

# Evsel Katı Atık Sahalarında Depo Gazı (LFG) Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

## Alpaslan Kiriş, Fatih Saltabaş

İSTAÇ A.Ş., Piyalepaşa Bulvarı No.74, Şişli,34379,İstanbul.

---

### Özet

Katı atık düzenli depolama sahalarında depolanan atıkların, zamanla içeriğindeki oksijeni tüketerek, bu ortamda üreyen anaerobik bakteriler yardımı ile oksijensiz (anaerobik) çürümesi sonucu oluşan gazı depo gazı (LFG) denir. Gazın oluşumu katı atık içerisindeki organik atık miktarı ile orantılı olarak değişebilir. Depo gazı içeriğinde metan (%50-60), karbon dioksit (%35-40) ve azot gibi bileşenleri (%3-10) ihtiva eder. Bu gazın kompozisyonunda ayrıca iz (trace) miktarda oksijen, çeşitli organik kükürt bileşenleri, amonyak ve su bulunur.

Düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazı, sahadan uygun tekniklerle toplanıp değerlendirilmezse, patlayıcı ve yanıcı-parlayıcı özelliğinden dolayı insan ve çevre sağlığı açısından büyük risk taşır. Bu riskin ortadan kaldırılması için depolama sahalarında oluşan gaz uygun tekniklerle toplanıp flareler (gaz yakma bacası) vasıtası ile yakılabilir. Fakat aynı zamanda büyük bir enerji değeri olan bu gaz, artırılarak doğal gaz olarak, ya da gazın direkt motorlarda kullanılması sureti ile enerji üreterek de değerlendirilebilir. Ayrıca CO<sub>2</sub>'den 21 kat daha fazla sera gazı etkisine sahip olan CH<sub>4</sub> gazı bertaraf edildiğinden, emisyon azaltımına büyük katkılar sağlanır.

Bu çerçevede İstanbul'un Avrupa yakasındaki (Odayeri - EYÜP) ve Asya yakasındaki (Kömürcüoda - ŞİLE) düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi maksadı ile 'Depo Gazından Enerji' projeleri başlatılmıştır. Odayeri düzenli depolama sahasında yaklaşık 32 000 000 ton katı atık depolanmıştır. Bu depolama sahası için ilk etapta yaklaşık 25 MW Kurulu kapasite öngörülmüştür. Kömürcüoda düzenli depolama sahasında yaklaşık 15 000 000 ton katı atık bertaraf edilmiş, bu depolama sahası için ise ilk etapta yaklaşık 10 MW kurulu kapasite öngörülmüştür. Kurulu kapasiteler çerçevesinde her iki depolama sahasındaki tesislerin altyapı ve inşaat çalışmaları tamamlanarak elektrik enerjisi üretimine başlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Depo Gazı, Metan, Düzenli Depolama, Elektrik Üretimi

## Extraction and Assessment of Landfill Gas from Sanitary Landfill Sites

### Abstract

Landfill gas is an end-product of the decomposition of biodegradable wastes in a landfill site. Landfill gas production depends on the waste in place and it changes proportionally by the amount of organic fraction within the waste. Landfill gas (LFG) consists of methane (50-60 %), carbon dioxide (35-40%), nitrogen (3-10%). Additionally, some trace elements such as oxygen, sulphur, ammoniac and water.

---

*Landfill gas could pose safety and health concerns to human species and environment because of the flammable and explosive characteristic if not adequate landfill gas management system is carried out in the landfill site. In order to eliminate of such a risk, the landfill gas might be collected from the site with suitable techniques and destroyed in the flare(s). It can also be destroyed in the gas engines to generate electricity and heat or can be purified in order to use as a natural gas. Furthermore, the global warming potential of methane is 21 times more than CO<sub>2</sub>.*

*In this framework, two Landfill Gas to Energy projects have been initiated in the landfill sites both European and Asian Side of Istanbul. 32.000.000 tons of waste in place in Odayeri Landfill Site and the electrical capacity of LFG facility would be 25 MW for the first stage. Similarly, 15.000.000 ton of waste in place in Kömürcüoda Landfill Site and the electrical capacity of LFG facility would be 10 MW for the first stage. Both landfill gas to energy project's infrastructure have been done and started to generate electricity.*

**Keywords:** Landfill Gas, Methane, Sanitary Landfill, Electricity Generation

## 1. Giriş

Katı atık depo gazı, depolanan atığın içindeki oksijenin tamamı, aerobik organizmalarca yok edildikten sonra, biyolojik kütlenin anaerobik ayrışmaya maruz kalmasıyla oluşan bir üründür. Anaerobik bakteriler, metabolik bir ürün olan ve hacminin yarısından çoğunu metan gazının ve geri kalanını karbondioksitin oluşturduğu bir gaz karışımı üretirler. Bu bakteriler selülozlu maddeler gibi atığın içindeki (yiyecek atığı vs.) diğer organik maddeleri de çürütebilirler.[1]

Katı atık depolama sahalarında depo gazı yönetiminin amacı; öncelikli olarak depo alanında oluşan gazın çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin önüne geçmektir. Böylece patlayıcı ve parlayıcı özelliği olan depo gazının kontrol altına alınması sağlanır. Bu amaçla toplanan depo gazı, enerji geri kazanımında ve arıtılarak doğal gaz geri kazanımında kullanılabilir. Bu şekilde sera gazı emisyonlarının azaltımı sağlanır. Depo gazı elde etme sistemi, depo alanı üst örtüsünün altında yer alan bir entegre gaz toplama sisteminden oluşur.

## 2. Gaz Oluşumu

Depolama sahalarında depolanmış olan büyük miktardaki organik atıkların havasız ortamda çürümesi sonucunda depo gazı oluşmaktadır. Depo gazı genellikle metan (%50-60), karbondioksit (%35-40) ve azot gibi bileşenlerden (%3-10) oluşur. Bu gazın kompozisyonunda ayrıca iz (trace) miktarda oksijen, çeşitli organik kükürt bileşenleri, amonyak ve su bulunur.

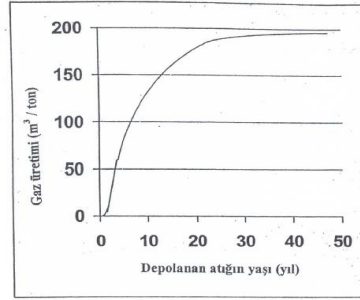
Gaz oluşumu ile ilgili değerlendirmeler, kullanılabilir depo gazı üretiminin, depo alanının fiilen işletildiği dönem süresince ve buna ilaveten 10-20 yıl boyunca gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Gerçek üretim ömrü, kullanılacak depo gazı elde etme sisteminin verimine ve işletme parametrelerine bağlı olacaktır.

Depolama gazının kalitesi ve depolama gazının oluşum hızı aşağıdaki koşullara göre değişiklik göstermektedir:

- Atığın kompozisyonu (karbon konsantrasyonu, besin içeriği (nutrient), bozuşma reaksiyonlarını engelleyici bileşenlerin (inhibitör) varlığı, nem oranı vs.)

- Atıkların geçtiği ön işleme derecesi (atık azaltma, geri dönüştürme, kompostlaştırma, balyalama)
- Sıkıştırmanın türü ve derecesi (şiddeti)
- Depolama sahasının işletilme yöntemi
- Örtü tabakasının türü ve kalınlığı
- Atığın miktarı
- Depolama alanının geometrisi ve hidrojeolojik özellikleri
- İklim (sıcaklık derecesi, yağmur, buharlaşma)

Bertaraf edilen (tipik) evsel atığın her bir tonu, depolama sahasının ömrü boyunca yaklaşık olarak 200 m<sup>3</sup> depolama gazı oluşturmaktadır. Depolama gazının % 60'ı atık depolandıktan sonra 10 sene içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15-20 yıl içinde %90 seviyesine çıkmaktadır.



Şekil 1 Evsel Atık için Toplama Sistemli Gaz Üretimi Modeli

Depolama gazı oluşumu küçük ve sığ depolama sahaslarında da düşük seviyelerde olmaktadır. Bunun nedeni bu tür depolama sahaslarının ilk kullanım yıllarında oluşan oksijenli (aerobik) ortamların uzun süre yok olmamasıdır. Depolama sahaslarında oluşacak gaz miktarlarını belirlemek amacıyla kullanılan bazı teorik metotlar aşağıda sıralanmıştır.[1]

- Özgül gaz yöntemi
- Tabasaran modeli
- Scholl Canyon modeli
- SCS mühendislik modeli

### 3. Depolama Gazının Toplanması, Çıkarılması Ve Kullanılması

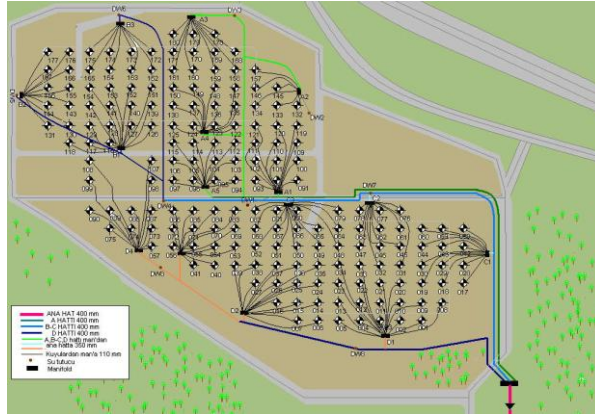
Katı atık depolama alanlarında kurulacak gaz yönetim sistemi temelde aktif ve pasif gaz toplama sistemi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

Pasif sistemlerde, depolama sahasında üretilen gazın basıncı, gaz hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır. Bu durumda, harici bir emme ünitesi kurmadan gaz, pasif bir şekilde depo sahasından alınıp bertaraf edilebilir veya enerji üretimi amacıyla kullanılabilir. Aktif sistemlerde ise, depo gazının yanal hareketi, saha çevresinde gaz çekme kuyuları kullanarak ve bu kuyulara doğru bir basınç gradyanı yaratacak kısmi vakumun oluşturulması ile kontrol edilmektedir.[2] Bu vakum, blower adı verilen üniteler ile yapılabilmektedir. Bu hususta dikkat edilmesi gereken nokta emişin aşırı hızda yapılmaması ve böylelikle depolama sahasına hava girişinin engellenmesidir.

Depolama sahalarından gaz çekilmesinde hem düşey hem de yatay gaz kuyuları kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise her iki tip de kullanılmaktadır.[2]

Çöp Sahası içerisinde yerleştirilecek düşey veya yatay borular, sahadan gazın emilmesine olanak sağlayacak şekilde delikli boru olmalıdır. Toplama boruları genellikle, 5-12 cm arasında değişen delikli HDPE borulardan oluşur. Düşey gaz toplama sistemi, 50-70 metre aralıklarla yerleştirilmiş düşey gaz kuyularından oluşur. Söz konusu kuyular, depolama sahası üzerinde 80-120 cm çaplı kuyu kazan sondaj makineleri vasıtasıyla inşa edilir. Kuyuların derinliği depolama alanının toplam derinliğinin % 50 ila %90 mertebesinde olmalıdır. Gazın toplanabilmesi için 10-20 cm çaplı borular, açılan sondaj kuyularına yerleştirilmelidir. Bu boruların üstte kalan 4-5 metresi deliksiz kalanı ise gaz toplamak için delikli olmalıdır. Boru bağlantılarının ileride depolama alanında olacak çökmelerden zarar görmemesi için esnek şekilde inşa edilmeleri gerekmektedir. Delikli boruların deliksiz borularla birleştiği nokta kum/bentonit karışımı bir malzemeye (en az 0,5 m) tıkanmalıdır. Bu işlem depolama sahasının üzerinden gelen havanın atık kütlesi içine girmesini engellemek veya toplanan depo gazı ile karışmasını engellemek amacıyla yapılmalıdır. Delikli boruların etrafındaki boşluklar çakıl ile deliksiz boruların etrafındaki boşluklar ise kum ile doldurulmalıdır.

Düşey boruların birbirine olan uzaklığı yukarıda da belirtildiği gibi 50 - 70 metre arasında olup bu değer düzenli depolama alanlarında sık olarak kullanılan mesafelerdir. Bu mesafeler (kuyu aralıkları) daha fazla olursa gaz toplama işlemi etkin olmaz. Daha kısa tutulursa teknik açıdan emiş sırasında kuyu etkileşimleri olacak ayrıca kuyu miktarı artacak ve sonuç olarak daha yüksek işletme giderleri ile karşılaşılacaktır.



Şekil 2 Gaz Toplama Sistemi Şeması

Gaz toplama sisteminde toplanan gaz daha sonra deliksiz yatay borular vasıtasıyla manifold adı verilen toplama ünitelerine, oradan da daha büyük borular vasıtasıyla gazın yakılacağı yakma bacalarına (Flare) veya enerji üretimi maksatlı kullanılacağı tesise taşınır. Taşıma boruları depo gazı içindeki nemin yoğunlaşmasından (kondense) tıkanırsa boru içindeki gaz hareket edemez hale gelir. Yoğunlaşma sonrası ortaya çıkan suları tasfiye etmek için en alçak noktada bir drenaj sisteminin yapılması gerekmektedir.

Düzenli depolama alanlarında oluşan depo gazının miktarı, bu gazı yakıt olarak kullanabilecek ve bundan da ısı ve elektrik enerjisi üretebilecek düzeyde olabilmesi için aşağıdaki hususların vuku bulması gerekir:

- Gaz için uygun bir kullanım alanı belirlenmelidir.
- Depolama alanı en azından 10 metre derinliğinde organik madde içermelidir.
- Hazırda büyük bir miktar (en azından 0.5 milyon ton) atığın olması gerekmektedir.
- Atık eski olmamalıdır (en iyi durum 2-10 yıl)
- Depolama sahası su ile doymuş olmamalıdır. [1]

#### **4. Depo Gazının Oluşturduğu Çevre ve Güvenlik Problemleri**

Depo gazının oluşumu ve eldesi sırasında çeşitli çevresel ve güvenlik problemleri oluşabilmektedir. Bunlardan bazıları:

- Sera gazı emisyonlarına olumsuz katkı,
- Patlama ve yangın tehlikesi dolayısıyla insan sağlığı için tehlike,
- Depolama sahasının üzerinde ve yakınındaki tarım ürünleri ve diğer bitkilere olumsuz etkiler,
- Kötü koku emisyonu.

Eğer depolama alanı kum, çakıl veya kırık taşlardan oluşan orta-yüksek geçirgenliğe sahip bir katman üzerine inşa edildiyse, gaz yere paralel bir şekilde depolama sahası sınırlarının bir hayli dışına yayılabilir. Bu yüzden, depo gazından dolayı oluşan problemler sadece saha içinde kalmamakta, saha sınırlarının ötesinde de meydana gelebilmektedir.[1]

Depo gazı yüksek oranlarda metan içerdiğinden, sera gazı emisyonlarını artırıcı etkide bulunmaktadır. Metan gazının sera etkisi karbondioksitten 21 kat daha fazladır. Depo gazının toplanması ve yakılması, metanı karbondioksit'e çevirerek bu gazın olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Depo gazının toplanıp kullanılması halinde fosil yakıtların kullanımını azalmış olacağından doğal kaynak tüketimi azaltılmış olacaktır.

Depo gazı içeriğindeki metan, düşük konsantrasyonlarda olduğu sürece kokusu dışında olumsuz bir etki göstermemektedir. Daha yüksek metan konsantrasyonlarında (hacimce % 5-15) patlama tehlikesi mevcuttur. Hacimce % 15'in üzerindeki konsantrasyonlarda ise metan gazı yanar ve dolayısıyla yangın tehlikesi oluşturur. Bu nedenle, bu tür tehlikelere maruz yerleşim yerlerindeki kapalı alanlar (özellikle bodrum gibi yer altında bulunan mekanlar) mutlaka iyi bir havalandırmaya sahip olmalıdır.[1]

#### **5. İstanbul Uygulamaları**

Düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazı, sahadan uygun tekniklerle toplanıp değerlendirilmezse, patlayıcı ve yanıcı-parlayıcı özelliğinden dolayı insan ve çevre sağlığı açısından büyük risk taşır. Bu riskin ortadan kaldırılması için depolama sahalarında oluşan gaz uygun tekniklerle toplanıp flareler (gaz yakma bacası) vasıtası ile yakılabilir. Fakat aynı zamanda büyük bir enerji değeri olan bu gaz, arıtılarak doğal gaz olarak, ya da gazın direkt motorlarda kullanılması sureti ile enerji üreterek de değerlendirilebilir. Ayrıca CO<sub>2</sub>'den 21 kat daha fazla sera gazı

etkisine sahip olan CH<sub>4</sub> (metan) gazı bertaraf edildiğinden, emisyon azaltımına büyük katkılar sağlanır.

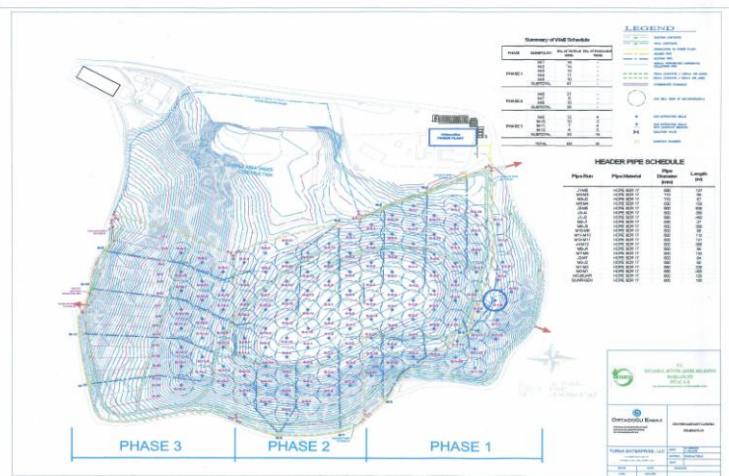
Bu çerçevede İstanbul'un Avrupa yakasındaki (Odayeri – EYÜP) ve Asya yakasındaki (Kömürcüoda – ŞİLE) düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi maksadı ile 'Depo Gazından Enerji' projeleri başlatılmıştır. Odayeri ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahalarında 2005 Yılında pompaj testi ve gaz tahmin modeli ile depo gazı üretim miktarı ve enerji üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Gaz tahmin modeli olarak EPA'nın formülü kullanılmıştır.



Şekil 3 Gaz Pompaj Testi Çalışmaları

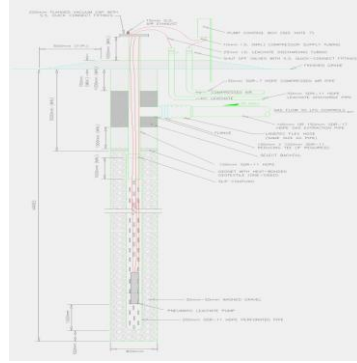
Bu çalışmalar sonunda; Odayeri Düzenli Depolama Sahası için maksimum kurulu gücün 25 ila 30 MW arasında olacağı hesaplanmıştır. Böylece, 2007–2030 yılları arasında yaklaşık 2.203 GWh elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Aynı şekilde Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası için maksimum kurulu güç 10 ila 15 MW arasında olacağı hesaplanmış ve 2007–2030 yılları arasında yaklaşık 1.136 GWh elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Her iki sahanın toplam kurulu gücünün 35 ila 45 MW aralığında olacağı ve yaklaşık 3.339 GWh elektrik enerjisi üretileceği hedefi ortaya konmuştur. Bu rakam yaklaşık 200.000 haneli bir şehrin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. Ayrıca yapılan gaz ölçüm sonuçlarına göre her iki sahadaki metan oranı yaklaşık %50 ila %60 arasında ölçülmüştür.[3]

Elde edilen bu sonuçlar ve ortaya konan enerji üretim projeksiyonu çerçevesinde, Yap-İşlet Modeli ile 2007 yılında ihaleye çıkmış ve imalata başlanmıştır. Bu kapsamda Odayeri ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahaları için gerekli proje çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 4 Odayeri Gaz Toplama ve Taşıma Projesi Kuyu Yerleşim Planı

Proje çerçevesinde Odayeri Düzenli Depolama Sahasında derinliği 15 ila 45 metre arasında değişen 133 adet düşey gaz toplama kuyusundan 125 adedi açılmıştır. 16 adet ise yatay gaz toplama bacası inşa edilecektir. Kuyulardan emilen gazlar, toplam 15 adet manifoldda toplanarak tesisin Gaz Arıtma ve Soğutma bölümüne gelmektedir. Kömürçüoda Düzenli Depolama Sahasında ise toplam 111 adet düşey gaz toplama kuyusundan 108 adedi açılmış ve toplamda 14 adet manifold imal edilmiştir. Depolama sahasında mevcut olan sızıntı suları, sızıntı sularının fazla olduğu düşey kuyulara yerleştirilecek özel pompalar vasıtası ile çekilerek, sızıntı suyu arıtma tesisine nakledilmektedir. Bu kuyulara ait kesit ve örnek bir düşey gaz kuyusu resmi aşağıda verilmektedir.



Şekil 5 Düşey Kuyu Kesiti ve Örnek Resim

Sahadan blowerlar ile emilen gaz, ana toplama borularıyla tesisin gaz arıtma ve soğutma bölümüne gelmektedir. Bu bölümde gaz, içerisindeki partikülden ve nemden arındırılmaktadır. Gaz sıcaklığı 45 OC üzerine çıkarsa, soğutma işlemi yapılmakta ve motor için gerekli şartlar sağlandıktan sonra sahadan emilen gaz enerji üretmek amacıyla gaz motorlarına verilmektedir.

Tesiste, her biri 1,44 MW kapasiteli gaz motor ve jeneratör setleri kullanılmaktadır. Gaz motorları 20 silindirli olup 4 zamanlı motor prensibiyle çalışmakta ve gaz motorlarına akuple bağlı jeneratörün uçlarından 400 V elektrik enerjisi elde edilmektedir. Jeneratörün uçlarından alınan 400 V elektrik enerjisi trafolarla 34.5 KV orta gerilim seviyesine yükseltilerek enterkonnekte sisteme verilmektedir. Gaz motorları bina tipi tercih edilmiş olup buna uygun bir santral binası inşa edilmiştir. Kojenerasyon üniteleri ile elektrik enerjisinin yanında ısı enerjisi de üretilebilecek ve bu ısı daha sonra farklı projeler için kullanılabilir.

Enerji üretimi için gerekli miktarın üzerinde ve gaz motorlarının bakımı veya arızası durumunda çekilecek olan gaz 2000 m<sup>3</sup>/saatlik üç adet flare (yakma bacası) ile yakılarak bertaraf edilecektir. Böylece tesisin çalışmaması durumlarında dahi emisyon azaltımına katkıda bulunulabilecektir.

Bu projeler elektrik satışlarına ek olarak karbon emisyonu azaltımı geliri sağlamaktadır. Proje kapsamında kurulan sistemler, küresel ısınmaya karbon dioksitten 21 defa daha zararlı olan metan gazını yakarak CO<sub>2</sub> çevirdiği için, uluslararası gönüllü karbon pazarlarında satılabilecek "karbon kredisi" üretmektedir. Yakma işlemi elektrik üretimi yoluyla yapıldığı için de bu projenin günümüzde en prestijli karbon kredisi

---

akreditasyon kurumu olan Gold Standard Vakfı tarafından onaylama çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin 22 yıllık ömrü içinde, yılda ortalama 1.2 milyon ton karbon dioksit karşılığı emisyon azaltımı kredisi sağlaması beklenmektedir. Bu miktar yaklaşık olarak 600.000 aracın trafikte yaydığı karbon emisyonuna tekabül etmektedir.



Şekil 6. İstanbul Odayeri Enerji Üretim Tesisi

## 6. Sonuç

Katı atık düzenli depolama sahalarında havasız ortamda oluşan çöp gazının, yakılarak veya enerji üretimi amacıyla kullanılarak her türlü bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bunun için de çöp sahalarında aktif bir depo gazı yönetiminin oluşturulması önemlidir. Depo gazının insan sağlığı ve çevre üzerine olan olumsuz etkilerinin yok edilmesi veya azaltılmasına yönelik her türlü çalışma bu yönetimin kapsamı içerisine girmektedir. İstanbul ilindeki düzenli depolama sahalarındaki çalışmalarda görüldüğü üzere, depo gazının çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerin giderilmesinin yanında oluşan bu gazın değerlendirilmesi suretiyle ekonomik bir değer haline getirilmesi de mümkündür. Tüm bu şartlar altında ve İstanbul örneği özelinde depo gazı yönetiminin ne kadar önemli ve gerekli olduğu ortaya çıkmıştır.

## Kaynaklar

- 
- [1]. Yıldız, Ş., “Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu ve Depo Gazının Yönetimi” 22-24 Mayıs 2006 Katı Atıkların Düzenli Depolanması ve Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonu Eğitimi, İstanbul
- [2]. Saltabaş, F., “Biyogaz Esaslı Kojenerasyon Santralleri” Yüksek Lisans Tezi, (2004)
- [3]. İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sahası Pompaj Testi (Pumping Trial) Sonuçları, (2005)