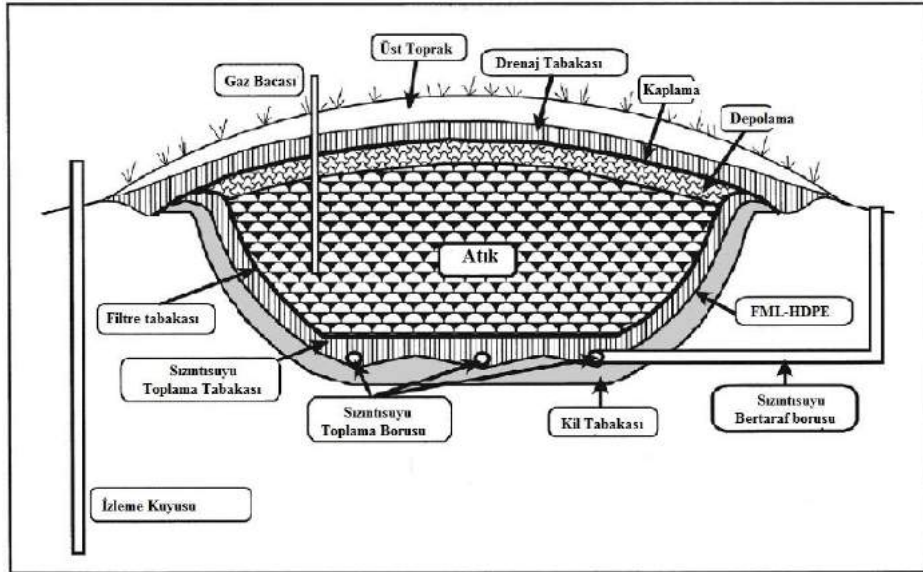


# KATI ATIK DEPOLAMA ALANINDA DEPO GAZI OLUŞUMU



**Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK**  
Müsteşar  
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

**ANKARA-2018**

# İÇİNDEKİLER

<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>3</b>
<b>2. DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZI OLUŞUMU</b> .....	<b>6</b>
2.1. <b>Aerobik Safha</b> .....	<b>7</b>
2.2. <b>Anaerobik Metanojenik Olmayan Safha</b> .....	<b>7</b>
2.3. <b>Anaerobik Metanojenik Kararsız Safha</b> .....	<b>7</b>
2.4. <b>Metanojenik Kararlı Safha</b> .....	<b>8</b>
2.5. <b>Aerobik Şartlara Geçiş Safhası</b> .....	<b>8</b>
<b>3. DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER</b> .....	<b>9</b>
3.1. <b>Oksijen</b> .....	<b>9</b>
3.2. <b>Hidrojen (H<sub>2</sub>)</b> .....	<b>10</b>
3.3. <b>pH ve Alkalinite</b> .....	<b>11</b>
3.4. <b>Sülfat</b> .....	<b>11</b>
3.5. <b>Besi Maddeleri (Nütrientler)</b> .....	<b>12</b>
3.6. <b>İnhibitörler</b> .....	<b>13</b>
3.7. <b>Sıcaklık</b> .....	<b>14</b>
3.8. <b>Nem/Su Muhtevası</b> .....	<b>15</b>
3.9. <b>Dane Boyutu</b> .....	<b>17</b>
<b>4. DEPO GAZI BİLEŞENLERİ VE ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>18</b>
4.1. <b>20Depo Gazlarının Çevresel Etkileri</b> .....	<b>20</b>
4.1.1. <b>Yangın ve Patlama Tehlikesi</b> .....	<b>20</b>
4.1.2. <b>Yangını Fark Etmeye Yönelik Kontrol Tedbirleri</b> .....	<b>22</b>
4.1.3. <b>Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları</b> .....	<b>23</b>
4.1.4. <b>İstenmeyen Kokular</b> .....	<b>24</b>
4.1.5. <b>Depo Sahalarında Meydana Gelen Çökmeler</b> .....	<b>24</b>
4.1.6. <b>Yeraltı Suyu Kirliliği</b> .....	<b>25</b>
4.1.7. <b>Hava Kirliliği</b> .....	<b>25</b>
4.1.8. <b>Global Isınma</b> .....	<b>25</b>
<b>5. DEPO GAZI MİKTARININ HESAPLANMASI</b> .....	<b>28</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>35</b>

# 1. GİRİŞ

Ülkemizdeki belediye atıklarının % 50-65'ini biyoatıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır.

Üretim ve tüketim alışkanlıklarında değişme, nüfusun artışı, yaşam standartlarının yükselmesi ve teknolojiye gelişmeler atık miktarlarını son yıllarda önemli miktarda arttırmıştır.

Ülkemizde kişi başına yaklaşık günde 1.17 kg toplamda ise **31 milyon ton** atık üretilmektedir.

Vahşi şekilde depolanmış atıklar yeraltı suyu ve yüzeysel su kirliliğine, haşerelerin üremesine, çevreye kötü kokuların yayılmasına, görüntü kirliliğine ve çeşitli hayvanlar vasıtasıyla taşıyıcı mikropların yayılmasına neden olmaktadır.

Ülkemizde 87 adet düzenli depolama tesisi bulunmakta ve üretilen belediye atıklarının %61'i düzenli olarak depolanmaktadır.

Kurumsal kapasitesi düşük ve mali yapısı zayıf olan belediyelerin her birinin ayrı ayrı katı atık bertaraf tesisi kurmaları mali ve teknik olarak mümkün değildir. Belediyeler toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf tesisi kurmamalıdır. Belediyeler için uygun bölgelerde ve mesafelerde katı atık bertaraf tesisleri kurulmalıdır. Büyükşehir, il belediyesi ve nüfusu 100 binin üzerinde olan ilçe belediyeleri planlarında, bölgeleri için yeterli ölçekte katı atık bertaraf tesisi yerlerini göstermelidir. Bu bertaraf veya geri kazanım tesisleri ilgili mevzuat çerçevesinde uzman özel sektör/yarı kamu tarafından da yapılarak işletilebilir. Kurulacak bertaraf tesisi Çevre ve Şehircilik Bakanlığında lisans aldıktan sonra işletmeye başlamalıdır. Tecrübeli ve uzman özel firmalar/yarı kamu firmaları katı atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri kurarken belediyelerin ihalelerine girmeliler ve uzun süreli belediyenin atığını toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf garantisini almalıdır. Belediyeler katı atıklarını ancak lisanslı geri kazanım ve bertaraf tesisi olan firmalara vermelidir. Bu konu ile ilgili gerekli görülmesi durumunda mevcut mevzuat yeniden düzenlenmelidir. Bu işler süreklilik, sürdürülebilirlik, isteyen işlerdir. Kendini yenilemeyi ve yatırım yapmayı gerektirir. Dünya'da gelişen teknolojinin izlenmesi gerekir. Bu tür yapılanmalar firmalara kurumsal kimlik kazandırır.

Belediyeler bölgelerinde oluşan atık miktarı üzerinden yüklenici firmaya toplama, taşıma ve bertaraf için ton başına bir bedel ödemelidir. Bu bedeller atıkların kaynağında ayrı toplanması

ve geri kazanımı minimize edici şekilde özendirici olmalıdır. Yıllık enflasyonlar ve yakıtta yapılan zamlar göz önüne alınarak fiyatlarda artış veya azalış yönünde düzenleme yapılmalıdır. Katı atık gerçek bedelinden toplanmalı, taşınmalı, geri kazanılmalı ve bertaraf edilmelidir.

Optimum verimlilikte toplama ve taşıma modelleri kullanılarak yakıt tüketimi, işçilik ve araç bakımı asgari seviyeye indirilmelidir. Araç parkı az yakıt tüketen model olmalıdır. Araçlar belli aralıklarda yenilenmeli ve çevreye duyarlı araçların kullanılması sağlanmalıdır.

Düzenli depolama alanlarında çalışan personel gerekli eğitimi mutlaka almalıdır. Eğitimden geçmeyen personel depolama sahasında çalıştırılmamalıdır. Çalışanlar gerekli iş elbisesi ile donatılmalıdır.

İhtiyaç olması halinde yüklenici tarafından transfer istasyonları yapılmalıdır. Transfer istasyonları atıkların verimli ve ekonomik taşınmasına yardımcı olur.

Sıfır atık projesi kapsamında değerlendirilebilir atıkların kaynaktan ayrı toplanması ile ilgili gerekli donanımın belli süre içinde geçilmelidir. Bu süre 3 yılı geçmemelidir. Atıkların toplanmasında çalışan kişiler tehlikeli ve tıbbi atıklar konusunda eğitilmelidir.

Şehirde toplama, taşıma konusunda belediyeler gerekli denetimi yapmalıdır. Bertaraf ve geri kazanım tesislerinin denetimi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2872 sayılı Çevre Kanunu ve ilgili Yönetmelikler çerçevesinde yapılmalıdır. Gereğini yapmayanlar hakkında yasal işlem yapılmalıdır.

Atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Atıkların düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi, kompostlaştırma ve yakma gibi diğer alternatif atık işleme yöntemleri arasında, ekonomik avantajları dolayısıyla en yaygın kullanılan yöntemdir. Düzenli depolama maliyeti diğer atık işleme yöntemlerine göre düşüktür. Düzenli depolama sahalarında biyoatıklar kontrollü şartlar altında stabilize olmuş maddelere dönüşürler. Atıkların düzenli depolama sahalarında stabilizasyonu uzun yıllar almaktadır.

Atık içinde bulunan biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeler mikroorganizmaların yardımı ile biyokimyasal olarak ayrışır. Ayrışma proseslerinin başlangıcında, aerobik bakteriler organik maddeleri organik asitlere ve diğer kimyasal bileşiklere dönüştürürler. Düzenli depolama alanı üzeri günlük olarak kapatıldıktan sonra, ortamda bulunan oksijen, ortamdaki mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilir. Bundan sonra meydana gelen

biyolojik ayrışma prosesleri anaerobik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu ortaya çıkan temel ürünler depo gazları, yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip sızıntı suları ve stabilize olmuş atıklardır. Anaerobik ayrışma çok yavaş ve uzun süreler alan bir prosestir ve ayrışma hızı süresi nem, sıcaklık, pH ve atığın boyutu gibi pek çok çevresel faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Depo gazları, atık içerisindeki biyobozunur maddelerin anaerobik ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Depo gazları, hemen hemen eşit oranda metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşikten meydana gelmektedir. Depolama sahalarından kaynaklanan metan ve karbondioksit küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Metan ( $CH_4$ ) gazı karbondioksite ( $CO_2$ ) göre güneş ışığını 28 kat daha fazla absorbe etme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca, metan ( $CH_4$ ) hava ile % 5-15 oranlarında karıştığında patlayıcı özelliğine sahiptir. Depo gazlarının diğer bileşenleri ise insan ve çevre sağlığı üzerinde hava kirliliği ve istenmeyen kokular gibi çeşitli etkilere sebep olurlar. Bu nedenle depo gazları doğru olarak yönetilmezse çevresel bir problem olarak değerlendirilmektedir.

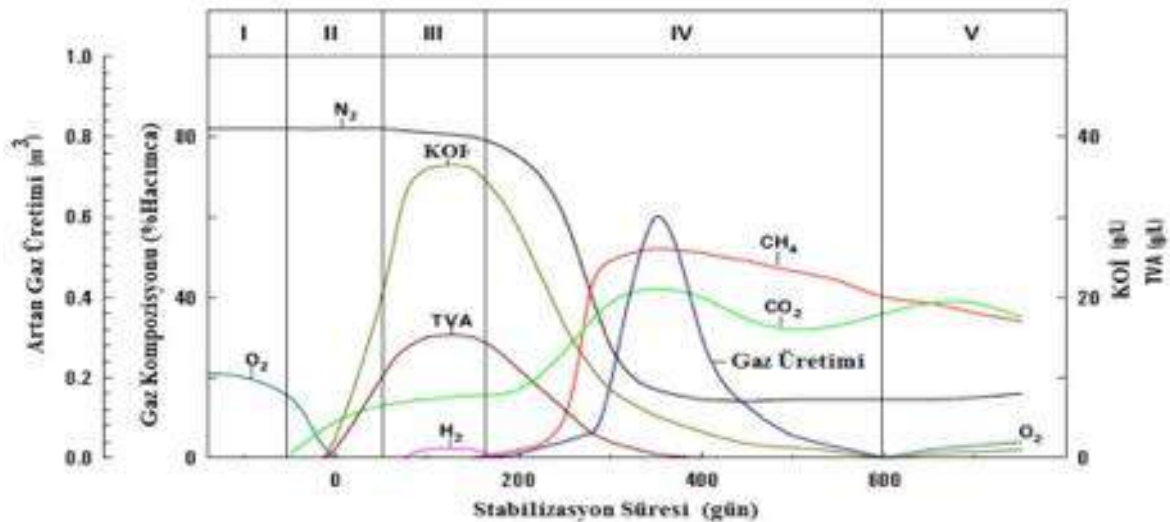
Diğer taraftan, depo gazının en önemli bileşenlerinden biri olan  $CH_4$ 'ın yüksek bir enerji kapasitesine sahip olması sebebiyle, bu gazın bir enerji kaynağı olarak kullanılması yolundaki çalışmalar son yıllarda artmıştır. Bu maksatla depo gazının son yıllarda elektrik üretiminde kullanılması, araç yakıtı olarak kullanılması, doğal gaza dönüştürülmesi gibi çeşitli alternatifler geliştirilmektedir.

## 2. DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZI OLUŞUMU

Atıklar düzenli depolama sahasına depolandıkları ilk anda, boşluklarda oksijen ( $O_2$ ) mevcuttur ve bu durum biyolojik olarak ayrışabilen maddelerin (suda çözünebilir yapıdaki organik maddelerin) aerobik şartlar altında ayrışmasına sebep olmaktadır. Depo gövdesi içerisinde  $O_2$ 'in önemli ölçüde azalması, anaerobik ayrışma fazının başladığını gösterir. Bir düzenli depolama sahası ekosisteminde, başlangıçta kısa süreli aerobik ayrışma fazı ve daha sonra daha uzun süren ve gaz oluşumu nedeniyle daha önemli olan anaerobik ayrışma safhası oluşur.

Yapılan çalışmalarda gaz bileşiminde zamanla meydana gelen değişimler 5 safha olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar, aerobik safha, anaerobik metanojenik olmayan safha, anaerobik metanojenik kararsız safha, metanojenik kararlı safha ve aerobik şartlara geçiş safhası olarak sayılabilir.

Düzenli depolama sahalarında meydana gelen ayrışma ve gaz oluşum safhaları Şekil 1'de verilmiştir. Ancak, atıkların biyolojik ayrışması her zaman burada gösterildiği gibi sırayla gerçekleşmeyebilir. Bazı safhalar gerçekleşmezken bazıları da aynı anda meydana gelebilir. Depolanan atığın bileşenlerine ve dane boyutlarına, ayrışabilir organik maddelerin özelliğine, ortamın pH'sına ve ortamdaki nem muhtevasına bağlı olarak değişir. Ayrıca, çevresel şartlara bağlı olarak bir veya iki safha baskın hale gelebilir. Bunun yanında, atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda depolama sahasının farklı bölgelerinde farklı prosesler de meydana gelebilir.



## 2.1. Aerobik Safha

Bu safha depolama sahasına atıkların depolanarak saha içerisinde su muhtevasının artmasıyla başlar. Elde edilen bu yeni ortamla birlikte aktif mikrobiyal bir topluluk ortaya çıkar ve biyokimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için ilk birkaç gün ile birkaç hafta arasında çevresel şartlarda bazı değişiklikler meydana gelir. Bu safhanın karakteristik özelliği atıkların depolandığı sırada atmosferden gelen O<sub>2</sub>'in varlığıdır. Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin reaksiyona girebilmesi için O<sub>2</sub> ihtiyacı çok yüksek olduğundan, kısa süre sonra gaz fazındaki O<sub>2</sub> tamamen tükenir. Bu fazda, tüketilen O<sub>2</sub> ile orantılı miktarda CO<sub>2</sub> üretilir. Öte yandan azot (N<sub>2</sub>) gazı konsantrasyonunda çok az bir azalma görülür. Bu safhada çok fazla ısı üretilir ve depo gövdesinin sıcaklığı 60-70 °C'ye kadar çıkabilir.

## 2.2. Anaerobik Metanojenik Olmayan Safha

Bu safhada depo gövdesindeki O<sub>2</sub>'in tükenmeye başlamasıyla birlikte aerobik ortamdan anaerobik ortama geçişin başladığı görülür. O<sub>2</sub>'in tükenmesiyle birlikte, anaerobik faaliyetin baskın olduğu ikinci safha başlar. Organik asitlerin oluşmaya başlamasıyla daha belirgin miktarlarda CO<sub>2</sub> üretilmeye başlar ve anaerobik ayrışma safhası başlamış olur. CO<sub>2</sub>'in ulaşabileceği maksimum değer hacimce % 70-90 arasında değişir. Bu değerlere, çevre şartlarına ve depolama şartlarına bağlı olarak atık depolandıktan 11-40 gün sonra ulaşılabilir. Bu safhada hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı konsantrasyonu ise hacimce % 20 civarındadır. Burada birincil elektron kabul ediciler nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ve sülfattır. (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Yani bu safhada oksijen ihtiyacı için nitrat ve sülfatın oksijeni kullanılır.

## 2.3. Anaerobik Metanojenik Kararsız Safha

Depolamanın tamamlanmasından sonra ilk kez bu safhada CH<sub>4</sub> oluşur ve oluşan CH<sub>4</sub> miktarı zamanla artar. CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> miktarlarında azalma görülürken H<sub>2</sub> tamamen tükenir. Redox potansiyelleri düşer. Birinci ve ikinci safhaların tamamlanması 10-50 gün arasında gerçekleşirken üçüncü safha 200-500 gün arasında tamamlanır. Ayrışma süreleri arasındaki bu farklılıklar, ayrışma prosesinin her zaman gerçekleştiğini fakat ayrışmanın tamamlanması için gerekli olan sürenin yerel şartlara bağlı olarak çok fazla değiştiğini göstermektedir.

## **2.4. Metanojenik Kararlı Safha**

Bu fazda gaz üretimi ve bileşenleri hemen hemen sabit olup % 40-70 CH<sub>4</sub> ve % 30-60 CO<sub>2</sub>'den oluşur. En yüksek CH<sub>4</sub> konsantrasyonunun görülmesi sebebiyle bu safha oldukça önemlidir. Yapılan saha çalışmalarında CH<sub>4</sub>'ın molar fraksiyonu % 50'nin altında olduğunda ve aynı zamanda gaz içerisinde H<sub>2</sub> de mevcut olduğunda, CH<sub>4</sub> üretiminin yavaş gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu safhada gaz bileşimi sabit olmakla birlikte, gaz oluşum hızı zamanla düşer. Ancak, yine de depo gazı basıncı atmosferik havanın depo içerisine girmesini engelleyecek seviyelerdedir. Bu safha, gaz miktarının yavaş yavaş azalmasıyla ortalama 10-20 yılda tamamlanır. Bu safhanın bu kadar uzun olmasının ana sebebi atık içindeki katı fazdaki organik maddelerin sıvı faza çok uzun süre içinde dönüşmesidir.

## **2.5. Aerobik Şartlara Geçiş Safhası**

Bu safhada ayrışma prosesleri ve depo gazı üretimi önemli oranda azalır. Başlangıçtaki atmosferik şartlar yeniden etkili olmaya başlar. Bugüne kadar hiçbir çalışma atığın ayrışmasının tamamlanmasına kadar devam etmemesine rağmen, eski sahalardan elde edilen verilere dayanarak mevcut organik karbon kullanıldıktan sonra metanojenik faaliyetin azaldığı ve CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının hızla düştüğü söylenebilir. Sonuçta kalan artık madde ise biyolojik olarak inert ve stabil haldedir.



### 3. DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Depolama sahasında oluşabilecek depo gazı miktarı atığın biyobozunur madde muhtevasına bağlıdır. Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve CH<sub>4</sub> oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, besi maddeleri (nutrientler), inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası gibi abiyotik faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı tekniklerden oldukça fazla etkilenmektedir.

Bu faktörlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1. Oksijen

Anaerobik bakterilerin ayrışma proseslerini gerçekleştirmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Metanojenik bakteriler, oksijene karşı çok duyarlı bakterilerdir. Oksijen depo sahasındaki atık içerisine her zaman nüfuz edebilir. Ancak depo sahası yüzeyindeki aerobik bakteriler oksijeni tüketirler. Eğer depolama sahasında atıklar yeterli oranda sıkıştırılmamış ve üzeri günlük olarak 15 cm. kalınlıkta toprakla örtülmemişse oksijen daha derinlere kadar nüfus edebilir. Depolama alanında yeterli sıkıştırma ve günlük örtü işleri yapılmadığı zaman yağmur veya karla gelen oksijenli su, atık içine sızarak aerobik biyolojik faaliyeti geliştirebilir ve sızıntı suyu miktarını arttırabilir. Metanojenik bakterilerin spor oluşturan formu belirlenmemiş olmasına rağmen, metanojenik topluluklar ortama O<sub>2</sub> girişiyle tamamen yok olmazlar. Aerobik çamurun ve aerobik toprağın anaerobik inkübasyonu CH<sub>4</sub> oluşumuyla sonuçlanır.

Günlük olarak depolanan atıklar yeterli oranda sıkıştırılmalı ve üzeri günlük olarak örtülmelidir. Birim alanda depolanacak atık miktarını arttırmak için depolama alanlarının kapasitesine bağlı olarak yayma, ezme ve sıkıştırma için yeterli iş makineleri kullanılmaktadır. Günlük depolanan katı atık miktarı 0-250 ton arasında ise bu alanlara küçük ölçekli işletmeler, 250 -500 ton olanlara orta ölçekli işletmeler, 500 ve üzeri olanlara büyük ölçekli işletmeler diyebiliriz. Her bir işletme kendine uygun işletme ekipmanına sahip olmalıdır. Serilen atıklar çelik silindirli kompaktörlerle sıkıştırılır. Her serme işleminden sonra mutlaka sıkıştırma yapılmalıdır.

- Küçük ölçekli işletmeler için, atıkların serilmesinde ve sıkıştırılmasında küçük veya orta ölçekli dozerden oluşan bir bare-bones ekipman donanımı, küçük bir çelik-tambur

kompaktör ve bir küçük veya orta ölçekli atık yükleyen/boşaltan paletli bir loder kullanılmalıdır.

- Orta ölçekli işletmeler için, orta veya ağır ölçekli dozerler, küçük bir çelik tambur kompaktör ve orta veya ağır atık yükleyen/boşaltan paletli bir loder gereklidir.
- Büyük ölçekli işletmeler için çift ağırlıklı dozerler, ağır küçük çelik tamburlu atık kompaktörler ve daha büyük atık yükleyen/boşaltan paletli bir loder kullanılmalıdır.

Orta ve büyük ölçekli depolama tesislerinde örtü toprağının taşınması için ayrıca paletli veya lastik tekerlekli yükleyici, damperli kamyon, skreyper gibi iş makineleri gereklidir. Düzenli depolama alanında kullanılan kompaktörlere örnekler Şekil 2’de verilmiştir.



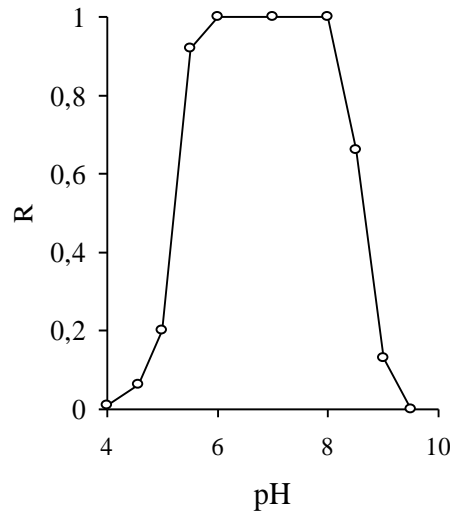
Şekil 2. Düzenli Depolama Sahasında Çalışan Kompaktörler

### 3.2. Hidrojen (H<sub>2</sub>)

H<sub>2</sub> fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen H<sub>2</sub>'in basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkiler. Fermantasyon bakterileri, H<sub>2</sub> basıncı düşük olduğunda H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve asetik asit üretirken, yüksek H<sub>2</sub> basınçlarında ise H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H<sub>2</sub> basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir. Propiyonik asidin oluşabilmesi için H<sub>2</sub> basıncının  $9 \cdot 10^{-5}$  atm.'nin altında olması gerekmektedir. Yani H<sub>2</sub> basıncı yüksek ise propiyonik (ve bütirik) asit oluşacak fakat bu bileşikler daha fazla ayrışmayacaktır. H<sub>2</sub>, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir.  $10^{-5}$  atm.'den düşük basınçlar, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den CH<sub>4</sub> oluşumu için uygundur.

### 3.3. pH ve Alkalinite

CH<sub>4</sub> bakterileri pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH<sub>4</sub> oluşumu pH 6.5-8.0 aralığında görülmektedir. pH değerinin 6'nın altına düşmesi, CH<sub>4</sub> bakterileri üzerinde toksik etki gösterebilir. Yapılan çalışmalarda pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir (Christensen ve Cossu, 1998). Şekil 3'te farklı metanojen kültürlerinin karışımı için pH'a bağlı olarak CH<sub>4</sub> üretim oranları (R) verilmiştir.



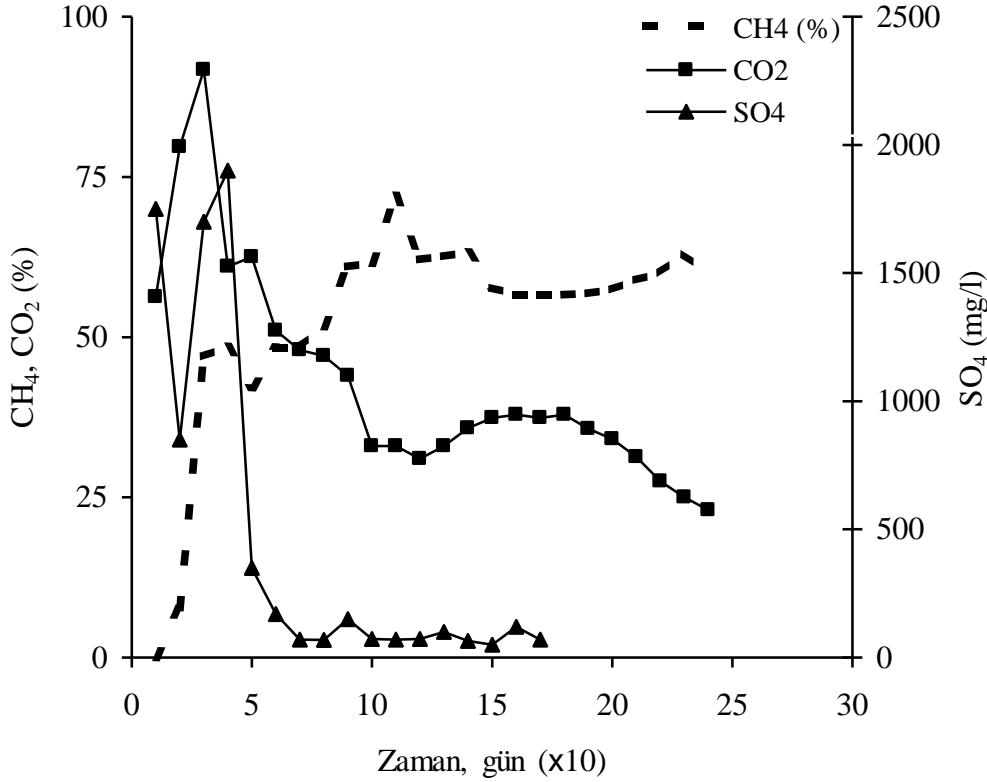
Şekil 3. Anaerobik Bir Filtrede pH'nın Rölatif CH<sub>4</sub> Oluşum Hızı (R) Üzerine Etkisi

Alkalinite, sistemin anaerobik ayrışma için gerekli olan pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korur. Alkalinitenin düşük olması uçucu yağ asitlerinin birikmesine yol açar. Evsel atıksu çamurunun anaerobik ayrışması için gerekli toplam alkalinite değeri 2000 mg/l CaCO<sub>3</sub> civarında olduğu belirlenmiştir.

### 3.4. Sülfat

Hem sülfat bakterileri hem de CH<sub>4</sub> bakterileri asetik asit ve H<sub>2</sub>'in ayrışmasını sağlarlar. Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar, ortamda SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mevcut iken CH<sub>4</sub> üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sülfat içeren atıkların düzenli depolama alanlarında depolanmasına dikkat edilmelidir. Sülfat içeren önemli atıklardan biri de deri sanayi arıtma

çamurlarıdır. Şekil 4’de depo gazı bileşimi ile sızıntı suyundaki  $\text{SO}_4^{2-}$  konsantrasyonlarının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi,  $\text{CH}_4$  oluşumundaki artış ile  $\text{SO}_4^{2-}$  konsantrasyonlarındaki azalma aynı anda meydana gelmektedir. Yani atık içindeki sülfat biyokimyasal ayrışmaya uğramadan (yani sülfat hidrojen sülfüre dönüşmeden) organik maddeleri metana dönüşümü engellenmektedir.



Şekil 4. Depo Sahalarında  $\text{SO}_4^{2-}$  ile Depo Gazı Bileşimi Arasındaki İlişki

$\text{CH}_4$  oluşumunun  $\text{SO}_4^{2-}$  ile ilişkisi,  $\text{SO}_4^{2-}$ 'ın metanojenik bakteriler üzerindeki herhangi bir toksik etkisiyle bağdaştırılmamış, sadece substrat rekabetiyle ilişkilendirilmiştir.  $\text{CH}_4$  bakterilerinin az olduğu kültürlerde  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CH}_4$  oluşumunu etkilemez, ancak eğer ortamda *Desulfovibrio* gibi  $\text{SO}_4^{2-}$  indirgeyen gruplar varsa,  $\text{SO}_4^{2-}$ 'ın indirgenmesi çok fazla enerji gerektiren bir reaksiyon olduğundan bir sınırlandırma söz konusudur.

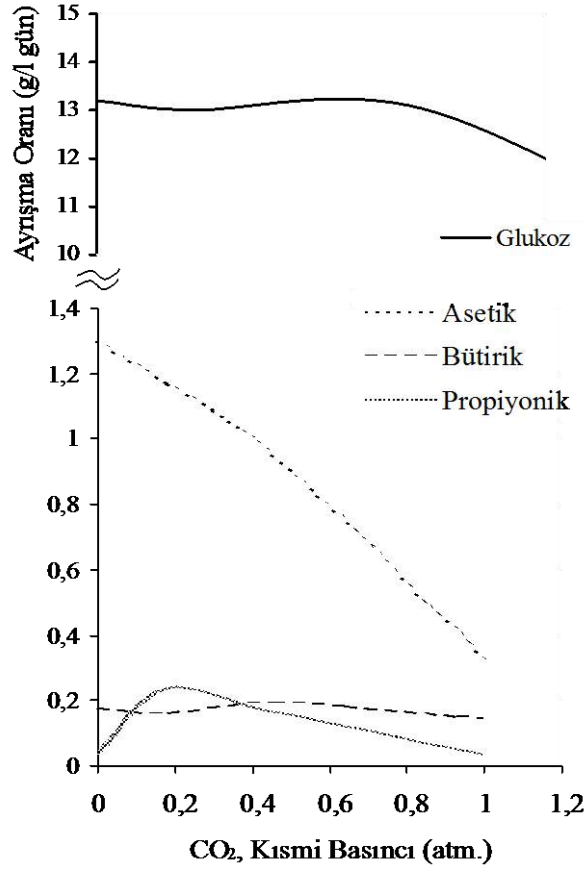
### 3.5. Besi Maddeleri (Nütrientler)

Anaerobik mikroorganizmalar için gerekli olan mikro nütrientlerin tamamı (sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden ve selenyum gibi) hemen hemen tüm depolama sahalarında mevcuttur. Anaerobik ekosistemlerde substratın sadece küçük bir kısmı

yeni hücreler tarafından özümser, bu nedenle aerobik sistemlerden çok daha az miktarlarda azot ve fosfor gereklidir. **Organik maddeler (KOİ), azot ve fosfor arasındaki optimum oranlar; 100:0,44:0,08** olarak belirlenmiştir. Genel olarak, evsel ve endüstriyel atıkların birlikte depolandığı bir depolama sahasında azot ve fosfor sınırlayıcı değildir, fakat evsel veya endüstriyel atıkların ayrı ayrı depolandığı sahalarda nutrient miktarının sınırlandırılmasına yol açabilir. Fosfor, anaerobik ayrışma prosesini sınırlandıran en önemli nütrienttir.

### 3.6. İnhibitörler

O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'in CH<sub>4</sub> oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi olduğu bilinmektedir. Uçucu yağ asitlerinin (VFA) CH<sub>4</sub> oluşumu üzerine etkisi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/L 'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Ayrışma proseslerinin çoğunda CO<sub>2</sub> üretilir. CO<sub>2</sub>'in CH<sub>4</sub> oluşumu üzerindeki inhibisyon etkisi çamur yataklı kesikli reaktörlerde belirlenmiştir. Şekil 5'de CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncının asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi verilmiştir. Asetik asitin ayrışma oranı CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncından önemli ölçüde etkilenir. Depo sahalarındaki CO<sub>2</sub>'nin kısmi basıncı başlangıç fazlarında 0,9 atm çıkabilir ve daha sonra 0,5 atm. seviyesine düşer. Amonyumun inhibisyon etkisi serbest amonyumdan kaynaklanmakta ve pH'nın artmasıyla artmaktadır.



Şekil 5. CO<sub>2</sub>'in Kısmi Basıncına Bağlı Olarak Bazı Substratların Ayrışma Oranları

Ağır metal içeren atıkların düzenli depolama alanlarında depolanmasından kaçınılmalıdır. Ağır metaller bakterileri olumsuz etkileyerek biyokimyasal reaksiyonları durdururlar. Bu da depolama tesisinde bulunan organik maddelerin bozunmasını engeller.

Atık içinde mineral yağ ve tıbbi atık içeren atıkların da depolanması yapılmamalıdır. Bu tür maddeler de depolama içindeki biyokimyasal reaksiyonları olumsuz etkiler. Belediye atık depolama sahalarında tehlikeli atık içeren atıklar kesinlikle depolanmamalıdır.

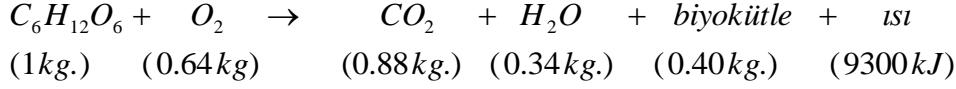
### 3.7. Sıcaklık

Diğer bütün mikrobiyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik ayrışmayı sağlayan bakteriler sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. CH<sub>4</sub> bakterileri 40 °C civarında yaşayan bir mezofilik grup ve maksimum 70 °C civarında yaşayan termofilik bir gruptan oluşurlar.

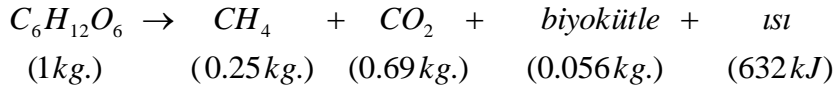
Atıkların aerobik ve anaerobik ayrışmaları ısı veren reaksiyonlardır, ancak anaerobik ısı oluşumu genellikle ihmal edilebilir seviyededir. Buna örnek olarak glikozun aerobik ve

anaerobik ayrışması verilebilir. Reaksiyonlar neticesinde anaerobik ayrışma ile aerobik ayrışmadan oluşan ısının sadece %7'sinin açığa çıktığı belirlenmiştir.

#### ***Aerobik Ayrışma:***



#### ***Anaerobik Ayrışma:***



Depo gövdesinin sıcaklığı yoğunluk, yüzey alanı, nem muhtevası vb. gibi faktörlerden etkilenir. Biyolojik ayrışmanın ilk safhasında 70 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Anaerobik ayrışma safhası başladığında ise sıcaklık düşer ve 30-35 °C civarında sabit kalır. Bu sıcaklık değerleri mezofilik CH<sub>4</sub> bakterileri için optimum sıcaklıklardır. Sıcaklığın yükselmesi, genellikle gaz üretiminin de arttığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Hartz, biyolojik ayrışma ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ampirik bir ifadeyle belirtmiş ve depo sahalarında metan oluşumu için optimum sıcaklığın 41 °C olduğunu belirlemiştir.

Buna göre;

$$\ln \frac{G_2}{G_1} = E_a \frac{T_2 - T_1}{RT_1 T_2}$$

olup burada G<sub>1</sub> ve G<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> sıcaklıklarındaki (°K) gaz oluşumları; R, gaz sabiti (1.987 cal/°K/mol) ve E<sub>a</sub>= aktivasyon enerjisini (20 kcal/mol) ifade etmektedir. Bu ifadeye göre sıcaklık arttıkça biyolojik ayrışma da logaritmik olarak artacaktır.

### **3.8. Nem/Su Muhtevası**

Düzenli depolama alanı içindeki nem muhtevası, besi maddesi miktarıyla birlikte depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. Şekil 6'da depo gazı oluşum hızıyla atığın nem muhtevası arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Atıklar depolama sahalarına ilk depolandıklarında % 30-40 arasında nem muhtevasına sahiptirler. Suya doymun olmayan atıklardan daha çok H<sub>2</sub> üretilirken, suya doymun atıklar daha çok CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluştururlar. Birim atık başına oluşan depo gazı üretimi ile nem oranı

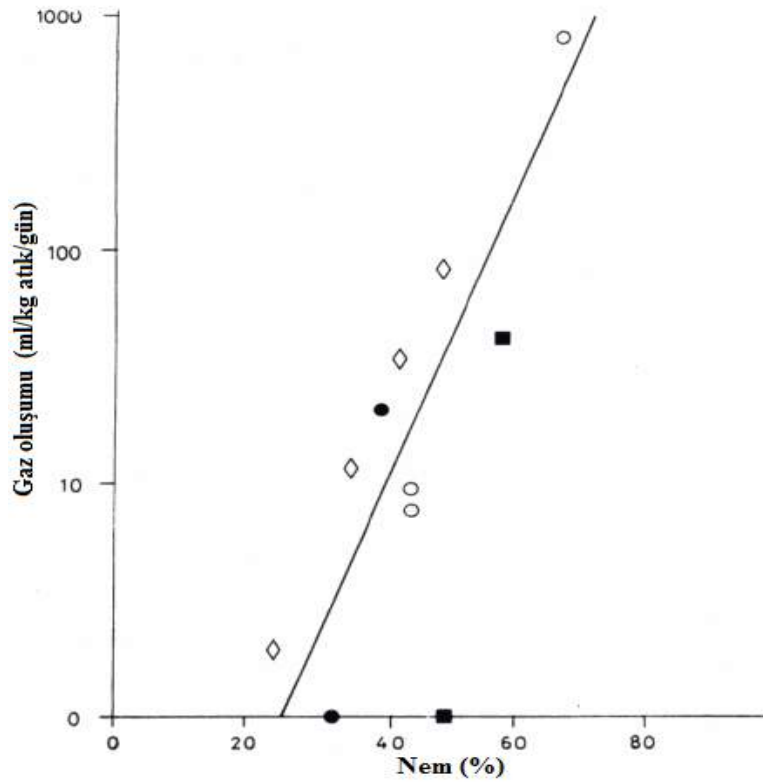
arasında logaritmik bir ilişki vardır. Depo sahasında CH<sub>4</sub> üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doymuş olması gerekir.

Steyer, depolama alanı içinde nem oranının %20-70 arasında olması halinde günlük gaz üretiminin,

$$y = 0.024 \times e^{(0.15 \times \%H_2O)}$$

eşitliği ile tespit edilebileceğini belirlemiştir. Burada,

y : cm<sup>3</sup> depo gazı/kg kuru katı atık-gün' dür.



**Şekil 6.** Depo Gazı Üretim Hızı İle Nem Muhtevası Arasındaki İlişki

Şekil 6 incelendiği zaman gaz üretiminin durma noktasına geldiği görülmektedir. Depolama alanı içinde biyokimyasal reaksiyonu devam ettirmek için nem muhtevası kontrol altında tutulmalıdır. Nem muhtevası sınır değerlerinin altına düşmesi durumunda sızıntı suyu depolama alanı içine enjekte edilebilir.

Depolama alanında biyokimyasal reaksiyon arttıkça depolanacak atık miktarının da artacağı unutulmamalıdır.



Depolama sahasında nem yetersizliğinden biyokimyasal reaksiyon durma noktasına gelir. Organik maddelerin biyokimyasal bozunmasını hızlandırmak için depolama alanı gövdesinde yeterli oranda nem olmalıdır. Bu değer yaklaşık %50'dir. Nem oranı az olması durumunda ortama sızıntı suyu uygun şartlarda verilerek nem oranı kontrol edilebilir. Böylece sızıntı suyu içindeki organik maddelerin biyokimyasal ayrışması da sağlanmış olur. Düzenli depolama sahası bir biyoreaktör gibi düşünülmelidir.

Depolama sahası içinde sızıntı suyunun sağlıklı dağılmasına plastikler engel olur. Sızıntı suyunun depolama sahası içine nüfus edebilmesi için atıkların ön parçalama işleminden geçirilmesinde yarar vardır. Depolama sahasına gelen atıkların parçalama işlemine tabii tutulduktan sonra depolanması sızıntı suyunun depo içine daha kolay sızmasına yardımcı olur.

### **3.9. Dane Boyutu**

Atık dane boyutlarının azalması biyokimyasal reaksiyonu ve gaz üretimini arttırmaktadır. Dane çapının küçültülmesi ile mikroorganizmaların organik maddeleri tüketmek için kullandığı yüzey alanı artmaktadır. Yapılan çalışmada partikül çapının 250 mm. den 10 mm.'ye düşürülmesi ile gaz üretim hızının 4.4 kat arttığı belirtilmiştir.

Düzenli depolama tesislerinde atıklar depolanmadan önce parçalayıcı kullanılarak atığın dane boyutu küçültülebilir. Dane boyutu küçültülen atıklar daha homojen hale gelmekte, daha kolay depolanabilmekte, sıkıştırılabilmekte ve böylece daha fazla atık depolanabilmektedir. Bazı ülkeler bu sistemi uygulamaktadır. Ülkemizde de atıklar depolanmadan önce benzer uygulamaya geçmesinde yarar vardır. Dane boyu küçültülmüş alanlardan daha fazla gaz elde edileceği unutulmamalıdır.

## 4. DEPO GAZI BİLEŞENLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Düzenli depolama sahalarından oluşan gazların büyük çoğunluğunu CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluştursa da, yapılan çalışmalarda gaz içerisinde 170'ten fazla bileşiğin olduğu belirlenmiştir. Çoğu eser miktarda olan bu gazlar kontrol edilmezse, insan ve çevre sağlığı açısından önemli problemler ortaya çıkarabilir. Bu nedenle, depo gazlarının kontrol edilmesi ve eğer mümkünse değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tipik depo gazı bileşenleri 2'de, iz bileşenleri ve konsantrasyonları ise Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Tipik depo gazı bileşenleri

Bileşen	Kimyasal Formül	Hacim %
Metan	CH <sub>4</sub>	47,4
Karbondiyoksit	CO <sub>2</sub>	47,0
Su buharı (25 °C'de)	-	3,0
Parafin hidrokarbonlar	-	0,1
Aromatik-siklik hidrokarbonlar	-	0,2
Hidrojen	H <sub>2</sub>	0,1
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	0,01
Karbon monoksit	CO	0,1
İz bileşenler	-	0,5

**Tablo 3.** Depo Gazı İçerisindeki Bazı İz Bileşenler Ve Konsantrasyonları

Bileşen	Konsantrasyon (ppb)	Bileşen	Konsantrasyon (ppb)
Metanetiöl	100-44000	Terpen	100-1000
Benzen	1800-32000	Dimetilsülfit	10-1600
Trikloroetan	250-13000	Trikloroflormetan	150-150000
Etilbenzen	1-6300	Klorotriflormetan	10-2300
Diklorometan	100-260000	Kloroetan	1000-104000
Vinil klorid	500-120000	Diklorobenzen	10-26000
Pentilbenzen	100-300	Klorotoluen	1-10
Diklofloretilen	100-12000	Naptalen	10-100
Sülfürdioksit	10-5000	Metilstiren	10-3100
Dikloroetan	100-35000	Perkloroetilen	100-62000
Trikloroetan	100-60000	Dimetilsülfit	100-15000
Tetrakloroetan	600-70000	Dikloroflormetan	800-24000
Toluen	20-500000	Diklorometan	60-260000
Propil benzen	1000-25000	Tetrakloroeten	15-70000
Bütil benzen	1000-25000	Klorobenzen	100-11000
Stiren	0,5-10	Ksilen	500-115000
Karbondioksit	100-2100	Etilbenzen	100-61000
Sikloheksan	10-3200	Dietiler	1-6000

Düzenli depo sahalarının gerek tasarımı ve gerekse işletilmesi sırasında gerekli önlemler alınmazsa çevre sağlığı üzerinde ciddi problemler oluşabilir. Depo gazlarının en önemli iki bileşeni olan CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'in özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

CH<sub>4</sub>, renksiz ve kokusuz bir hidrokarbondur. CH<sub>4</sub> gazı depo gazının hacimce ortalama % 50-55'ini oluşturur. Yoğunluğu, depo sahasındaki sıcaklık aralıklarında 0.6-0.7 kg/m<sup>3</sup> arasında değişir. Bu değerler atmosferik havanın yoğunluğunun hemen hemen yarısına eşit olduğundan, CH<sub>4</sub> rahatlıkla depo sahası sınırları dışına çıkar ve dağılır. Gaz toplama

sistemiyle tutulmayan CH<sub>4</sub>'ın büyük bir kısmı atmosfere yayılır. Metan gazının önemli bir enerji kaynağı olduğu unutulmamalıdır.

CO<sub>2</sub>, atmosferde % 0.037 konsantrasyonunda mevcuttur. Depo sahalarındaki sıcaklıklarda yoğunluğu yaklaşık 1.8 kg/m<sup>3</sup> civarındadır. Bu değer atmosferik havanın yoğunluğunun 1.5, CH<sub>4</sub>'ın yoğunluğunun ise yaklaşık 2.8 katına eşittir. Bu sebeple, CO<sub>2</sub> depo sahasının alt kısımlarında hareket halindedir. Özellikle inversiyonlu günlerde ve erken sabah saatlerinde depo gazı dağılmadan depo yüzeyinde bir sis tabakası oluşturarak saatlerce kalır. Depo gazının diğer önemli bileşeni olan CO<sub>2</sub> patlayıcı veya zehirli olmamasına rağmen atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonları özellikle son yıllarda büyük ölçülerde artış gösterdiğinden önem kazanmış ve çevresel açıdan dikkate alınmaya başlanmıştır.

#### **4.1. Depo Gazlarının Çevresel Etkileri**

Düzenli depolama sahaları, açık sahalarda depolama gibi bertaraf yöntemlerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırma ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir. Depolama sahaları eski uygulamaların bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmış olsa da, depo gazı oluşumu gibi yeni bir problemle karşılaşmıştır. Depo gazlarının sebep olduğu potansiyel tehlikeler bu gazların patlayıcılık, yanıcılık, toksik ve kanserojenik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Depo gazlarının sebep olduğu potansiyel tehlikeler yangınlar ve patlamalar, bitki örtüsüne zararlar, istenmeyen kokular, sahada meydana gelen çökmeler, yeraltı suyu kirlenmesi, hava kirlenmesi ve global ısınma olarak sıralanabilir.

##### **4.1.1. Yangın ve Patlama Tehlikesi**

Depolama sahalarında yangın sorunu, bu sahalar var olduğundan itibaren vardır. Günümüzde ise depo gazı ister kontrollü bir şekilde yakılsın, ister bir depolama sahasında istem dışı ve kontrolsüz bir şekilde yansın, pek çoğuna göre bir çevre kirliliğidir. Ancak ön işleminden geçmiş, yanmaz nitelikteki atıkların depolama sahalarında depolanması ve enerji amaçlı kullanılmasından sonra, yangın tehlikesi azalmıştır. Ancak yine belediye atık depolama sahalarında bu tehlike mevcuttur.



**Şekil 7.** Depolama Alanlarında Oluşan Yangınlar

CH<sub>4</sub> muhtevası bakımından zengin olan depo gazı, enerji kazanımı için elverişli olmasına rağmen, uçuculuğu, havayla birlikte patlayıcı özelliğe sahip olması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Depo gazı çevreye difüzyon ve adveksiyon yolu ile yayılır. Depo gazının difüzyon ve adveksiyon yolu ile dağılımını, depo gazı oluşum miktarı ve gazın fiziksel özellikleri ile atığın permeabilitesi, depo gövdesinin sıcaklığı, nem muhtevası ve basınç değişimleri etkiler. Sahadan ayrılan depo gazı, gerekli önlemler alınmazsa depo sahasına yakın binalara ve yer altı tesislerine girer. Toprağın karakteristiklerine bağlı olarak depo gazı, depo sahasından çok uzaklara ulaşabilir.

Depo gövdesine havanın girmesiyle CH<sub>4</sub> ve O<sub>2</sub> karışımı belli bir değere ulaşarak yangın riskleri meydana gelebilir. Hava girişi, gaz toplama ve taşıma sistemlerinden aşırı şekilde hava çekilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Depolama alanında atık yeterince sıkıştırılmazsa hava atık yüzeyinden atık içine nüfuz eder. Hava içindeki oksijen metan gazı ile kolay tutuşabilir maddelerin yardımı ile reaksiyona girer ve depolama tesisinde yangına neden olabilir. Depolanacak maddelerin alevlenebilirlik sıcaklığı 60 °C den düşük olmamalıdır. Depolama alanlarında katı atıkların yoğunlukları yaklaşık 0.65-0.85 ton/m<sup>3</sup> olacak şekilde sıkıştırılmaları tavsiye edilmektedir. Bunu yapmak için depolama sahasında yeterli miktarda sıkıştırma iş makinesi olmalıdır.

Depolama alanındaki hücreler günlük olarak yeterli miktarda sıkıştırılmıyor ve en az 15 ve en fazla 30 cm kalınlıkta toprakla örtülüyorsa özellikle yağmurlu günlerde depolama alanı üzerine düşen yağmur suyu depolama alanı içine sızar ve atık içine hava sızar. Yağmur suyu önemli miktarda oksijen içermektedir. Çok az miktardaki yağmur suyundaki oksijen ortamı anaerobik şartlardan aerobik şartlara dönüştürür. Aerobik şartlarda ortamda daha fazla ısı ve yangın çıkar. Dolayısıyla, yağmur suyunun depolanan atık içine sızmaması gereklidir. Esas itibarıyla bu yangınlara, ekzotermik reaksiyon gösteren kimyasal maddeler neden olur. Özellikle vahşi depolama sahalarına çuvallar, torbalar, kutular, sandıklar vs. yerlerde

depolanmış ve ne oldukları bilinmeyen, bazı atıklar getirilip dökülmüştür. Yıllar ya da onlarca yıl sonra ambalajı tahrip olup da, içindeki madde su ile temas ettiğinde bir tutuşma kaynağı ortaya çıkarır. Depolama sahası içerisindeki yangın yerleri amaca yönelik bir araştırma olmaksızın yıllarca tespit edilemeyebilir.

- Ayrıca yağmur suyunun çöp depolama alanı üzerinde göllenmesi önlenmelidir.
- Sıcak atıkların, kül, cüruf gibi, depolama alanına taşınıp depolanması yangına neden olur.
- Cam atıkların, güneşe dönük açık şevlerde (geçici şevler) mercek etkisi yapmasıyla yangına neden olur.
- Kolay indirgenebilir, su içerikli, organik atıklarda biyokimyasal dönüşüm proseslerine bağlı olarak kendiliğinden tutuşmaya neden olur.

Gizli yangınlar, her zaman kendiliğinden tutuşarak ortaya çıkar ve esas itibariyle bu yangınlara, ekzotermik reaksiyon gösteren kimyasal maddeler neden olur. Atık depolama sahası içindeki gizli yangınlarda yangının çıktığı yer kazılarak ortaya çıkartılır ve böylece yanmakta olan atık, su ya da köpükle söndürülebilir. Bu amaçla, bazı yangınlarda 45.000 m<sup>3</sup>'e kadar atığın kazılarak çıkartıldığı ve söndürüldüğü görülmüştür.

Depolama alanlarında yangın genel olarak yüksek sıcaklığın olduğu ilkbahar ve yaz aylarında daha sık aralıklarla meydana gelir. Depolama alanına kolay tutuşan atıkların dökülmesi de yangına neden olur.

Söndürme hatalarından korunmak için, normalde depolama sahasında çalışan personelin, tek kullanımlık koruyucu giysi giymesi ve AP3 koruyucu maske takması, tedbir amacıyla da cildin ve solunum yollarının muayene edilmesi ve kanser muayenesinin yapılması gerekir.

#### **4.1.2. Yangını Fark Etmeye Yönelik Kontrol Tedbirleri**

Yangını fark etmeye yönelik kontrol tedbirleri olarak öne çıkan tedbirler:

- Depolama sahasındaki tertibatlar (boru kanallar, drenaj kanalları, temel sızdırmazlığı) elyaf optikli sıcaklık ölçümü ya da bir duyarga yardımıyla sıcaklık kontrolü

Drenaj kanallarında en az her sene ölçülmesi istenen sıcaklık profilleri sayesinde sıcaklıktaki gelişmeler gözlemlenebilir ve bunlar da duruma göre başlamakta olan bir yangına işaret edebilir.

- Depo gazında (depolama sahası varlığındaki her bir gaz kolektöründe) CO ölçümleri

Depolama sahasında CO ölçümleri, saha içerisindeki gizli yangınları fark etmek bakımından çok uygundur. Depolama sahasında anaerobik biyolojik indirgeme süreçleri nedeni ile hiç CO bulunmaz (temel konsantrasyon  $< 6 \text{ mg/m}^3$ ). CO, esas itibarıyla tamamlanmamış yanma süreci ile oluştuğundan depolama sahası gazı içerisindeki CO artışı sahada bir yangın yeri bulunduğu dair bir işarettir. Yangının yakınlarında depo gazında  $100 \text{ mg/m}^3$  çok üstünde  $1000 \text{ mg/m}^3$ 'e varan CO konsantrasyonları ölçülmüştür. Gaz toplama girişlerinde ya da merkezi toplama noktalarındaki ölçümlerde CO konsantrasyonu, yangından etkilenen bölgelerden gelen gazla önemli ölçüde incelmekte ve böylelikle de son derece düşük konsantrasyonlarda gizli bir yangına işaret edebilmektedir. Bu nedenle karbon monoksit konsantrasyonu yaklaşık  $15 \text{ ila } 20 \text{ mg/m}^3$  olarak ölçüldüğü zaman yangın yeri araştırması yapılmalıdır.

- Gece depolama sahası varlığının video ile denetlenmesi;

Bu tedbir, özellikle de sıkça kundaklama vakalarına rastlandığında işe yaramaktadır.

- Özellikle yangın tehlikesi altında bulunan bölgelerde kızılötesi duman uyarısı;

Özellikle yangın tehlikesi altında bulunan bölgeler örneğin geçici ahşap, plastik ya da büyük sahalardır.

Yanmakta olan bir atığı çıkartırken biriktirilmiş bulunan tehlikeli bir atıktan (örneğin asbestli tozlar) doğabilecek tehlikelere uygun tedbirlerle karşı koyabilmek amacıyla, bu atıkların arazi ölçümlerinin yapılması ve haritalarının çıkartılması gereklidir. Konumlarının hızla ortaya konabilmesi için elektronik veri işlem destekli bir değerlendirme yapılması kaçınılmazdır.

#### **4.1.3. Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları**

Depolama sahaları kapatıldıktan ve gerekli tedbirler alındıktan sonra; park, golf sahası, kültürel alanlar ve bazen de ticari alanlar olarak kullanılır. Depolama sahasında depo gazı kontrolünün olmadığı durumlarda, depo gazı konsantrasyon ve basınç farklılıklarına bağlı

olarak yukarı doğru hareket ederek atmosfere ulaşabilir. Bu olaylar sırasında O<sub>2</sub> yer değiştirir ve bitki kökleri, yüksek konsantrasyonlarda CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'e maruz kalırlar.

Direkt olarak CH<sub>4</sub>'a maruz kalma bitki büyümesini etkilemeyebilir. Ancak CH<sub>4</sub>'ın oksidasyonu sırasında, topraktaki O<sub>2</sub>'ini azalması ve açığa çıkan ısının toprak sıcaklığını arttırması bitki kökünün havasız kalmasına sebep olur. Depo gazı ve CH<sub>4</sub>'ın oksidasyonundan açığa çıkan CO<sub>2</sub> de yüksek konsantrasyonlarda (%30-45) bitkinin gelişimine zarar verebilir.

Depo gazı içerisinde bulunan eser bileşikler bitki örtüsüne toksik etkide bulunabilir. Amonyak, karbon monoksit ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) gibi inorganik bileşiklerin bitkilere zarar verdiği bilinmektedir. Uçucu organik asitler, halo-organik bileşikler, hidrokarbonlar ve siklik hidrokarbonlar bitkiler için çok tehlikelidir. Etilenin, 10 ppm gibi düşük seviyelerde dahi bitki örtüsüne zarar verdiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir.

Depolama alanı kapatıldıktan ve aktif veya pasif gaz toplama sistemi ile gazlar toplanmaya başladıktan sonra üzeri yeterli kalınlıkta bitkisel toprakla örtülür. Bitkisel toprakla kapatılan depolama alanı üzerine kökleri derine gitmeyen çalı türü bitkilerle yeşillendirme yapılabilir.

#### **4.1.4. İstenmeyen Kokular**

Kokular, genellikle atmosfere yayılan depo gazı içerisinde, düşük konsantrasyonlarda kokuya yol açan bileşenlerin (esterler, hidrojen sülfür, organosülfürler, alkilbenzenler, limonen ve diğer hidrokarbonlar) bulunmasından kaynaklanmaktadır. Atık kompozisyonu, depo yaşı, ayrışma safhası, gaz oluşum hızı ve depo sahasındaki mikrobiyal popülasyonların yapısı gibi faktörlere bağlı olarak depo gazlarından kaynaklanan kokunun derecesi değişmektedir. Kokuya sebep olan eser miktardaki bileşenlerin çoğu toksik olabilir. Kokuların depo sahası sınırlarının dışına çıkması hava şartlarıyla (rüzgar, sıcaklık, basınç, nemle) yakından ilgilidir.

#### **4.1.5. Depo Sahalarında Meydana Gelen Çökmeler**

Depo sahasında meydana gelen çökmelerin nedenleri arasında, atıkların sızıntı suyu içerisinde çözünmesi, atığın yeterince sıkıştırılmamış olması, yüzeye yakın bölgelerdeki yangınlar sayılabilir. Çökmelerin büyüklüğü ve önemi, öncelikle atığın kompozisyonuna, işletme şartlarına ve atığın ayrışma oranına bağlıdır. İşletme sırasında meydana gelen çökmeler, genellikle depolama sırasında ya da depolama tamamlandıktan kısa bir süre sonra meydana gelmektedir. Atığın ayrışmasından kaynaklanan uzun süreli çökmeler ise saha kapatıldıktan birkaç yıl sonra meydana gelir ve gittikçe azalan oranlarda devam eder. Ortalama olarak



atığın ayrışmasıyla meydana gelen çökmeler, depo sahasının toplam kalınlığının %15'ini oluşturmaktadır.

#### **4.1.6. Yeraltı Suyu Kirliliği**

Yüksek konsantrasyonlarda CO<sub>2</sub> içeren depo gazları, bu gazın yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı yeraltı suyunu önemli derecede asidik yapma potansiyeline sahiptir. Ayrıca depo gazındaki eser miktardaki toksik gazların da hava ve yeraltı suyu kaynaklarına ciddi zararlar verebileceği belirlenmiştir. Literatürde düzenli depolama sahalarından uzak mesafelerdeki yeraltı sularında vinilklorür ve diğer uçucu hidrokarbonların belirlendiğine dair çalışmalar mevcuttur. Ayrıca atık içinde bulunan ağır metallerde zamanla çözünerek yeterli sızdırmazlığı sağlanmayan depolama alanlarında yer altı suyuna karışır.

#### **4.1.7. Hava Kirliliği**

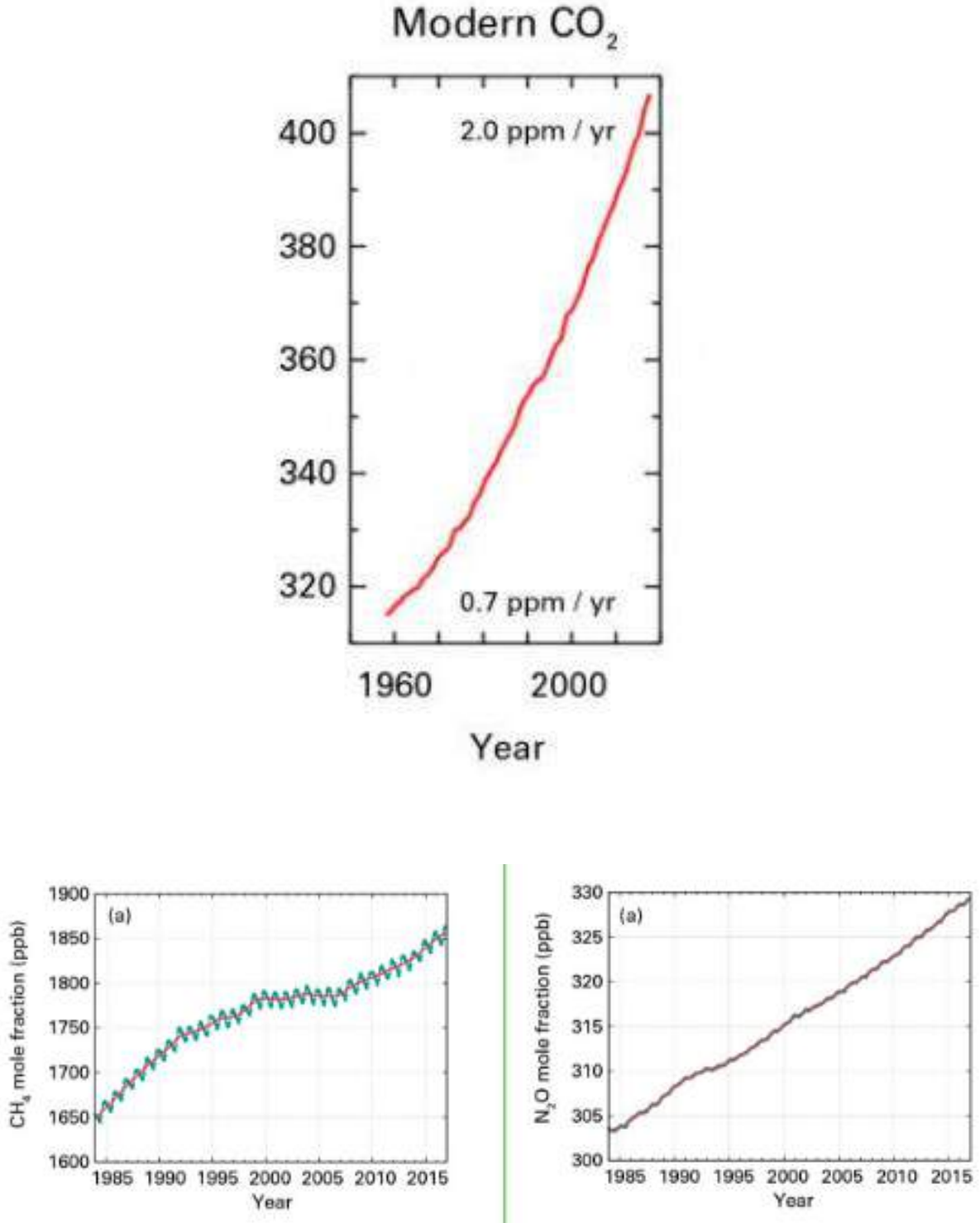
CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>, depolama sahalarında oluşan gazların en büyük iki bileşeni olmasına rağmen, depo gazları insan ve çevre sağlığına olumsuz etki yapabilecek eser miktarda bileşenler ihtiva ettiği değişik çalışmalarda ifade edilmiştir. Depolama sahalarından çıkan uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonları  $4 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$  kg/m<sup>2</sup>/gün arasında değişebilir.

Depo gazında bu kimyasal maddelerin de bulunması belediye atıkları ile birlikte endüstriyel atıkların da depolanması veya kaçak depolama sonucu meydana gelmektedir. Eser gaz emisyonlarından kaynaklanan en önemli tehlikeler, hava kirliliği ve halk sağlığı üzerine olan etkilerdir. VOC emisyonlarının kanser riskini arttırdığı ve ozon tabakasına zarar verdiği bilinmektedir. Bunun yanında eser gazlar, metanojenlerin büyümesini inhibe ederek CH<sub>4</sub> oluşumunu etkileyebilir. Ayrıca bu gazlar, gaz toplama sistemlerinde korozyona sebep olabilir.

#### **4.1.8. Global Isınma**

Depolama sahalarından çıkan CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları global ısınmaya veya sera etkisine neden olur. CH<sub>4</sub>, moleküler ölçekte global ısınmaya karbon dioksitten 28 kat daha fazla etki yapmakta ve diğer gazlara nazaran atmosferde kalma süresi daha uzun olmaktadır. CO<sub>2</sub> ve su buharından sonra infrared ışınlarını tutan üçüncü önemli gaz CH<sub>4</sub>'dir. Her bir CH<sub>4</sub> molekülü, bir CO<sub>2</sub> molekülünün absorblayabileceği infrared fotonlarının 28 kat daha fazlasını absorblayabilir. Ancak, atmosferde 83 kat daha az miktarda CH<sub>4</sub> molekülü bulunduğundan,

CH<sub>4</sub>'ın sera etkisi CO<sub>2</sub>'nin sebep olduğu sera etkisinin ¼'ü kadardır. Atmosferde yıllara göre sera gazları değişimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Sera Gazları Konsantrasyonunda Tarihsel Gelişimi

Atmosferdeki CH<sub>4</sub> konsantrasyonlarının son yıllardaki artışı, global CH<sub>4</sub> kaynaklarının karakterizasyon çalışmalarının daha kapsamlı yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır.

Atmosferik CH<sub>4</sub> konsantrasyonlarının yılda ortalama % 1-2 oranında arttığı belirlenmiştir. Toplam global ısınmanın yaklaşık %18'ine CH<sub>4</sub>'ın sebep olduğu belirlenmiştir. Bu değer yılda yaklaşık 500 milyon tona karşılık gelmekte ve bunun da 40-75 milyon tonu depolama sahalarından kaynaklanmaktadır. Depo gazı bertaraf edilmedikçe veya enerji amaçlı kullanılmadıkça, nüfus artışı ve şehirleşmenin artmasına bağlı olarak depolama sahaları atmosferik CH<sub>4</sub> konsantrasyonlarının önemli kaynakları arasında yerini koruyacaktır.

## 5. DEPO GAZI MİKTARININ HESAPLANMASI

Depolama alanına yerleştirilen atık içindeki biyokimyasal olarak bozunabilir organik maddeler zamanla anaerobik şartlarda bozularak depo gazı oluştururlar.

LandGEM (EPA) modeli, düzenli depolama sahalarından oluşabilecek, hava kirliliğine yol açan gazların emisyon miktarlarının tahmininde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Model birinci derece bir bozunma reaksiyonuna dayanmaktadır. Modelde depo gazının yarı yarıya metan ve karbondioksitten oluştuğu kabul edilmiş, bununla birlikte çok düşük konsantrasyonlardaki diğer kirleticiler de göz önünde bulundurulmuştur. Herhangi bir düzenli depolama sahasından oluşabilecek emisyonların tahmin edilebilmesi için şu bilgilere ihtiyaç vardır:

- Depolama sahasının dizayn kapasitesi (depolama sahasında bertaraf edilebilecek toplam atık miktarı),
- Depolama sahasında günümüze kadar depolanmış atık miktarı veya sahanın ortalama yıllık atık depolama kapasitesi,
- Metan oluşum hızı (k),
- Potansiyel metan üretim kapasitesi ( $L_0$ ),
- Depo sahasının kaç yıldır kullanıldığı,
- Belediye atıkları ile birlikte tehlikeli atıkların da sahada depolanıp depolanmadığı,

Modelde kullanılan denklem temel bir birinci derece bozunma denklemi olup

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * (e^{-kc} - e^{-kt})$$

şeklindedir. Burada;

$Q_{CH_4}$  = t anındaki metan üretim hızı, ( $m^3/yıl$ ),

$L_0$  = potansiyel metan üretim kapasitesi, ( $m^3 CH_4 / ton atık$ ),

R = depolama ömrü boyunca yıllık depolanan atık miktarı, ( $ton/yıl$ ),

k = metan üretim hızı sabiti, (yıl<sup>-1</sup>)

c = saha kapatıldıktan sonraki yıl sayısı, (yıl) (depolama devam ediyorsa c=0),

t = depolamanın ilk başladığı yıldan beri geçen süreyi, (yıl), göstermektedir.

Bu modelde en önemli parametreler metan gazı oluşum sabiti (k) ve metan gazı oluşum potansiyelidir (L<sub>0</sub>). Modelde emisyonların hesaplanması iki farklı standarda göre tasarlanmış ve bunun seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Bunlardan biri CAA (Clean Air Act) yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır ve bu sette k değeri 0,05 yıl<sup>-1</sup> ve L<sub>0</sub> değeri 170 m<sup>3</sup>/ton atık olarak kabul edilmiştir. AP-42 olarak adlandırılan (US EPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors) ikinci standartta ise k = 0,04 yıl<sup>-1</sup> ve L<sub>0</sub> = 100 m<sup>3</sup>/ton atık kabul edilmiştir. Meksika’da yapılan bir çalışmaya göre LFG oluşma sabiti 0.0606 yıl<sup>-1</sup>olarak tesbit edilmiştir. Bu değer daha önce tesbit edilen 0.066 yıl<sup>-1</sup> değeri ile uyumludur. Bu değerlerin tamamı kullanıcıya göre değiştirilebilmekte ve bunların yerine deneylerle elde edilen veriler kullanılabilir. Modelde ayrıca sahanın kapanacağı yıla kadar depolanacak atık miktarı otomatik olarak hesaplanmakta ve kalan süreye eşit bir şekilde dağıtılmaktadır.

İstanbul düzenli depolama alanlarında yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 1 gr kuru organik atığın ortalama metan oluşma potansiyeli 0,32 litre olarak belirlenmiştir. Bu değer ıslak atık ağırlığına oranlandığında metan oluşma potansiyeli yaklaşık 40 m<sup>3</sup> metan/ ton atık değeri elde edilir. Modelde metan üretim potansiyeli (L<sub>0</sub>) olarak bu değer kullanılmıştır. Metan oluşma hız sabiti, k, depolama alanında çöpten oluşan metan gazı oranını belirler. k için birim yıl<sup>-1</sup> dir. k değerinin yüksek olması metan gazı oluşumunun başlangıçta çok hızlı olduğunu ve zamanla azaldığını gösterir. k değeri, aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonudur. 1. atık içindeki nem miktarı, 2. metan gazı oluşturmak için besi maddesi mevcudiyeti, 3. pH ve sıcaklıktır. A.B.D. atık depolama alanlarından elde edilen verilere göre k değeri 0.003 ila 0.21 yıl<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Meksika modelinde k değeri için spesifik bir değer bulunamamışsa k değeri için bir varsayım kullanılabilir. Tablo 4’te bölgedeki yıllık yağış miktarı esas alınarak k değeri tesbit edilmiştir.

**Tablo 4.**Metan Oluşum Hız Sabiti (K)

Yıllık Yağış (mm/yr)	k (yıl başına)
0 - 249	0.040
250 – 499	0.050
500 - 999	0.065
en az 1000	0.080

Teorikte, atıktan potansiyel metan oluşma kapasitesi,  $L_0$ , değeri depolama alanında bulunan atığın özelliğine bağlıdır. Atık içinde selüloz içeriği yüksek atık varsa  $L_0$  değeri yüksektir. Pratikte, kuru iklimlerde teorik  $L_0$  değerine ulaşamaz. Çünkü depolama alanındaki nem eksikliği metan oluşumunu sağlayan bakterilerin aktivitesini engeller. US EPA çalışmalarına göre teorik ve elde edilebilir  $L_0$  değeri 6.2 ile 270  $m^3/ton$  atık arasında değişir. Mevcut depolama alanı için bir değer tesbit edilmemişse varsayıma dayanan değer kullanılır. Varsayıma dayanan  $L_0$  değeri depolama bölgesinde yağış rejimine bağlı olarak tespit edilebilmektedir. Yağış miktarına bağlı olarak  $L_0$  değeri değişimi Tablo 5’de verilmiştir.

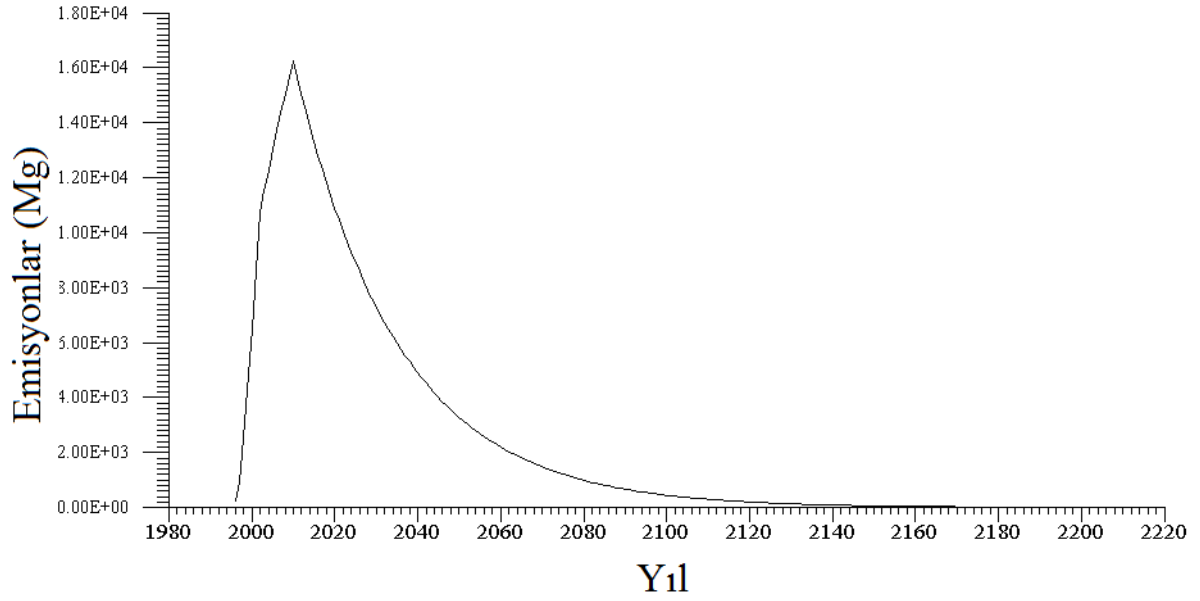
**Tablo 5.** Potansiyel Metan Oluşma Kapasitesi ( $L_0$ )

Yıllık Yağış (mm/yıl)	$L_0$ ( $m^3/ton$ )
0 – 249	60
250 – 499	80
En az 500	84

Ahmet Demir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya göre Şekil 9’da EPA Modeli’nin Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası için uygulanması sonucu elde edilen metan üretim grafiği görülmektedir. Elde edilen yıllık değerler toplandığında reaksiyonun hemen hemen tamamlandığı süre sonunda sahadan elde dillecek toplam metan miktarının 820.000.000  $m^3$  civarında olacağı görülmektedir.

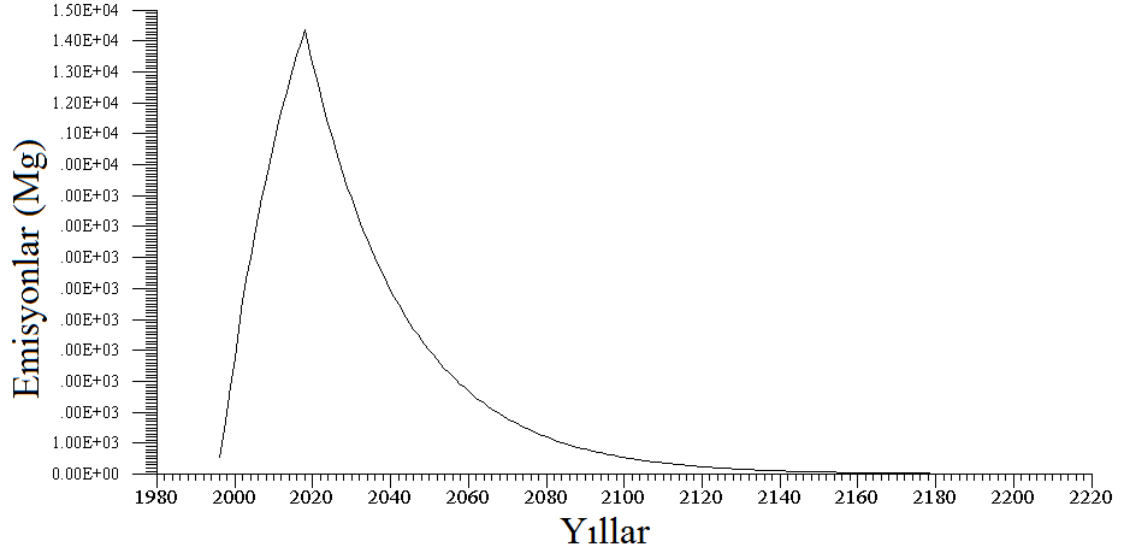
Anadolu yakasının belediye atıklarının bertaraf edildiği Kömürcüoda Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın kapasitesi de yaklaşık 20.000.000 tondur. Ancak atık miktarları daha az olduğu için sahanın ömrü daha uzun olacaktır. Bu verilerle EPA Modeli sahaya uygulandığında meydana gelecek metan miktarı Şekil 10'da verilmiştir. Buradan elde edilecek toplam metan miktarı da yaklaşık 816.000.000 m<sup>3</sup> civarındadır.”

### Projelendirilmiş Metan Emisyonları



Şekil 9. Odayeri Düzenli Depolama Sahası İçin EPA Modeli Sonuçları

## Projelendirilmiş Metan Emisyonları



**Şekil 10.** Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası İçin Epa Modeli Sonuçları

Şekil 9 ve 10'da görüldüğü gibi oluşacak CH<sub>4</sub>'ın büyük bir kısmı sahanın işletmede olduğu son yıllarda ve bunu takip eden yaklaşık 20-30 yılda ortaya çıkmaktadır. Şekil 9 ve 10'a göre 2000-2040 yılları arasında İstanbul'daki Odayeri ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahalarından oluşacak metan miktarları Tablo 6'da verilmiştir.



**Tablo 6.** Odayeri Ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahalarından 2000-2040 Yılları Arasında Oluşacak CH<sub>4</sub> Miktarları

Yıllar	Oluşan Metan Miktarları (m <sup>3</sup> /yıl)		Yıllar	Oluşan Metan Miktarları (m <sup>3</sup> /yıl)	
	Odayeri Depolama Sahası	Kömürcüoda Depolama Sahası		Odayeri Depolama Sahası	Kömürcüoda Depolama Sahası
2000	9.703.000	5.638.000	2021	15.700.000	19.110.000
2001	12.960.000	7.077.000	2022	15.090.000	18.360.000
2002	16.110.000	8.386.000	2023	14.500.000	17.640.000
2003	17.290.000	9.478.000	2024	13.930.000	16.950.000
2004	18.430.000	10.530.000	2025	13.380.000	16.290.000
2005	19.520.000	11.540.000	2026	12.860.000	15.650.000
2006	20.580.000	12.500.000	2027	12.350.000	15.030.000
2007	21.590.000	13.430.000	2028	11.870.000	14.440.000
2008	22.560.000	14.330.000	2029	11.400.000	13.880.000
2009	23.490.000	15.190.000	2030	10.960.000	13.330.000
2010	24.380.000	16.010.000	2031	10.530.000	12.810.000
2011	23.430.000	16.800.000	2032	10.110.000	12.310.000
2012	22.510.000	17.570.000	2033	9.717.000	11.830.000
2013	21.630.000	18.300.000	2034	9.336.000	11.360.000
2014	20.780.000	19.000.000	2035	8.970.000	10.920.000
2015	19.960.000	19.680.000	2036	8.618.000	10.490.000
2016	19.180.000	20.330.000	2037	8.281.000	10.080.000
2017	18.430.000	20.950.000	2038	7.956.000	9.682.000
2018	17.710.000	21.550.000	2039	7.644.000	9.303.000
2019	17.010.000	20.700.000	2040	7.344.000	8.938.000
2020	16.340.000	19.890.000	<b>Toplam</b>	<b>624.139.000</b>	<b>587.282.000</b>

Tablo 6'dan, 2040 yılına kadar Odayeri Düzenli Depolama Sahası'nda 624.139.000 m<sup>3</sup> (780.173,8 ton dizel); Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası'nda ise 587.282.000 m<sup>3</sup> (734.102,5 ton dizel) metan oluşacağı görülmektedir. Bu miktar enerji kaynağı ve sera gazı etkisi bakımından önemlidir.

Her iki düzenli depolama alanında oluşan gazın pratikte yaklaşık olarak %50'sinin kazanılabileceğini unutmayalım. 1m<sup>3</sup> metanın 0,8 litre dizel yakıtına eşdeğer olduğu düşünülürse bu kadar önemli miktarlardaki metanın değerlendirilmesinin gerekliliği açıkça görülmektedir.

Saf metan gazının ısı değeri; 33,810 kJ/m<sup>3</sup> dır.

Her iki depolama alanında 2008 yılında 36,890,000 m<sup>3</sup> ( 24,790 ton diesele eşdeğer ) metan gazı oluşacağı tahmin edilmektedir. Bu değer saatlik değere dönüştürülürse 4200 m<sup>3</sup>/saat metan gazı salınacaktır.

$$33,810 \text{ kJ} \times 4,200 \text{ m}^3 = 142,002,000 \text{ kJ}$$

**Elde edilen gaz içten yanmalı motorda enerji üretimi için kullanılacaksa bu motor 13,650 kJ metan gazından bir kilowatt enerji üretir. Bunun anlamı depolama tesislerinin kW olarak metan oluşturma kapasitesi 10,403 kW dır ve 2008 yılı kWh değeri;**

$$10,403 \times 8,760 = 91,130,280 \text{ kWh} = 91,130 \text{ megawatt saat (MWh)}$$

İstanbul'da her iki depolama alanından yılda teorik olarak yaklaşık 91,130 MWh enerji üretilecektir. Pratikte depolama alanlarından elde edilen gazın ancak yarısı elde edilebileceği için gerçekte 45 565 MWh elektrik enerjisi üretilebilir.

Bir ailenin yılda 2400 kWh enerji tükeceğini kabul edecek olursak 19.000 ailenin (95.000 nüfuslu bir şehrin) bir yıllık enerji ihtiyacının sağlanacağı unutulmamalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. California Waste Management Board, (1989), Volume 1, "Landfill Leachate Monitoring and Control Systems", Procedural Guidance Manual for Sanitary Landfills.
2. Christensen, T.H., Cossu, R., (1998), "Basic Processes in Landfills", Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate, CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 2-4 December 1998, Cagliari, Italy
3. Eaton, D., Jones, S.R., Patterson, L.M., Pennington, D.G., Roberti, D.A., Chandler, R.E., (1999), "A Guide to the Revegetation and Environmental Restoration of Closed Landfills", California Environmental Protection Agency, Integrated Waste Management Board.
4. El-Fadel, M., Findikakis, A.N., Leckie, J.O., (1997) "Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling", *Journal of Environmental Management*, 50:1-25.
5. Gardner, N., Manley, B.J.W., Pearson, J.M. (1993). Gas emissions from landfills and their contributions to global warming. *Applied Energy*, 44, 165-174.
6. Gendebien, A. , Pauwels, M. Constant, M. Damanet, M.J., Nyns, E.J., Willumsen, H.C., Butson, J., Fabry R., Ferrero, G.L. (1992), "Landfill Gas: From Environment to Energy", Commission of the European Communities, Final Report, Luxemburg.
7. Gujer, W., and Zehnder, A. J. B., (1983), "Conversion processes in anaerobic digestion", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 15, No. 8/9, pp. 127-167.
8. Lisk, D.J., (1991), "Environmental Effects of Landfills", *The Science of the Total Environment*, 100: 415-468.
9. Nastev, M., (1998), "Modelling Landfill Gas Generation and Migration in Sanitary Landfills and Geological Formations", PhD Thesis, Département de Géologie et de Génie Géologique, Faculté Des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec.
10. Pohland, F.G., Kim, J.C., (2000), "Microbially Mediated Attenuation Potential of Landfill Bioreactor Systems", *Water Science and Technology*, 41:3, 247-254.

11. Reinhart, D.R., Al-Yousfi, A.B., (1996), "The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics", *Waste Management and Research*, 14, 337-346.
12. Speece, R.E., (1996), "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee, USA.
13. Stegmann, R., Spendlin, H.H., (1985), "Research Activities On Enhancement Of Biochemical Processes In Sanitary Landfill", *Water Pollution Res.J.Can.*, 4:2,572-591.
14. 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 Lifa", *Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 4-8 October, Cagliari, Italy.*
15. Wall, D.K., Zeiss, C. (1995). "Municipal landfill biodegradation and settlement", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 121: 214-224.
16. A.Demir ve Arkadaşları (2002). 'Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Oluşabilecek Ch<sub>4</sub> Miktarının Tesbiti', *GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 06-08 Haziran 2002, şanlıurfa.*