

Organik Atıklardan Kaynaklı Sera Gazları Salınımlarının Azaltılmasında Anerobik Bozundurma'nın Önemi

Mustafa Güç¹, Vedat Yılmaz²

Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya
¹guc38@hotmail.com; ²vedatyilmaz@akdeniz.edu.tr

Özet

Küresel ısınmanın olumsuz etkileri nedeniyle sera gazlarının azaltımı üzerinde son yıllarda çabalar yoğunlaşmış ve dolayısıyla organik atıkların bertarafında oluşan yeni ürünlerin de bu döngü içerisindeki yerleri önem kazanmaktadır. Atık yönetim stratejileri arasında bulunan pek çok arıtma teknolojisinin sera gazları emisyonlarına herbir sistemin farklı etkileri olmaktadır. Anaerobik bozundurma 1990'larla birlikte başta Avrupa olmak üzere dünyada organik atıkların arıtımında önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Bu yönelimde öncelikle anaerobik arıtım sistemlerinde performansın yükselmeye başlamış olmasının yanı sıra arıtım son ürünlerinin enerji üretiminde de değerlendirilebileceği yararlı ürünler olmasındandır. Ülkemizde henüz yaygın uygulama şansı bulamamış bu yöntem ile elde edilecek biyogaz, tarım işletmelerinde ısınma, aydınlatma, ve mutfak işlerinde kullanılabilir, varolan enerji kaynaklarına alternatif olup, aynı zamanda enerjiye ulaşımında da kolaylıklar getirecektir.

Anahtar Kelimeler: Sera gazları, Anaerobik bozundurma, Organik atık

Abstract

The efforts on the reduction of the greenhouse gases have been increased since the adverse effects of global warming and also the role of new products from the treatment of the organic wastes gets important. Each treatment technologies within the waste management strategies have different effects on the greenhouse gas emissions. Anaerobic digestion has been started to popular since 1990's in the worldwide especially in Europe for the treatment of organic wastes. This tendency has been caused by the last products of the treatment valuable as well as the efficiency of anaerobic treatment performances increases. Although, the biogas obtained from this technology could be used for heating, lighting and kitchen usage in rural areas, and it would be an alternative for fossil energy sources; unfortunately it has not widespread usage in our country.

Key Words: Greenhouse gases, Anaerobic digestion, Organic waste

GİRİŞ

İnsanlar tarafından atmosfere salınan gazların sera etkisi yaratması sonucunda dünya yüzeyinde sıcaklığın artmasına küresel ısınma denilmektedir. Bu olay son 50 yıldır iyice saptanabilir duruma gelmiş ve önem kazanmıştır. Dünya'nın atmosfere yakın yüzeyinin ortalama sıcaklığı 20. yüzyılda 0,6 (± 0.2)°C artmıştır. İklim değişimi üzerindeki yaygın bilimsel görüş, "son 50 yılda sıcaklık artışının insan hayatı üzerinde

farkedilebilir etkiler oluşturduğu” yönündedir. Küresel ısınmaya, atmosferde artan sera gazlarının neden olduğu düşünülmektedir. Karbondioksit (CO₂), su buharı, metan (CH₄) gibi bazı gazların, güneşten gelen radyasyonun bir yandan dış uzaya yansımını önleyerek ve diğer yandan da bu radyasyondaki ısıyı soğurarak yerkürenin fazlaca ısınmasına yol açtığı ileri sürülmektedir.

Sera gazlarını (SG) küresel ısınma potansiyali (KIP) açısından karşılaştırdığımızda, 100 yıllık bir kesimde CO₂, CH₄, ve diazotmonoksit (N₂O)'in sırasıyla 1, 21, 310 oranlarında etkisi sözkonusudur. Atmosferik metan konsantrasyonu 1787'den 2008 yılına kadar 0,70 ppm'den 1,85 ppm'e yükselmiş ve yılda %0,6 artmaya devam etmektedir [1]. SG olan metanın güneş ışığını doğrudan tutmasının yanı sıra fotokimyasal reaksiyonlara girerek ozon, CO₂ ve su buharı gibi diğer SG oluşmasını da sağlar. Atmosferdeki CH₄ konsantrasyonlarının son yıllardaki artışı, küresel CH₄ kaynaklarının karakterizasyon çalışmalarının daha kapsamlı yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır.

ANAEROBİK BOZUNDURMA

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik (oksijensiz) ortamda, farklı mikroorganizma gruplarının varlığında, biyometanlaştırma süreçleri ile elde edilen bir gaz karışımıdır. Anaerobik bozundurmada (AB) kompleks atıklar üç aşamada stabilize olurken başlıca son ürünler CH₄ ve CO₂ olup, ana ürün metan enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Biyogaz doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak elektrik eldesinde, yakıt hücresi yakıtı olarak ve doğalgaz için katkı maddesi olarak kullanılabilir [2]. AB işleminin atıklar için kullanımının yeni olması nedeniyle, SG emisyonları ve azaltımlarında AB nin rolü hakkında sınırlı düzeyde bilgi vardır. Bir ton organik katı atığın parçalanması ile 50-110 m³ CO₂ ve 90-140 m³ CH₄ atmosfere bırakılmaktadır [3]. AB ile atıkların organik kısımları enerjiye dönüştürülürken, çevre üzerine olumsuz etkiler azaltılmakta ve fosil kaynakların kullanımının azaltılmasına katkı sağlanmaktadır.

ATIKLARIN SERA GAZLARI EMİSYONUNA KATKISI

Toplam küresel ısınmanın yaklaşık %18'ine CH₄'ın sebep olduğu belirlenmiştir [4]. Bu değer yılda yaklaşık 500 milyon tona karşılık gelmekte ve bunun da 40-75 milyon tonu katı atık depo sahalarından kaynaklanmaktadır [5]. Depo gazı bertaraf

edilmedikçe veya enerji amaçlı kullanılmadıkça, nüfus artışı ve şehirleşmenin artmasına bağlı olarak katı atık depo sahaları atmosferik CH₄ konsantrasyonlarının önemli kaynakları arasında yerini koruyacaktır. Tarımsal aktivitelerden kaynaklı metan emisyonların küresel sera etkisine katkısı %33 seviyelerindedir. Yalnızca hayvan atıkları %7'sine sebep olup, bu da 20-30 milyon ton metan emisyonuna denk düşmektedir [6]. Atıksu arıtımında oluşan CH₄ veya CO₂ ile ya da sistem için gerekli enerji nedeniyle SG salınımına katkı sağlanmaktadır. Kanalizasyon arıtımından kaynaklı metan üretimi küresel metan kaynaklarının %5'ni oluşturmaktadır. AB ile atıklardan yenilenebilir enerji üretilirken iki yönlü çevresel yarar olmaktadır. Yenilenebilir enerjinin kullanılması ile fosil yakıtlara olan talebi azaltıp CO₂ emisyonları düşecek (1 m³ biyogaz 0,5 kg petrol eşdeğeri olup, 2,6 kg CO₂ emisyonu azaltılmış olur), ayrıca metanın kontrol edilmesi ile yayılımı engellenmektedir. AB ile üretilen enerjinin bir kısmı atıksu arıtma tesislerinde sistem içinde kullanılırken (ısıtma, karıştırma, kurutma, vd.), geriye kalan yaklaşık % 63-78 kısmı satmaya uygun olmaktadır. İnsan aktivitelerinden kaynaklı metan emisyonları Tablo 1'de verilmiştir. İlk iki aktivite dışında AB teknolojilerinin uygulanması durumunda bu emisyonların azaltımı sözkonusu olabilmektedir.

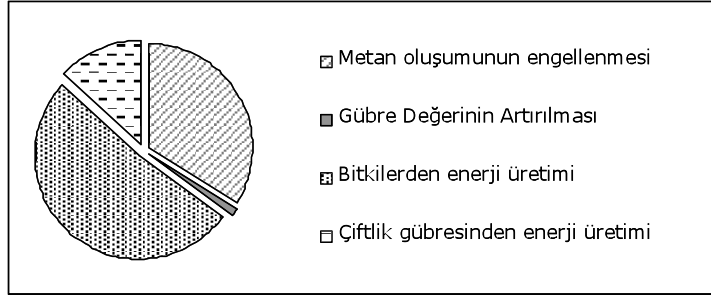
Tablo 1. İnsan aktiviteleri kaynaklı metan emisyonları [7].

Kaynak	Emisyon (Tg CH ₄)
Kömür işletmeciliği, petrol sanayi	100
Pirinç ekimi	60
Hayvancılık	80
Gübre	25
Atıksu arıtımı	25
Katı atık depo alanı	30
Biyokütle	40
Toplam	360

EMİSYON AZALTMA ÇABALARI ve BAŞARILI UYGULAMALAR

Avrupa Birliği'ne üye ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir dizi tedbir almaktadırlar. Fosil yakıtlarının yerini alabilecek yenilenebilir enerji kaynakları arayışlarını sürdürmekte ve bu konuda yatırım yapmaktadırlar. Buna göre Avrupa

Birliğinde AB ile biyogaz üretimi sayesinde CO₂ emisyonlarında büyük oranda azalma gözlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Avrupa Birliğinde biyogaz üretimi ile CO₂ emisyonlarının azaltılması [8].

Dünya'da havan gübresinden kurulu biyogaz tesislerinin %80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde bulunmaktadır. Çeşitli ülkelerde kurulu biyogaz tesis dağılımı ve Avrupa Birliği ülkelerinde hayvan gübresini kullanarak inşa edilen biyogaz tesisi sayıları ile biyogaz üretim miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

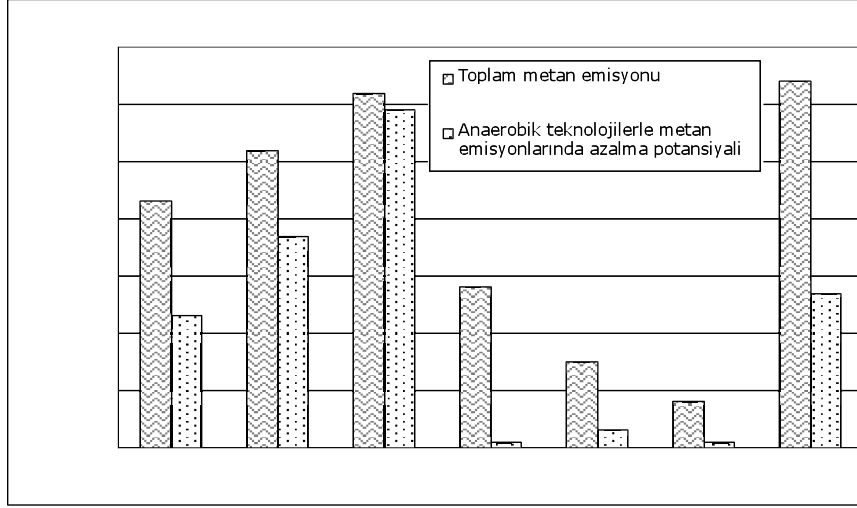
Tablo 2. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayısı ve Avrupa Birliği ülkelerinde biyogaz tesisi ile üretimleri [9].

Ülkeler	Biyogaz Tesisi Sayısı	Ülkeler	Biyogaz Tesisi Sayısı	Biyogaz Üretimi	
				TWh/yıl	PJ*
Çin	7.000.000	Avusturya	>90	1410	32900
Hindistan	2.900.000	Danimarka	39	45150	1.052.090
Kore	29.000	Hollanda	3	1.960	45.630
Brezilya	2.300	İtalya	70	6.880	160.250
Bangladeş	280	Norveç	4	0.620	14.450
Nepal	49.500	Portekiz	16	1.520	35.300
		İspanya	6	0.026	625
		İsveç	12	19.430	452.700
		İsviçre	59	1.790	41.700

*:1 052 090 J =1.05 PJ

Dünyadaki hayvan atıklarının oluşturduğu metan emisyonları ve bu atıkların anaerobik olarak artımları durumundaki emisyonlar Şekil 2'de verilmektedir. Bu da

göstermektedir ki metan emisyonlarının yarısı biyogaz teknolojisi uygulanarak azaltılabilir.



Şekil 2. Hayvan atıklarından kaynaklı metan emisyonları ve anaerobik teknolojilerle azaltım potansiyalleri [10].

Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde biyogaz teknolojileri için iklimsel şartların çok elverişli olmamasının yanısıra, nüfuslarının az ve enerji sıkıntıları yaşamamalarına rağmen İsveç ve Danimarka gibi ülkeler de çevresel duyarlılıkları nedeniyle biyogaz teknolojinde önemli yatırımlar yapmaktadırlar.

Örneğin Linköping (İsveç) biyogaz tesisi birçok çevre sorunun çözümündeki rolüne dair iyi bir örnek olmaktadır. Atık malzemeleri tesiste işlenerek sertifikalı biyogübre elde edilmekte ve araç yakıtı olarak kullanılarak ulaşım sektöründen kaynaklı yerel ve küresel emisyonları azalmaktadır. Tesis tarımsal faaliyetlerden kaynaklı organik atıkların arıtımı için 1997 yılında işletmeye alınmıştır. 100.000 ton arıtma kapasitesindeki tesiste 4,7 milyon m³ iyileştirilmiş biyogaz (%97 CH₄) üretilerek 64 otobüs ve birkaç ağır vasıta araçta kullanılmaktadır. Böylelikle yılda 9.000 ton CO₂ emisyonu azaltılmaktadır. Yine benzer şekilde Laholm Biyogaz tesisi (İsveç) 1992 yılında işletmeye alınmıştır. 2001 yılından bu yana doğal gaz sistemine bağlanan tesis sayesinde bölgesel doğal gaz üretimine %25 değerinde katkı sağlamakta olup, yılda 18.000 MWh doğal gaz yerine kullanılarak 3.700 ton CO₂ emisyon azaltımı

gerçekleşmektedir. Tesiste yılda 28.000 ton hayvan gübresi ile yaklaşık 20.000 ton diğer atıklar (özellikle gıda endüstrisinden) işleme alınmaktadır [11].

2003 yılında Danimarka'da 174 farklı işletmenin (merkezi ortak arıtım, tarımsal tesisler, atıksu arıtma tesisleri, endüstriyel tesisler, katı atık depo alanları) biyogaz tesislerinden 3,58 PJ miktarında enerji elde edilirken, hayvan gübresinin %5'ni değerlendirebilen Danimarka'daki bu tesislerde 2008 yılı itibari ile 40 yeni tesis eklenmesi ile toplam enerji üretimi de 8 PJ'e çıkarılması planlanmıştır. Biyogaz üretimine yönelik yeni yaklaşımların artması ile çok yönlü kullanılması ve doğal gaz yerine alternatif olabilmesi sözkonusu olabilecektir [12].

Chynoweth vd. [13] çalışmalarında enerji bitkileri ve organik atıkların anaerobik olarak bozundurma ile elde edilen metan gazı üretimini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, AB ürünü olan metan gazının hem sosyal yönlerden hem de temiz enerji kullanımına katkısı açısından olumlu etkisi olacağı belirtilmiştir. Yapılan araştırmada A.B.D.'deki organik atıkların enerji potansiyeli verilmiştir (Tablo 3).

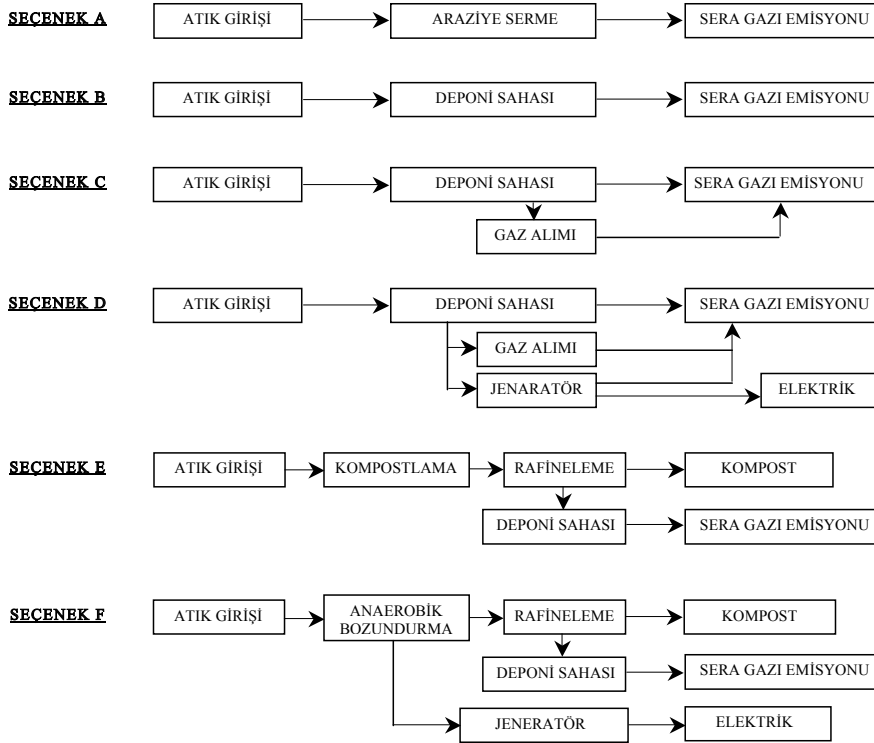
Tablo 3: A.B.D.'deki organik atıkların enerji potansiyeli [13].

Organik madde	Yıllık enerji potansiyeli (EJ/Yıl)
Evsel atıklar	1,5
Biyolojik arıtım çamurları	0,8
Organik endüstriyel atıklar	0,4
Tarımsal atıklar	4,1
Hayvansal atıklar	0,4
Enerji bitkileri	22
TOPLAM	29,5

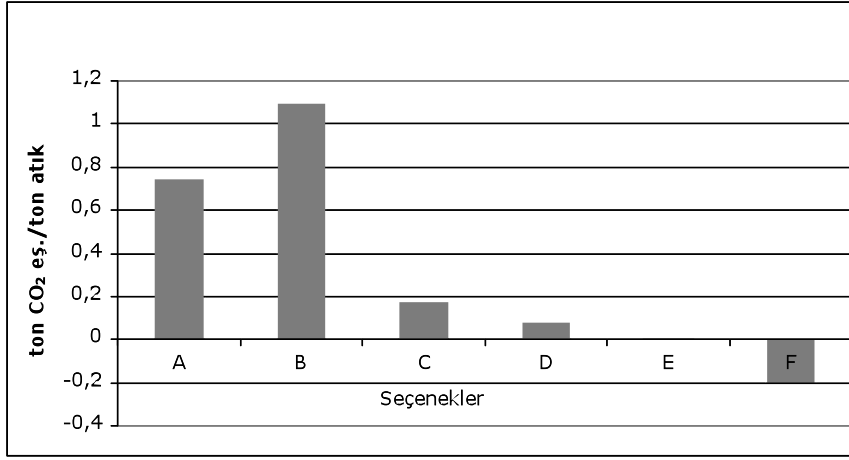
Sığır ve domuz atıklarının farklı yöntemlerle arıtılması, farklı atıksu arıtma tesisi teknolojilerinin karşılaştırdığı çalışmalarda AB'nın hem ekonomik hem de SG emisyonları açısından diğer alternatiflere göre çevreye daha olumlu katkılarının olduğu belirlenmiştir [14, 15].

Barton vd. [16] araştırmalarında gelişmiş ülkelerdeki uygulanan etkili atık yönetimine bağlı olarak küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonlarının azaltılmış

olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, organik atıkların gelişen teknolojiye bağlı olarak sadece bertaraf edilmediği ve enerji üretiminde hammadde olarak kullanıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca, araştırmada hem deponi sahalarında hem farklı sistemlerde kompostlama, AB, vb. yöntemlerle enerji üretilebildiği vurgulanmaktadır. Organik atıkların işlenmeden doğaya atılması ve atıkların enerji üretiminde kullanıldıktan sonra gübre olarak tarımda kullanılması gibi yöntemler araştırmada kıyaslanmış, hem enerji üretimi, hem de sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde kullanılan sistemlerin zaruri olarak öncelik kazanması gerektiği belirtilmektedir. Yapılan çalışmada, organik atıkların farklı yöntemlerle (Seçenek A-F) arıtıldığı varsayılarak sonuçta elde edilebilecek ürün ve sera gazı emisyonları hakkında değerlendirmede bulunulmuştur (Şekil 3). Seçenekler özelinde yapılan karşılaştırmalar ise Şekil 4'de verilmiş olup, bir ton atıktan Seçenek F (AB + rafineleme + deponi sahası) ile CO₂ emisyon salınımının en alt düzeyde kaldığı ve emisyon azaltımı yönünde olumlu katkı yaptığı gözlenmiştir.



Şekil 3. Organik atıkların farklı yöntemlerle arıtılması ve elde edilecek ürün seçenekleri [16].



Şekil 4: Atıkların farklı durumlardaki arıtımlarına göre sera gazı emisyonlarına olan katkıları [16].

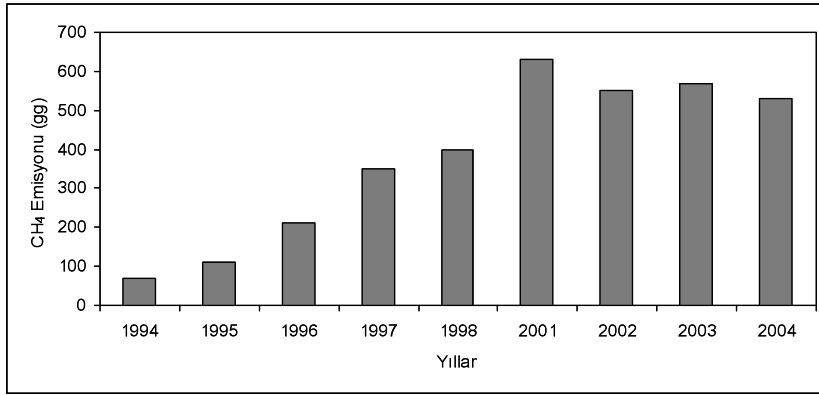
Kyoto Protokolü ve devamında yapılan yasal düzenlemeler, atıksu arıtma tesisleri için proses tercihlerinde uygun teknolojinin belirlenmesinde hem enerji maliyetleri hem de SG salınımları belirleyici olmaya başlamıştır. Farklı atıksu arıtma teknolojilerinin CO₂ emisyonları açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada, “aktif çamur” yönteminde 1.44 kg CO₂ emisyonu hesaplanırken, “mesofilik AB” uygulanmasında ise 1.10 kg CO₂ gideriminin gerçekleşeceği hesaplanmıştır [17]. Çalışmada CO₂ emisyonları ve tesislerin işletim giderleri gözönüne alındığında proses seçimlerinde anaerobik arıtıma yönelim olduğu vurgulanmıştır.

Küresel ısınmada etken olan gazlardan bir diğeri olan N₂O (KIP değeri 320) anaerobik proseslerle engellenebilmektedir. Aerobik atıksu arıtma tesislerinde oluşan emisyonları yok sayılıyor olmasına rağmen laboratuvar çalışmalarında ortaya konulmuştur [18]. BM Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından da N₂O emisyonları ulusal envanterler arasına alınmıştır. Hayvansal atıklarda AB ile N₂O'nun azaltım potansiyeli üzerinde çok az detaylı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan hayvan atıklarının AB ile N₂O emisyonunda yaklaşık %10 azaltım sağlanabildiği anlaşılmaktadır.

ÜLKEMİZDEKİ POTANSİYEL

Türkiye'de düzenli depolamadan kaynaklanan emisyon eğilimi Şekil 5'de verilmiştir. Grafiğe göre CH₄ emisyonu 1994'ten 2001'e kadar düzenli ve hızlı bir artış

gösterirken (%90.3), daha sonra düşüş gözlenmiştir [19]. Katı atıkların düzensiz depolama (vahşi depolama) yöntemiyle gelişigüzel olarak doğal ve açık alanlarda biriktirilmesi birçok çevresel sorunla birlikte; oluşan gazların kontrolsüz olarak salınımıyla sera gazı artışına neden olmaktadır. Düzensiz depolama terk edilerek, evsel katı atıkların düzenli depolama sahalarında bertarafı ile birçok faydanın yanında AB sonucu açığa çıkan metan gazının salınımı engellenerek enerji üretmek mümkün olacaktır.



Şekil 5: Türkiye'de düzenli depolamadan kaynaklanan CH₄ emisyonları [19].

Ülkemizde düzenli depolama alanlarından elde edilecek metan gazı miktarı yılda 100 milyon m³ mertebelerinde tahmin edilmektedir [20]. Bunun tahmini enerji eşdeğeri 24 milyon\$/yıl (= 100 milyon m³/yıl * 0,24 \$/m³) olarak hesaplanabilir [21]. Bunun yanısıra Ülkemizde sığır, koyun, tavuk ve diğer hayvanlar olarak yaklaşık 10 – 15 milyon büyük baş hayvan varlığı söz konusudur. Bu varlığın yaklaşık 10 milyonu için bölgesel biyogaz tesisleri kurulması durumunda yıllık 730.000.000 kg eşdeğeri LPG üretilir. Henüz AB için atık kapsamında değerlendirilmeyen tarımsal ürün atıkları ve atıksu arıtma çamurlarının da etkili şekilde değerlendirilmesi ile çok önemli oranda enerji eldesi ve SG emisyonu azaltımı gerçekleştirilebilir. Ankara atıksu arıtma tesisi bu alanda başarılı bir örnek olup, tesiste oluşan çamurların özümleyicide AB ile elde edilen CH₄ gazı tesis için gerekli enerjinin %92'sini karşılamaktadır.

SONUÇ

Küresel sorunların çözümü küresel işbirliğini gerektirmektedir. Küresel ısınmanın muhtemel sonuçlarının, giderek çevre alanındaki en temel sorunu

oluşturmaya başlaması karşısında, Birleşmiş Milletler düzeyinde pekçok toplantı ve sözleşme düzenlenmiştir. Bugünden geleceğe enerji sistemlerinde değişikliği gerektirecek yenilenebilir enerji, biyoenerji ve enerji tasarrufuna yönelik yeni hedefleri ortaya konulmaktadır. Bu çerçevede; Avrupa Birliği'nin 2020 yılına yönelik olarak enerji alanında; biyoyakıtların toplam yakıt tüketimindeki payının %10'a (daha önceki 2010 hedefi %5,75) ulaşması hedeflenmiştir. Organik atıklardan biyogaz eldesine yönelik enerji tesislerinin hızlı ve kolay kurulabilmesi ve ayrıca Ülkemizde enerji çeşitliliği sağlanması açısından önemlidir. Yenilenebilir temiz enerji ve kimyasal madde eldesine yönelik bu yeni biyoteknolojik yaklaşım aynı zamanda atık azaltımı, kirlilik önleme ve temiz üretim kavramları ile de uyum içerisindedir. Bu yaklaşım çerçevesinde organik atıklar sadece arıtılmaları/bertaraf edilmeleri bazında değil, buna ek olarak, enerji/ürün elde edilebilecek bir hammadde/kaynak olarak da değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Blasing, T.J. and Smith, K. (2006). Recent greenhouse gas concentrations, CDIAC, http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html.
2. Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, (2004). Biyogaz, Türkiye ve seçenekler. *V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 26-28 Mayıs 2004.
3. Ahn, Y.M., Park, J.R., Nam, K., Lee, J. J. and Kim, J. Y. (2002). Effects of environmental conditions on the biological methane oxidation in the final cover system of solid waste landfill. *Proceedings of the ISWA World Congress 2002*, V.2, 1011-1018, International Solid Waste Association, 8-12.7.2002.
4. Ghosh, S. (1985). Solid-phase methane fermentation of solid wastes. *Trans ASME*, 107, 402-405.
5. IPCC. (1992). The Supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, NewYork.
6. Safley, L.M., Casada, M.E., Woodbury, J.W., Roos, K.F. (1992). Global methane emission from livestock and poultry manure. *USEPA Report400/1-91/048*.
7. Chynoweth, D.P. Global warming: causes, effects, and mitigation.
8. Amon,Th., Boxberger, J. and Jeremic, U. (2001). Neue Entwicklungen Der Landwirtschaftlichen Biyogaserzeugung. In Österreich. in: *5.Internaionale Taugung Bau Technic Und Umwelt İnder Nutztierhaltung*, 145-146.
9. Öztürk. M. (2007). İklim Değişikliği Ve Kyoto Protokolü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

10. Klingler, B. (1999). Environmental aspects of biogas technology. German Biogas Association. <http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d7env.pdf>.
11. Anonim. Biogas in the society. *IEA Bioenergy*, Task 37.
12. Holm-nielsen, J.B. and Al seadi, T. (2006). Biogas in denmark, *IEA-Bioenergy*, Task 37, Germany.
13. Chynoweth, D., Owens, J.M. and Legrand, R. (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable Energy*, 22, 1- 8.
14. Amon, B., Kryvoruchko, V. ve Amon, T. (2006). Influence of different methods of covering slurry stores on greenhouse gas and ammonia emissions. *International Congress Series 1293*, 315 – 318.
15. Keller, J. and Hartley, K. (2003). Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor, 47(12), 43-48.
16. Barton, J.R., Issaias, I. and Stentiford, E.I. (2008). Carbon – Making The Right Choice For Waste Management In Developing Countries. *Waste Management*, 28, 690–698.
17. Greenfield, P.F. and Batstone, D.J. (2005). Anaerobic digestion impact of future greenhouse gases mitigation policies on methane generation and usage. *Water Sci. Technol.*, 52(1), 39-47.
18. Zeng, R.J., Lemaire, R., Yuan, Z. And Keller, J. (2003). Simultaneous nitrification, denitrification and P removal in a lab-scale sequencing batch reactor. *Biotechnol. Bioeng.*, 84(2), 170-178.
19. TUİK. (2006). Sera sera gazları emisyon envanteri çalışma grubu 2006, Taslak raporu.
20. Anonim. Gönüllü, T., ve Varınca, K. Çöp depo gazlarının atmosfer ısınmasındaki yeri.
21. Karabay, İ. ve Ekmekçi, İ. (2003) Türkiye’de üretilen metan gazı emisyonlarının analizi. *III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 19-21.03.2003.

