

KATI ATIK DEPO SAHALARINDA SIZINTI SUYU GERİ DEVRİNİN DEPO GAZI BİLEŞENLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bestamin ÖZKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34349, Beşiktaş/İSTANBUL

Makalenin Geliş Tarihi: 31.12.2004

ÖZET: Bu çalışmada katı atık test hücrelerinden oluşan sızıntı suyunun saha üzerine geri devrinin atıkların ayrışması ve depo gazı bileşenleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma için İstanbul Büyükşehir Belediyesi katı atık depo sahalarından birisi olan Odayeri Düzenli Depo Sahasının 2500 m²'lik alanında sızıntı suyu geri devirli (H2) ve geri devirsiz (H1) test hücreleri kurulmuştur. Sızıntı suyu geri devrinin atık stabilizasyonu üzerindeki etkisi 950 gün boyunca izlenmiş ve hücrelerden oluşan depo gazının CH₄, CO₂, O₂ ve H₂S bileşenleri tespit edilmiştir. Çalışmada depo gazının H₂S bileşeni 45. günde maksimum 50 ppm seviyelerine ulaşmış ve depo gazının bu bileşeni H1 ve H2 test hücrelerinde depolamadan itibaren sırasıyla 300 ve 400 gün sonra bitmiştir. CH₄ bileşeni H2 test hücresinde depolama tamamlandıktan 200 gün sonra kararlı bir şekilde oluşmaya başlamış ve bu süreç %50 civarlarında 920 gün boyunca sürmüştür. Depo gazının CO₂ bileşeni ise başlangıçta %70 seviyelerinde iken bu değer ilerleyen safhalarda %40-50 aralığında değişmiştir. Elde edilen sonuçlar, sızıntı suyu geri devri ile atıkların nem muhtevasının artmasına bağlı olarak H2 test hücresinde daha kararlı CH₄ oluşumunun gerçekleştiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Depo gazı, geri devir, hidrojen sülfür, karbondioksit, metan, oksijen

Investigation of Leachate Recirculation Effect on Landfill Gas Components

ABSTRACT: In this study, leachate recirculation effects are investigated on waste degradation and landfill gas component. Test cells with (H2) and without (H1) leachate recirculations were constructed for this study at Odayeri Sanitary Landfill and they were operated for 950 days to investigate the effect of leachate recirculation on waste stabilization. CH₄, CO₂, O₂ and H₂S components of landfill gas in the test cells were monitored. The highest value of H₂S component in landfill gas, which is an important operational parameter, was observed to be 50 ppm and it was consumed in 300 days and 400 days for H2 and H1, respectively. CH₄ concentration in landfill reached to 50% due to refuse placement on day 200, and its concentration remains almost constant till end of the operation. CO₂ component was around 70% for both of the cells at the beginning of operation, and it fluctuated between the values of 40-50%. The results obtained from the study showed that CH₄ production at H2 test cell is more stable than H1 with increasing the moisture content of leachate recirculation.

Key Words: Landfill gas, recirculation, hydrogen sulfide, carbon dioxide, methane, oxygen

GİRİŞ

Katı atık depo sahası, temel giriş maddelerinin katı atık ve yağmur suyu, başlıca çıkış elementlerinin ise depo gazı ve sızıntı suyu olduğu bir biyokimyasal reaktör olarak

düşünülebilir. Katı, sıvı ve gaz fazının bir arada bulunduğu bir çeşit reaktör olan depo sahalarında sıvı faz, çözünmüş veya askıda organik maddeleri ve katı fazdan gelen inorganik iyonları içerir. Gaz fazı ise genellikle karbon içeriklidir. Depo gazları, %40- 70 Metan,

%30-60 Karbondioksit, %0-3, Karbonmonoksit, %3-5 Azot, %0-3 Oksijen, %0-5 Hidrojen, %0-2 Hidrojen sülfür ve %0-1 İz bileşenleri ihtiva etmektedir (El-Fadel ve diğ., 1997).

Katı atık düzenli depo sahalarında ayrışma sırasında başlangıçta kısa süreli bir aerobik ayrışma fazı ve daha sonra daha uzun süren ve depo gazı oluşumu nedeniyle daha önemli olan anaerobik ayrışma fazı gerçekleşir. Katı atıklar depo sahalarında ilk depolandıkları anda ortamda O₂ mevcuttur. Bu durum, biyolojik olarak ayrışabilen maddelerin başlangıçta aerobik şartlar altında ayrışmasına neden olur. Atıkların aerobik ayrışması sonucu karbondioksit ve su oluşur. Atıklar depolandıktan sonra O₂'nin önemli ölçüde azalması anaerobik ayrışma fazının başladığını gösterir.

Depo sahalarında atıkların ayrışması beş safhada incelenebilir (Demir ve diğ., 2004; Pohland, 1980; Onay ve Pohland, 1998). Bu safhalarda, depo gazı bileşenlerinde değişim meydana gelmektedir. Depo sahalarında, oksijenin açık havadan difüzyonla, atıkların depolanması esnasında atık boşluklarından ve yağmur suyundan temin edildiği I. safha (Aerob safha) depo sahası içerisinde sınırlı miktardaki oksijen tükenene kadar sürmektedir. Bu safhada oluşan depo gazı CO₂ ve O₂ içeriklidir. Depo ortamındaki oksijen tükenip anaerobik safhanın ara ürünlerinin oluşmaya başladığı faz olan II. safha'da (Geçiş safhası) fermentasyon ve asit üreten bakterilerin faaliyeti sonucu uçucu yağ asiti, CO₂ ve H₂ üretimi gerçekleşir. Bu aşamada depo sahasında oluşan biyogazın başlıca bileşeni CO₂'dir, metan ve H₂'nin oranı daha düşüktür. Metan bakterilerinin yavaşça gelişmeye başladığı ikinci anaerobik safha olan III. safha'da (Asit oluşum safhası) biyogazın hidrojen ve karbondioksit bileşeni düşerken, metan bileşeni artış gösterir. Bu ilk üç safha 8-16 ay kadar bir sürede tamamlanır (Lisk, 1991). Stabil metan üretimi ile karakterize edilen IV. safha'da (Metan oluşum safhası) biyogazın hacimce % 50-65'i metandır. Metanojenik aktivite sebebiyle uçucu yağ asiti ve H₂ konsantrasyonu düşüktür. Uçucu yağ asitleri ve diğer organik maddeler bu safhada karbondioksit ve metana dönüştürülür. Substrat yokluğu sebebiyle bakteriyel bozunma hızının azaldığı V. safha'da (Olgunlaşma) depo

içerisinde sadece refrakter organik karbon kalmıştır. Metan üretimi azalır ve atmosferik azotun depo içerisine difüzyonu sonucu gazın N₂ bileşimi artmaya başlar.

Yapılan çalışmalarda, organik maddelerin metan ve karbondioksite dönüştürüldüğü anaerobik ayrışma proseslerinin birkaç safhadan oluştuğu belirlenmiştir (El-Fadel, ve diğ.,1997). Katı atık düzenli depo sahalarından oluşan depo gazlarının büyük bir kısmını metan ve karbondioksit oluştursa da, yapılan çalışmalarda gaz içerisinde 170 den fazla eser bileşenlerin olduğu belirlenmiştir (Gendebien, ve diğ., 1992).

Depo gazının temel bileşeni olan, metan (CH₄) renksiz ve kokusuz bir hidrokarbondur. Metan gazı, depo gazının hacimce ortalama % 55'ini oluşturur. Yoğunluğu, depo sahasındaki sıcaklık aralıklarında 0.6-0.7 kg/m³ arasında değişir. Bu değerler atmosferik havanın yoğunluğunun hemen hemen yarısına eşit olduğundan, CH₄ rahatlıkla depo sahası sınırları dışına çıkabilir. Gaz toplama sistemiyle tutulmayan CH₄'ın büyük bir kısmı atmosfere yayılır. Bir diğer temel bileşen olan karbon dioksit (CO₂), atmosferde %0.036 konsantrasyonunda mevcuttur. Depo sahalarındaki sıcaklıklarda yoğunluğu yaklaşık 1.8 kg/m³ civarındadır. Bu değer atmosferik havanın yoğunluğunun 1.5; CH₄'ın yoğunluğunun ise yaklaşık 2.8 katına eşittir. Bu sebeple, CO₂ depo sahasının alt kısımlarında hareket halindedir.

Bu çalışmada kurulan iki adet test hücresinden birine oluşan sızıntı suları geri devrettirilerek depo gazının CH₄, CO₂, O₂ ve H₂S bileşenleri her iki hücrede de 950 gün boyunca izlenmiştir.

DENEYSEL YAKLAŞIM

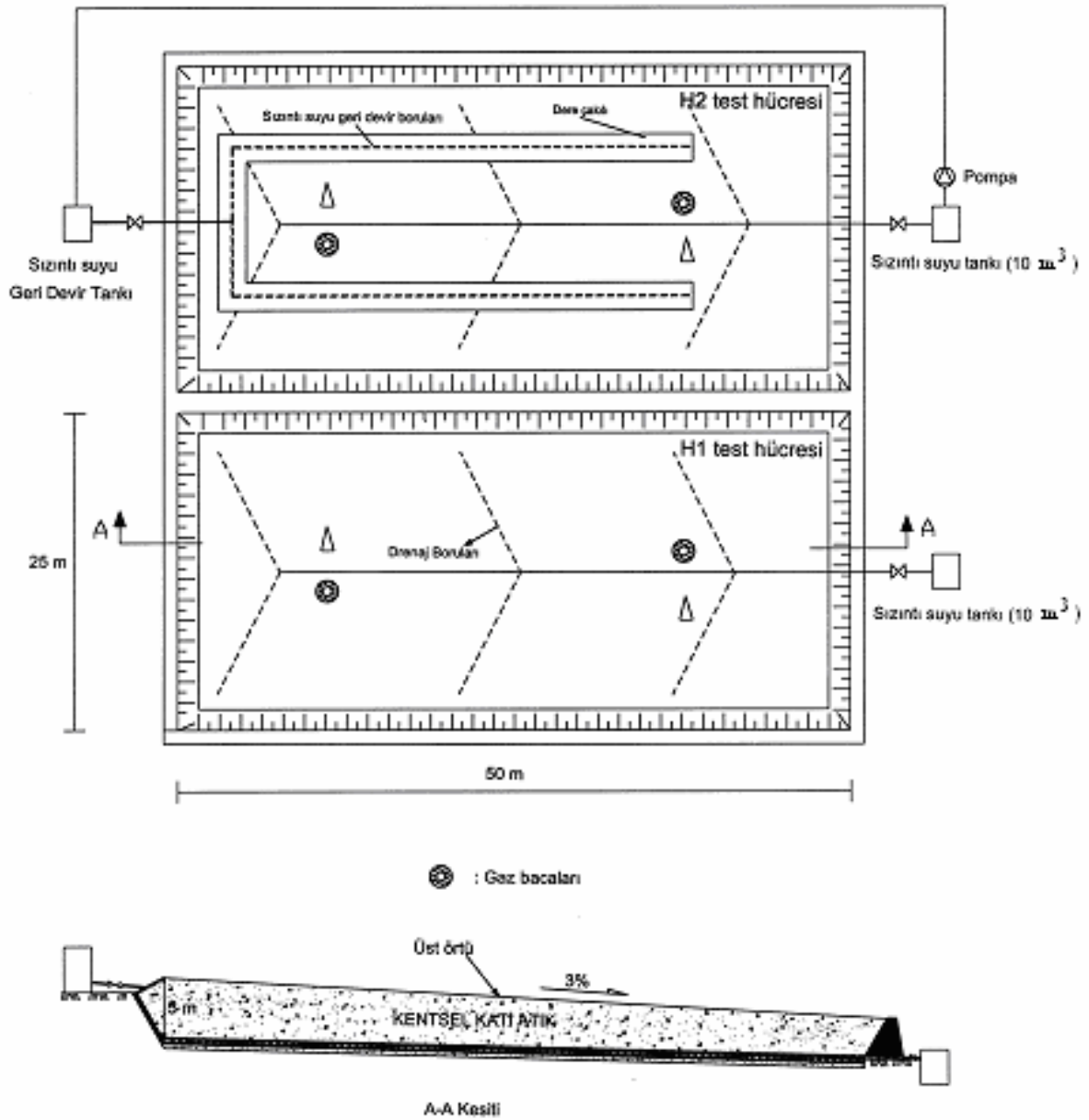
Test Hücreleri

Katı atık düzenli depo sahalarında sızıntı suyu geri devrinin etkilerinin atık stabilizasyonu üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, Odayeri katı atık depo sahası içerisinde 25×50×5 m boyutlarında 2 adet test hücresi teşkil edilmiştir. Hücreler düzenli depo sahalarının oluşturulmasında esas alınan teknik standartlara uygun hazırlanmıştır. Ayrıca oluşacak depo

gazının tahliyesi ve analizler için her hücrede ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet gaz bacası teşkil edilmiştir. Test hücrelerine ait detaylar verilmiştir Şekil 1’de verilmiştir (Özkaya, 2004).

Katı atık miktarı her bir hücre için yaklaşık olarak birbirine eşit olacak şekilde sızıntı suyu geri devirli (H2) ve geri devirsiz (H1) test hücrelerine sırasıyla 5400 ton ve 5350 ton olmak üzere toplam 10750 ton katı atık depolanmıştır. Hücrelerin üzeri 15 cm üst örtü toprağı ve 40 cm kil serilerek sıkıştırılmış ve kapatılmıştır.

Atıkların test hücrelerine depolama işlemi tamamlandıktan sonra H2 test hücreesindeki atığın yüzeyi kazılarak sızıntı suyu geri devri için drenaj borusu (Ø150 mm HDPE, Yüksek Yoğunluklu Polietilen) ve drenaj malzemesi (dere çakılı) yerleştirilmiştir. Geri devirli test hücrelerinden oluşan sızıntı suları 10 tonluk bir tankta biriktirilerek bir pompa yardımı ile hücrenin üst kısmında bulunan tanka alınmış (Şekil 1), buradan da belirli zamanlarda saha



Şekil 1. Test hücrelerinin yapı detayları.
Figure 1. Construction details of test cells.

üzerine geri devrettirilmiştir. Sızıntı suyunun test hücrelerinden birine geri devir işlemi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, üst örtü teşkil edilmeden önce ve sıkıştırma işleminden sonra oluşan sızıntı suyunun 30 m³lük kısmı atıkların ön ıslatılmasının sağlanması amacıyla katı atıkların üzerine verilmiştir. İkinci aşamaya yaklaşık 2 ay sonra başlanmıştır. Bu tarihten itibaren oluşan sızıntı suyunun tamamı 7 ay boyunca 1-1.5 m³/gün oranlarında (toplam 255 m³) H2 hücresine geri devrettirilmiştir. Atıkların test hücrelerine depolanmasından itibaren 16 ay sonra üçüncü aşamaya geçilmiş ve 9 ay boyunca toplam 100 m³ sızıntı suyu geri devrettirilmiştir. Bu üç aşama sonunda (25 ay süresince) oluşan sızıntı suyunun 385 m³'ü saha üzerine verilmiştir. Bu işlemle, atıkların en iyi şartlarda ayrışması için gereken nem muhtevasının arazi kapasitesi değerlerinde olması gerekmektedir. Böylece H2 hücresinde sızıntı suyu geri devri ile sağlanan yüksek su muhtevası, anaerobik ortamın gelişmesi, substrat ve nutrientlerin dağılımı ve alkalinite ilavesi gibi birçok avantajlar sağlamıştır.

Depo Gazlarının Analiz Yöntemi

H1 ve H2 test hücrelerinde bulunan gaz bacalarında gerçekleştirilen analizler depo sahalarında gaz emisyonlarının ölçümünde kullanılmak üzere Gas Data Limited tarafından imal edilmiş "Landfill Monitoring System Version 4.17" analiz cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Infrared CH₄ ve CO₂ dedektörlerine sahip olan cihaz, diğer gazlar ve sıcaklık ve basınç gibi diğer çevresel faktörlerin de belirlenebileceği şekilde tasarlanarak üretici firma tarafından kalibre edilmiştir (Gas Data Limited, 2000). Bu cihazla depo gazında CH₄, CO₂, O₂ ve H₂S değerleri belirlenmiştir.

DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER

Depo sahalarının tasarımı ve depolamada uygulanacak teknikler daha fazla gaz üretecek şekilde planlanmalıdır. Oluşan depo gazının içerisinde CH₄'ın tesbit edilmesi ve bu gazın

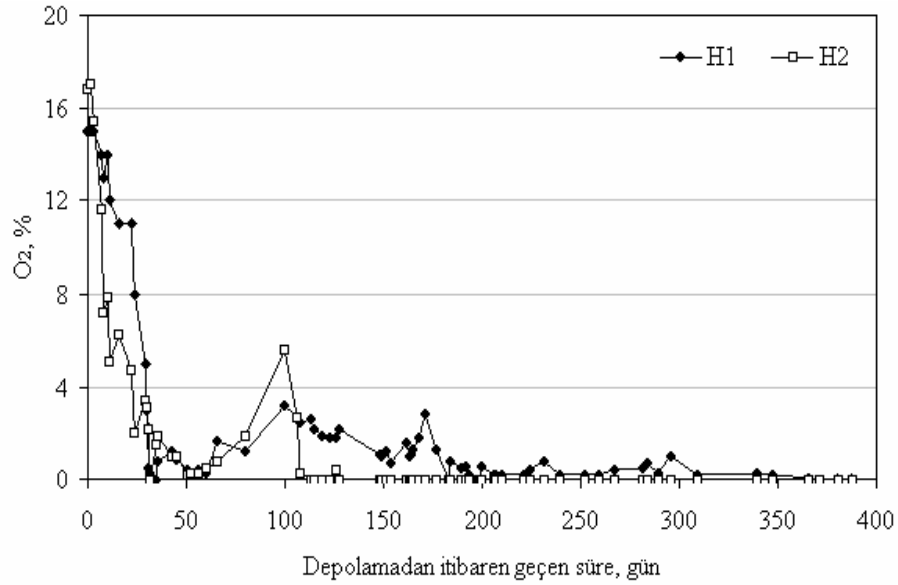
yüksek enerji kapasitesine sahip olması sebebiyle kontrol edilmesi ve optimum kullanımının sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Qin, ve diğ., 2001). Depo sahalarından oluşan gaz fazının bileşimi zamana bağlı olarak önemli değişiklikler gösterir ve atık içerisindeki organik maddelerin biyolojik ayrışması sırasında meydana gelen stabilizasyon proseslerinin bir fonksiyonudur. Biyolojik ayrışma safhasının karakteristik özellikleri CO₂ ve CH₄ oluşumudur. Başlangıçta, O₂ fraksiyonu aerobik mikroorganizmalar tarafından tamamen tüketilir ve CO₂ oluşmaya başlamasıyla birlikte azot (N₂) miktarı azalmaya başlar. Bunu takiben CH₄ miktarında artış görülmeye başlar. CH₄ ve CO₂ üretimini tarif eden iki parametre vardır. Bunlar oluşum potansiyeli ve oluşum hızıdır. Oluşum potansiyeli atığın biyolojik ayrışma için uygun olan organik kısmına bağlıdır. Gaz oluşum potansiyeli su muhtevası, yoğunluk, sıcaklık, pH vb. gibi çevresel faktörlerden oldukça fazla etkilenir (Nophararana, ve diğ., 1998). Gaz bileşiminde zamanla meydana gelen değişimler beş fazda sınıflandırılmıştır. Bunlar, aerobik safha, anaerobik metanojenik olmayan safha, anaerobik metanojenik kararsız safha, metanojenik kararlı safha ve aerobik şartlara geçiş fazı olarak sayılabilir (Gujer ve Zenhnder, 1983; Pohland ve Kim, 2000).

Sızıntı suyu geri devrinin atık stabilizasyonuna etkisinin incelendiği bu çalışmada depo gazının O₂, H₂S, CH₄ ve CO₂ bileşenleri izlenmiş ve geri devrin depo gazı bileşenleri üzerindeki etkileri tesbit edilmiştir. Bu gazların zamana bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 2-5'de verilmiştir.

Test hücrelerine atıkların depolanmasıyla birlikte atık boşluklarındaki oksijen tükenene kadar atıklar aerobik olarak ayrışmaktadırlar. Bu safhanın karakteristik özelliği atık depolandığı sırada atmosferden gelen O₂'nin varlığıdır. Oksijen ihtiyacı çok yüksek olduğundan, kısa süre sonra gaz fazındaki O₂ tamamen tükenir. Bu fazda, tüketilen O₂ ile orantılı miktarda CO₂ üretilir. Test hücrelerinde oluşan depo gazının O₂ bileşeni başlangıçta atıkların boşluklarında bulunan O₂ tükenene kadar %16 seviyelerinden başlayarak azalma kaydetmiş ve anaerobik ortamın oluşması ile birlikte tamamen tükenmiştir (Şekil 2).

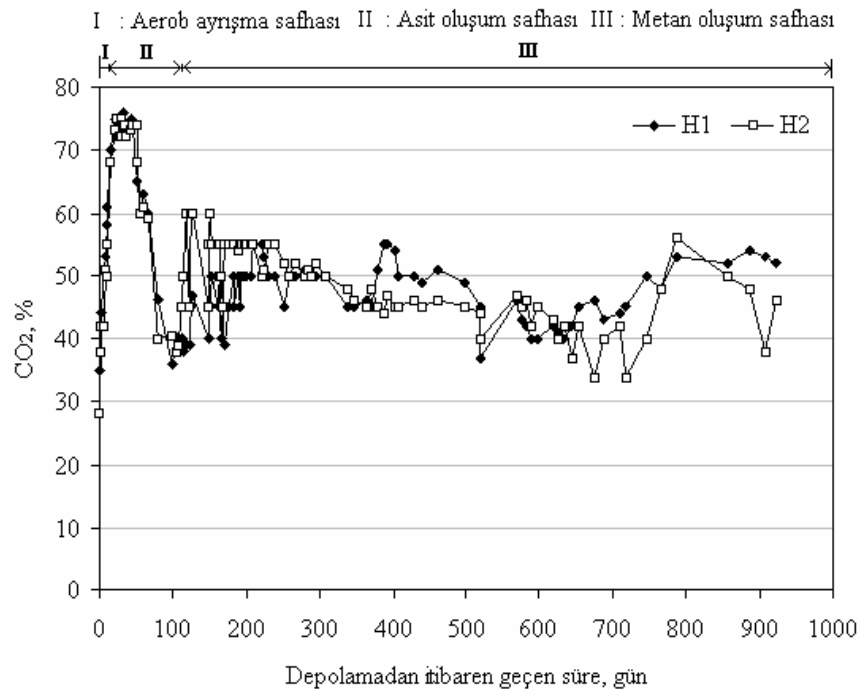
Depo gövdesindeki oksijenin tükenmeye başlamasıyla birlikte aerobik ortamdan anaerobik ortama geçişin başlangıcı görülür. Oksijenin tükenmesiyle birlikte, anaerobik faaliyetin baskın olduğu ikinci faz başlar. Organik asitlerin oluşmaya başlamasıyla daha belirgin miktarlarda CO₂ üretilmeye başlar ve anaerobik ayrışma safhası başlamış olur. CO₂'in ulaşabileceği maksimum değer hacimce % 70-90

arasında değişir. Bu değerlere atık depolandıktan 11-40 gün sonra ulaşılabilir (Özkaya, 2004). Test hücrelerinden oluşan depo gazının CO₂ bileşeninin değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Buradan, başlangıçta %70 seviyelerinde olan bu bileşenin ilerleyen safhalarda %40-50 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. Test hücrelerinden oluşan depo gazının O₂ bileşeninin değişimi.

Figure 2. Change of O₂ component of landfill gas from test cells.



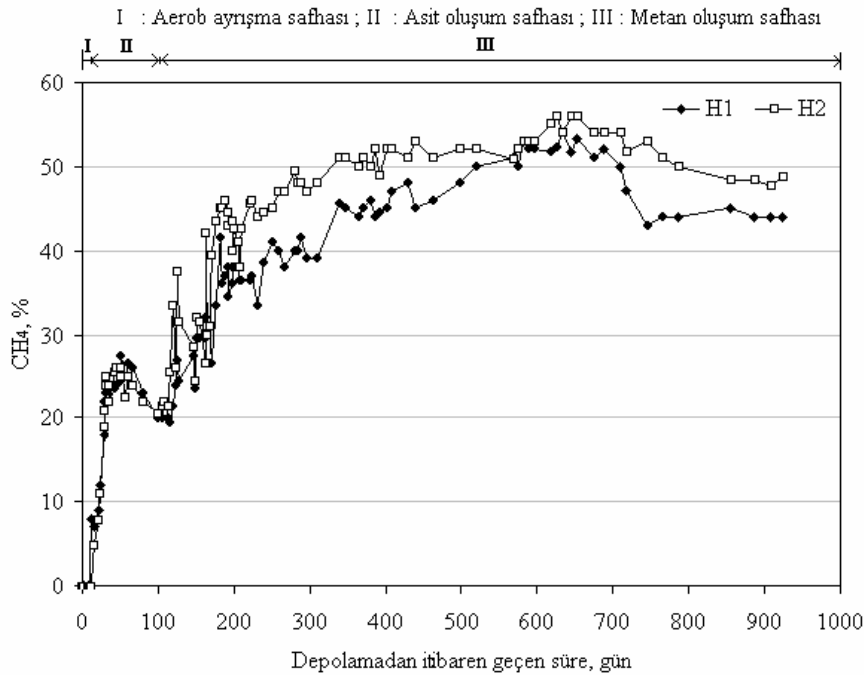
Şekil 3. Test hücrelerinden oluşan depo gazının CO₂ bileşeninin değişimi.

Figure 3. Change of CO₂ component of landfill gas from test cells.

Atıkların anaerobik olarak ayrışmaya başladığı safha olan metanojenik kararsız fazda CH_4 oluşur ve oluşan CH_4 miktarı zamanla artar. CO_2 bileşeninde azalma görülürken H_2 tamamen tükenir. Metanojenik kararlı fazda gaz üretimi ve bileşenleri hemen hemen sabit olup % 40-70 CH_4 ve % 30-60 CO_2 'den oluşur. En yüksek CH_4 konsantrasyonun görülmesi sebebiyle bu safha oldukça önemlidir. Yapılan saha çalışmalarında CH_4 'ın molar fraksiyonu %50'nin altında ise ve aynı zamanda gaz içerisinde H_2 de mevcut ise CH_4 üretiminin yavaş gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu fazda gaz bileşimi sabit olmakla birlikte, gaz oluşum hızı zamanla düşer. Ancak, yinede depo gazı basıncı atmosferik havanın atık kütlesi içerisine girmesini engelleyecek seviyelerdedir. Bu safha, gaz miktarının yavaş yavaş azalmasıyla ortalama 10-20 yılda tamamlanır (Gendebien, ve diğ., 1992). Şekil 4'de CH_4 bileşeninin atık ayrışma fazlarındaki değişimi görülmektedir. Test hücrelerinden oluşan gazın CH_4 bileşeni H_2 test hücresinde depolama tamamlandıktan 200 gün sonra kararlı bir şekilde oluşmaya başlamış ve bu süreç %50 civarlarında 920 güne boyunca sürmüştür. H_1 test hücresinde kararlı CH_4 oluşum safhası 400 gün sonra başlamış ve 700. günden sonra %45 seviyelerine inmiştir. Atıkların su muhtevası,

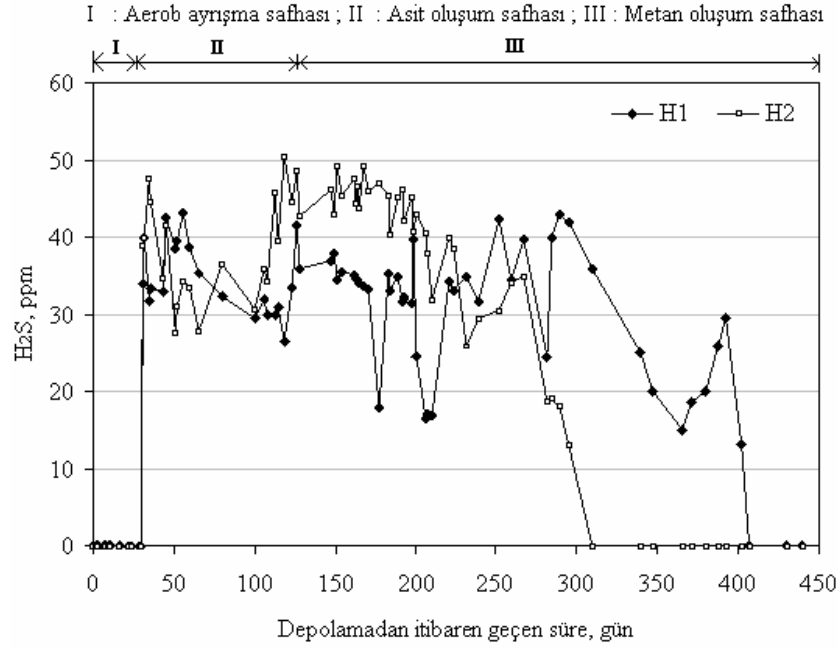
besi maddesi miktarıyla birlikte depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktördür. Katı atıklar depo sahalarına ilk depolandıklarında % 30-40 arasında nem muhtevasına sahiptirler. Suya doymun olmayan atıklardan daha çok H_2 üretilirken, suya doymun atıklar daha çok CH_4 ve CO_2 oluştururlar. Birim katı atık başına oluşan biyogaz üretimi ile nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır (Steyer ve diğ. 1999). Depo sahasında metan üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doymun olması gerekmektedir (Demir ve diğ., 2004). H_2 test hücresinde sızıntı suyu geri devriyle atıkların su muhtevasının artırılmasının CH_4 metan oluşumunu optimize ettiği ve daha kararlı CH_4 oluşumunun gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Depo gazının H_2S bileşeninin değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Depo ortamında başlangıçta O_2 mevcutken ve ortam yükseltgen şartlardayken sıvı fazdaki SO_4^{2-} konsantrasyonu yüksek, gaz fazdaki H_2S bileşeni ise düşük konsantrasyonlarda olmuştur. Ortamda indirgen şartların hakim olması ile birlikte test hücrelerinden oluşan gazın H_2S bileşeninde artma olmuş ve H_2 test hücresinde 100-250 günlük periyotlarda nispeten yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Bunun



Şekil 4. Test hücrelerinden oluşan depo gazının CH_4 bileşeninin değişimi.

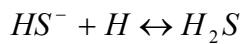
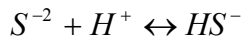
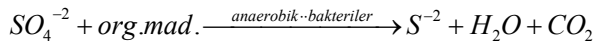
Figure 4. Change of CH_4 component of landfill gas from test cells.



Şekil 5. Test hücrelerinden oluşan depo gazının H₂S bileşeninin değişimi.

Figure 5. Change of H₂S component of landfill gas from test cells.

sebebi, ortamdaki SO₄²⁻'in H₂ test hücresinde anaerobik ortamın daha hızlı gerçekleşmesi ile birlikte hızlı bir şekilde H₂S'e dönüşmesidir. Bu safhada sızıntı suyunun pH'sı 5-6 civarlarında ve ortam anaerobik şartlarda olduğundan aşağıdaki reaksiyonlar gereği ortamdaki SO₄²⁻, H₂S'e dönüşmüştür.



SONUÇ

Katı atık depo sahalarındaki gaz oluşum hızı sahadan sahaya ve zamana göre değişiklik göstermektedir. Depo sahası işletim planında gazın kullanımı için gerekli dizayn yapılmadan önce, gaz hacmi ve hızının izlenmesi

gerekmektedir. Ayrıca bu gazlar, insanlar ve saha çevresinde potansiyel tehlike oluşturduğu için kontrol altına almak maksadıyla izleme çalışmalarının yapılması gereklidir (Price, ve diğ., 1998). Odayeri katı atık düzenli depo sahasında sızıntı suyunun saha üzerine geri devrinin depo gazı bileşiminin zamanla değişimi üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla teşkil edilmiş olan test hücrelerinde yapılan gaz ölçümlerine bağlı olarak ayrışma safhaları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, gerek CH₄ safhasına geçiş süresinde ve gerekse bu süre sonunda depo gazının CH₄ bileşeninde her iki hücre arasında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. H₂ hücresinde sızıntı suyu geri devriyle atık stabilizasyonunun hızlanmasına bağlı olarak kararlı bir CH₄ oluşumu izlenmiştir. Bu çalışma ile sızıntı suyu geri devrinin metan oluşumunu optimize ettiği ve buna bağlı olarak depo sahalarındaki stabilizasyonu hızlandırdığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Demir, A., Bilgili, M.S., Ozkaya, B., 2004, Effect of leachate recirculation on refuse decomposition rates at landfill site: A case study, *Int. J. Environ. Pollut.*, **21**, 2: 175-187.
- Demir, A., Ozkaya, B., Bilgili, M.S., 2003, Effect of leachate recirculation on methane production and storage capacity in landfill, *Fresen. Environ. Bull.*, **12**, 1: 29-38.
- El-Fadel, M., Findikakis, A.N., Leckie, J.O., 1997, Environmental impacts of solid waste landfilling, *J. Environ. Manage.*, **50**: 1-25.
- Gas Data Limited, LMSxi User Manual, Revision A, 14 December 2000.
- Gendebien, A., Pauwels, M., Constant, M., Damanet, M.J., Nyns, E.J., Willumsen, H.C., Butson, J., Fabry, R. and Ferrero, G.L., 1992, Landfill Gas: From Environment to Energy, Commission of the European Communities, Final Report, Luxemburg.
- Gujer, W., Zehnder, A.J.B., 1983, Conversion processes in anaerobic digestion, *Water Sci. Technol.*, **15**, 8-9: 127-167.
- Lisk, D.J., 1991, Environmental Effects of Landfills, *Sci. Total Environ.*, **100**: 415-468.
- Nopharatana, A., Clarke, W.P., Pullammanappallil, P.C., Silvey, P., Chynoweth, D.P., 1998, Evaluation of methanogenic activities during anaerobic digestion of municipal solid waste, *Bioresource Technol.*, **64**: 169-174.
- Onay, T. T., Pohland F.G., 1998, In-situ nitrogen management in controlled bioreactor landfills, *Water Res.*, **32**, 5: 1383-1392.
- Özkaya, 2004, Katı Atık Depo Sahalarında Sızıntı Suyu Geri Devrinin Atıkların Ayrışması ve Sızıntı Suyu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Pohland, F.G., 1980, Leachate recycle as landfill management option, *J. Environ. Eng.-ASCE*, 106-EE6: 1057-1069.
- Pohland, F.G., Kim, J.C., 2000, Microbially mediated attenuation potential of landfill bioreactor systems, *Water Sci. Technol.*, **41**, 3: 247-254.
- Price, T.J., Probert, S.D., Manley, B.J.W., 1998, Improving the reliability of LFG-generation assessment tests, *Appl. Energ.*, **60**: 41-63.
- Qin, W., Egolfopoulos, F.N., Tsotsis, T.T., 2001, Fundamental and environmental aspects of landfill gas utilization for power generation, *Chem. Eng. J.*, **82**: 157-172.
- Steyer, E., Hiligsmann, S., Radu, J.P., Charlier, R., Destain, J., Drion, R. and Thonart, P., 1999, A biological pluridisciplinary model to predict municipal landfill life, *Proc. Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium*, 4-8 October, Cagliari, Italy.