

Biyogaz tesislerinin yatırım maliyetleri büyük farklılıklar içermektedir. Sıvı atıklar için ton başına yıllık 70-150 euro iken, ön arıtım gerektiren yüksek katı içeriği olan atıklar için ton başına 500 euro'dan fazla bir yatırım ücreti gerekmektedir. Elde edilen biyogaz ve atık harçları da hesaba katılınca toplam üretim maliyetleri arasında küçük bir fark olmaktadır.

Hemen hemen bütün atık maddelerin arıtımı ya ücretsiz olarak yapılmakta ya da atık harcı uygulanmaktadır. Atık harcı atığın çeşidine ve biyogaz tesislerine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin Avrupa'da evsel atıklar için 45-60 euro ton başına atık harcı alınırken, mezbaaha atıkları için 5-27 euro alınmaktadır. Danimarka'da çoğunluğu hayvan atığı olan ortak arıtım tesislerine gıda endüstrisi ve benzeri atıkların alınması ekonomik bir işletme için gerekli olmaktadır. Böylece atıkların %20 sini oluşturan ortak arıtımla birlikte biyogaz miktarı artarken alınan atık harcı ile daha fazla gelir elde edilebilmektedir (Hjort-Gregersen, 2003).

Biyogaz tesisleri yatırımları iklim yatırım programları üzerinden hükümetlerce desteklenebilirler. Her ne kadar bu tür destekler yatırımlar için hayati olmasa da projelerin gerçekleşmesi bir katalizör görevi yapmaktadır. Çiftçilerin atıklarını getirmesi durumunda ücret alınmamalıdır, ücretlendirme sözkonusu ise de tesisten alacakları gübre karşılığında değerlendirilmelidir. Oluşan gübreyi fenni gübre olarak kullanılmasında isteksizlik görülse de, gübre kalitesinin ortaya konulması ile organik tarımda tercih edileceği düşünülmektedir. Tarımsal uygulamaların dışında toprak iyileştirme ya da inşaat mühendisliğinde kullanımları da mümkün olabilmektedir.

## 5. BİYOGAZIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Farklı enerji kaynaklarını çevresel etkileri açısından değerlendirdiğimizde, unutulmamalıdır ki AB olmasa da atık arıtılma sürecinde emisyonlara neden olmaktadır. Karşılaştırmalar yapıldığında bu durum dikkate alınmalıdır.



Biyogazın fosil kaynaklar yerine kullanılması ile CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazlarının salınımları azaltılmaktadır. Biyogaz üretimi sırasında oldukça az fosil yakıt (atık taşıma sırasında dizel kullanımı) tüketilir. Sonuç olarak, evlerin ısıtmasında ve araç yakıtları yerine biyogazın kullanımı ile %75 sera gazlarında azaltım gerçekleştirilebilmektedir.

Biyogazın önemli bileşeni olan CH<sub>4</sub> aslında bir seragazıdır ve iklim değişimi açısından irdelendiğinde bir kilogram CH<sub>4</sub> yirmi kilogram CO<sub>2</sub>'ye eşdeğerdir. Biyogaz sistemlerinden CH<sub>4</sub> kayıplarının azaltılması seragazı salınımlarına katkıda bulunacaktır. Biyogaz sisteminde ürün olarak oluşan gübrede mikroorganizmalar hala CH<sub>4</sub> üretmeye devam etmektedir. Gübrenin bu şekilde beklemesi ile oluşan CH<sub>4</sub> miktarı üretilen biyogazın %10-15'i mertebelerindedir. Bu nedenle oluşan gübrenin kapalı tanklarda tutulması ve biriken biyogazın alınması gereklidir.

Ötrotfikasyon ve asidifikasyona neden olan emisyonlar düşünülürken AB iyi bir alternatifdir. Örneğin şeker pancarlarından kaynaklı azot sızıntısı anaerobik bozundurmaya tabi olursa azaltılabilmektedir. Atıkların toplanmaması durumunda kış aylarında çürümekte ve azot serbest kalarak ötrötfikasyona neden olmaktadır.

Biyogaz sistemleri enerji ve çevresel sistemler analizi ile değerlendirilmektedir. Bu analiz ile enerji akımlarının değerlendirilmesi ve miktarının yanı sıra biyogaz üretimi ve tüketimindeki tüm yaşam döngüsündeki emisyonlar değerlendirilmektedir.

Biyogaz üretiminde oluşan emisyonlar (karbondioksit, karbonmonoksit, hidrokarbonlar, metan, sülfürdioksit, ve parçacıklar) değerlendirilmelidir. Üretilen gazın ısı üretimi için küçük ve büyük boyutlu ısıtıcılarda, ısı ve elektrik üretimi için küçük ve büyük gaz türbinlerinde ve araçlarda kullanılması hesaba katılmalıdır. Bunun yanı sıra, fenni gübre olarak kullanılması ve taşıma sırasında oluşacak emisyonlar da hesaba katılmalıdır.

Biyogaz sistemindeki kaçaklar, yetersiz teknoloji ya da fazla gaz üretiminden oluşan kayıplar önemli çevresel etkileri olmaktadır. Örneğin biyogazda %2 lik metan kaybı nedeniyle yakıt döngüsünde metan emisyonunda 10-100 katı bir artışa neden olmaktadır. Biyogazın zenginleştirilmesi sırasında %10'luk bir kayıp ise yakıt-döngüsü emisyonunda 50-540 katı artışa neden olmaktadır.

### 5.1. Biyogaz üretiminin Avantajları

Analizler göstermektedir ki, sera gazları emisyonunu eğer biyogaz ısıtma amacı ile fosil yakıtlar yerine kullanılırsa %75-90 oranında, BIG yerine kullanılırsa %60-90 ve benzinli ve dizel araçlarda kullanılması durumunda %50-85 arasında azalma mümkündür.

olmaktadır. Buna karşılık, biyogaz sistemleri biyoenerjiye göre sera gazları emisyonu açısından %50-500 daha yüksek olabilmektedir.

Anaerobik bozundurma ve biyogaz üretimi atık madde türüne, yakıtlara ve yerini aldığı atık yönetim sistemlerine göre potansiyel çevresel avantajları vardır. Genel olarak, anaerobik bozundurma aşağıdaki durumlarda faydalı olabilir.

- Sıvı hayvan atıkları, şeker pancarının yaprak ve baş kısımları gibi atık maddelerin normal şartlarda enerji hammaddesi olarak kullanılmaması durumlarında, biyogaz fosil yakıtların yerini alır;
- Dolaylı çevresel etkilerin dikkate alınmasında, örneğin, (i) hayvan atıklarının depolanması sırasında oluşan metan ve amonyumun emisyonlarının azaltılmasında, (ii) azot içeriği zengin olan ürün atıklarından azot sızıntısının ve amonyum emisyonlarının azaltılmasında, ve (iii) organik maddenin kompostlanması ile amonyum emisyonunun azaltılmasında;
- Biyogaz fosil yakıtların yerini alması durumunda, sera gazları emisyonunda ve ayrıca fotokimyasal oksidasyon reaksiyon potansiyeli, ötrötfikasyon potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve parçacık madde emisyonunda azalmalara neden olur.

Fakat biyogaz her zaman diğer biyoenerji sistemleri ile karşılaştırıldığında en iyi alternatif olmak durumunda değildir. Örneğin, ısı gereksinimi için doğrudan atık maddelerin yakılmasında, yüksek enerji dönüşümü nedeniyle biyogaz sisteminin uygulanmasında daha fazla sera gazı salınımına neden olabilmektedir. Biyogaz sistemlerinden önemli miktarda metan veya amonyum kayıplarının engellenmesi için uygun saklama ünitelerinin yapılarak fazla metanın yakılması, veya gübrenin uygun şekilde dağıtımının yapılarak amonyum kayıplarının azaltımı sağlanabilir.

Biyogaz sisteminin hangi amaca hizmet edeceğinin iyi belirlenmesi gerekir. Enerji ürünleri ile doğrudan yakma yoluyla enerji mi elde edilecek? yoksa toprak iyileştirme mi sağlanacak? bilinmelidir. Enerji performansı ve çevresel etkileri bakımından biyogaz sistemlerini değerlendirmek oldukça güçtür.

## 6.SONUÇ

Geleneksel enerji kaynaklarının azalması, beraberinde iklim değişiminin kritik seviyelere ulaşması ve artan nüfusla atık yönetimi çok ciddi problemler olarak önümüzde durmaktadır. Biyogaz kullanımını kırsal alanda küçük ölçekli amaçların ötesine hizmet edebilmektedir. Biyogaz teknolojisi artık pek çok ülke tarafından yoğun olarak kullanılmakta ve ciddi birikimler kazanılmıştır. Bu süreçte önemli araçlardan biri de bilimsel çalışmaların ortaya koyduğu beklentiler doğrultusunda yasal düzenlemelerin hazır olmasıdır. Artık faaliyetleri sadece çevresel etkileri

olarak değerlendirmek yeterli olmamaktadır. Biyogaz üretim sistemlerinin çevresel etkileri düşünüldüğünde, sistemin analitik yaklaşımında biyogaz üretimi ile oluşan emisyonları ve enerji performanslarını da içeren yaşam-döngüsü analizi yapılarak olumlu ve olumsuz yönler ortaya konulmalıdır. Bütün bunların yanısıra ülkemizde çok ciddi uygulama şansı bulamamış bu teknolojinin bir an önce kamuoyuna yararları ve kullanım kolaylıkları aktarılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Berglund, M. (2006). Biogas production from a Systems Analytical Perspective, PhD Dissertation, Lund University.
- Berglund, M. and Börjesson, P. (2003). Energy systems analysis of biogas systems. Report No. 44, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden.
- Börjesson, P. (2004). Energy analysis of transportation fuels from grain and ley crops. Report No. 54, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden.
- Börjesson, P. and Mattiasson, B. (2007). Biogas as a resource-efficient vehicle fuel, Trends in Biotechnology, 26(1), 7-13.
- Eriksson, P. and Olsson, M. (2007). The potential of biogas as vehicle fuel in Europe – A technological innovation systems analysis of the emerging bio-methane technology, Chalmers University of Technology, Report No. 2007:6, ISSN: 1404-8167.
- Hjort-Gregersen, K. (2003). The economy of centralized biogas plants: Progress and status 2002. Rapport nr. 150, Institute of Food and Resource Economics, Copenhagen, Denmark.
- Linné, M. and Jönsson, O. (2004). Literature review compilation and analysis of the potential for production of renewable methane (biogas and SNG) in Sweden). Swedish Gas Centre, Malmö, Sweden.
- Jönsson, O. and Persson, M. (2003). Biogas as transportation fuel, Swedish Gas Centre.
- Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L. and Börjesson, P. (2006). The prospects of an expansion of biogas systems in Sweden Incentives, barriers and potentials. Manuscript, submitted to Energy Policy.
- NCSA, (2006). Biogas as a road transport fuel, ISBN 978 0 903 47461 1.
- Sommer, S.G., Møller, H.B. and Petersen, S.O. (2001). The reduction of greenhouse gases from manure and organic waste using digestion and biogas production. DJF report No. 31, Danish Institute of Agricultural Sciences, Tjele, Denmark.
- Wellinger, A. (2005). Biogas as a vehicle fuel – Upgrading, distribution, fuelling and utilisation, IEA Bioenergy Agreement Leader Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas.
- Yilmaz, V. and Demirer, G.N. (2008). Enhancing the Performance of Anaerobic Digestion of Dairy Manure through Phase-Separation, Clean 2008, 36(9) ,760-768.

