

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ÖZET	v
SUMMARY	vi
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL KISIMLAR	3
2.1 KATI ATIK TANIMI VE UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	3
2.1.1 Giriş	3
2.1.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri	4
2.1.2.1 Kompostlaştırma	5
2.1.2.2 Yakma	6
2.1.2.3 Geri Kazanma	6
2.1.2.4 Düzenli Depolama	7
2.1.2.4.1 Düzenli Depolama Yeri için Hazırlanacak Plan	8
2.1.2.4.2 Düzenli Depo için Uygun araziler	8
2.1.2.4.3 Düzenli Depolama için Uygun Olmayan Araziler	9
2.1.2.4.4 Düzenli Depolama için Alanın Hazırlanması	9
2.1.2.4.5 Düzenli Depolama Sahalarındaki Ayrışma Prosesleri	10
2.2 DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZLARI	13
2.2.1 Giriş	13
2.2.2 Başlıca Depo Gazı Bileşenleri	13
2.2.3 Eser Depo Gazı	17
2.2.4 Depo Gazı Oluşumu	18

2.2.4.1 Depo Gazı Oluşumunu Etkilen Faktörler	21
2.2.4.1.1 Nem İçeriği	23
2.2.4.1.2 Nurient İçeriği	25
2.2.4.1.3 pH Seviyesi	26
2.2.4.1.4 Sıcaklık	26
2.2.4.1.5 Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli	28
2.2.4.1.6 Partikül Boyutu	28
2.2.4.1.7 Atık Yoğunluğu	28
2.2.5 Depo Gazının Çevreye Olan Zararları	29
2.2.5.1 Depo Gazının Bitkilere Olan Zararı	30
2.2.5.2 Yangın ve Patlama Tehlikesi	31
2.2.5.3 İstenmeyen Kokular	31
2.2.5.4 Yer altı Suyu Kirliliği	31
2.2.5.5 Hava Kirliliği	31
2.2.5.6 Global Isınma	32
2.3 DEPO GAZININ HAREKETİ ve TAŞINIM MEKANİZMASI	32
2.3.1 Depo Gazının Hareketi	32
2.3.2 Depo Gazı Hareketinin Sebep Olduğu Problemler	34
2.3.3 Depo Gazı Hareketini Etkileyen Faktörler	34
2.3.3.1 Nem İçeriğinin Rolü	36
2.3.3.2 Akışkanlığın Rolü	36
2.3.4 Depo Sahasında Gaz Göçünün Modellenmesi	39
2.4 DEPO GAZLARININ TOPLANMASI VE KONTROL YÖNTEMLERİ	40
2.4.1 Giriş	40
2.4.2 Depo Gazının Pasif Kontrolü	41
2.4.2.1 Depo Sahası Örtüsünde Açılacak Basınç Düşürücü Menfezler	42
2.4.2.2 Saha Çevresine Yerleştirilen Tutucu Hendekler	42

2.4.2.3 Saha çevresine yerleştirilen Bariyer Hendekler veya Harç Duvarları	43
2.4.2.4 Depo Sahası İçersindeki Geçirimsiz Bariyerler	44
2.4.3 Depo Gazının Çevre Tesisler İle Aktif Kontrolü	
2.4.3.1 Saha Çevresi Gaz Çekme ve Koku Kontrol Kuyuları	45
2.4.3.2 Saha Çevresinde Gaz Çekme Hendekleri	47
2.4.3.3 Saha Çevresi Hava Enjeksiyon Kuyuları	47
2.4.4 Depo Gazının Düşey ve Yatay Gaz Çekme Sistemleri ile Kontrolü	48
2.4.4.1 Düşey Gaz Çekme Sistemleri	48
2.4.4.2 Yatay Gaz Çekme Kuyuları	49
2.4.4.3 Gaz Çekme sistemlerinin Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler	50
2.4.5 Depo Gazlarının Kullanılması	51
2.4.5.1 Depo Gazlarının Yakılması	51
2.4.5.2 Depo Gazının Doğal Gaz Şebekesinde Kullanılması	53
2.4.5.3 Depo Gazının Kimyasal Madde Üretiminde Kullanılması	54
2.4.6 Depo Gazının Arıtılması	54
2.4.7 Depo Gazlarının Elektrik Enerjisi Olarak Değerlendirilmesi	55
2.4.7.1 Depo Gazı Projelerinin Ekonomik Yararları	59
3. MALZEME YÖNTEM	61
3.1 KEMERBURGAZ HASDAL DEPOLAMA SAHASININ TANITIMI	61
3.1.1 Kemerburgaz Hasdal Depo sahasında Varolan Gaz Toplama sistemi	61
3.1.2 Hasdal Enerji Üretim Tesisinin Ekonomik Açından Değerlendirilmesi	65
3.2 DEPO GAZLARINI MODELLEME ÇALIŞMALARI	67
3.2.1 Giriş	67
3.2.2 Kompleks Matematiksel Modeller	67
3.2.2.1 Katı Atıkların 1. Derece Kinetiğe göre Ayrılması	67
3.2.2.2 Palos Verdes Modeli	68
3.2.2.3 Sheldon Arleta Modeli	69

3.2.2.4 Scholl Canyon Modeli	70
3.2.2.5 Emcon Modeli	70
3.2.2.6 P.G.E (Pasifik Gaz ve Elektrik) Modeli	72
3.2.3 EPA Depo Sahası Gazı Emisyonları (LANDGEM) Modeli	72
3.2.3.1 Depolama Emisyonları	73
3.2.3.2 Metan ve Karbondioksit	74
3.2.3.3 Hava Kirleticileri	75
3.2.3.4 NMOC (Metan Dışı Organik Bileşik)	75
4. BULGULAR	76
4.1 Kemberburgaz (Odayeri) Depolama Sahasının Depo Gazlarını Modelleme Çalışması	76
4.1.1 Kemberburgaz (Odayeri) Depolama Sahasının Tanıtılması	76
4.1.2 EPA LANDGEM (Depo Sahası Gazı Emisyonları Modeli) Modelinin Odayeri Depo Sahasına Uygulanması	77
4.1.3 Odayeri Depolama Sahasından Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi ve Ekonomik analiz	83
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	116

2. GENEL KISIMLAR

2.1 KATI ATIK TANIMI VE UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

2.1.1 Giriş

Katı atık, insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan istenilmeyen ve toplumun menfaati gereği toplanıp uzaklaştırılması gereken katı nesnelere denir. Katı atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde toplanıp taşınması ve bilimsel esaslara uygun olarak uzaklaştırılması gereklidir [1].

Evlerden çıkan çöpler ticari ve endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan artıklar madencilik ve tarımla çalışmalarda, su tasfiyesi tesislerinde ortaya çıkan artık maddeler katı atıklar olarak tanımlanmaktadır.

Çöp veya katı atıklar denildiğinde, sadece taşınabilir veya elden çıkması düşünülen yiyecek, tekstil, ambalaj malzemesi, kül, cüruf gibi atık değil aynı zamanda her türlü zehirli maddelerde gelir. Hiçbir zaman büyük şehir çöpleri bir esnaf, bir sanayi veya bir sebze, meyve işleyen tesislerin çöpleri ile kıyaslanamaz. Evsel çöpler, esnaf çöprü, iri hacimli çöpler ve sokak çöpleri belediyeler tarafından toplanıp uzaklaştırılmaktadır.

Büyükşehirlerde ilçe belediyeleri çöp toplama ve taşımadan sorumlu iken; Büyükşehir belediyesi de bertaraf işlemlerinden sorumludur.

Genel olarak katı atığın birim nüfus başına üretim miktarı her sene artmaktadır. Bu artış, ekonomik ve sosyal gelişmenin bir sonucudur. İstanbul'da günde yaklaşık 9000-10.000 ton katı atık çıkmaktadır. İstanbul da çıkan çöplerin içeriği bölgelere ve mevsimlere göre değişmektedir. Ortalama değerler Tablo 2.1'de gösterildiği gibidir. Ülkemizde kişi başına çöp üretimi ortalama 1,39 kg/kişi-gün iken Avrupa ülkelerinde 1,5-2 kg/kişi-gün, ABD'de ise 3 kg/kişi-gün dür [2] .

Tablo 2.1 : İstanbul'da çıkan çöplerin muhtevası [3].

Parametre	Miktar %
Organik madde	42.97
Kağıt	7.76
Plastik	4.8
Naylon	9.37
Tekstil	5.36
Cam	6.2
Metal	5.8
Çocuk bezi	8.46
Kül ve diğerleri	9.28

2.1.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Katı atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden etkisiz hale getirilmesi ve ayrıca içerisindeki yeniden değerlendirilebilecek ekonomik değeri yüksek maddelerin geriye kazanılması amacıyla katı atıkların bertarafı zorunludur [1].

Katı atıkların bertaraf edilmesinde yakma, geri kazanma, kompost yapma, düzenli depolama, denize boşaltma ve ısıl parçalama gibi metotlar kullanılmaktadır. Bu metotların hangisi kullanılırsa kullanılsın sonuçta araziye bırakılması gereken işe yaramayan atıklar ortaya çıkacaktır. 1000 kg. çöp yanınca, yaklaşık 350 kg kül ve cüruf oluşur. Geri kalan 650 kg çöp ise 5000-6000 m³ gaz halinde atmosfere yayılır. Ayrıca, 1000 kg evsel atıktan 200-500 kg kompost, 350-650 kg işe yaramayan atık, 150 kg da gaz ve buhar çıkmaktadır. Çöpün yakılması halinde, ağırlıkça %50'si, kompost yapılması halinde ise, %65'i depolamaya gönderilmesi gereken düzenli atıklardan oluşmaktadır. Bu nedenle düzenli depolama katı atık uzaklaştırılmasında daima kullanılan ve kullanılacak olan bir metottur [1]. Tablo 2.2'de bazı ülkelerde atık bertarafında kullanılan yöntemler gösterilmiştir [4].

Tablo 2.2 : Belediye atıklarının işlenmesi ve bertarafı [4]

Ülke Adı	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Depolama Miktarı	Yakma Adet	Kompost Adet	Geri Dönüşüm Adet
ABD	177 500	67	16	2	15
İngiltere	30 000	90	8	0	2
Almanya	25 000	46	36	2	16
Fransa	20 000	45	42	10	3
İtalya	17 500	74	16	7	3
Kanada	16 000	80	8	2	10
Hollanda	7700	45	35	5	16
İsviçre	3700	12	59	7	22
Belçika	3500	43	54	0	3
İsveç	3200	34	47	3	16
Avusturya	2800	34	47	3	16
Portekiz	2650	85	0	15	0
Danimarka	2600	29	48	4	19
Finlandiya	2500	83	2	0	15
Norveç	2000	67	22	5	7
İspanya	1330	65	6	17	13
İrlanda	1100	97	0	0	3
Lüksemburg	180	22	75	1	2
Türkiye	14 600	81.5-77.5	1<	1.5	17-21

2.1.2.1 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, katı atık organik bileşenlerinin, özellikle mutfak ve bahçe atıklarının kontrol edilen şartlar altında biyolojik ayrışması şeklinde tarif edilebilir. Kompostlaştırma'da atık maddeler tam stabil hale getirilmeden kısmen kararlı halde tutulurlar. Kompostlaştırma ile organik atıklar toprak şartlandırıcısı olarak kullanılan ve humusa benzeyen yarı kararlı bir ürüne dönüşürler [1].

Kompost üretimi aerob ve anaerob ortamda gerçekleşebilir. Aerob hal, kokusuz ve çevreyi rahatsız etmeyen bir prosestir. Fermantasyon süresi kısadır. Anaerob yöntemle kompost elde etmede çevreye hoş olmayan kokular yayılır, proses çok uzun zamanda tamamlanır ve dışarıdan ısı verilmesi de gerekir. Dolayısıyla anaerob usule göre

kompost üretilmesi halinde katı atıkların sıcaklığı aerob kompostlaştırmada olduğu gibi 65 °C'a kadar çıkamaz. Kompostlaştırma sadece ekonomik değer taşıyan bir katı atık bertaraf etme metodu değil, bunun yanında araziye gömülmesi gereken çöplerin yaklaşık 2/3 oranında azaltan bir yöntem olarak görmek gerekmektedir [1].

2.1.2.2 Yakma

Yakma, katı atıkların hacmini ve kütlesini azaltarak steril bir hale getirmek ve eğer mümkün ise enerji elde etmektir. Böylece, çöp ve çeşitli atıkların toplum sağlığına ve çevreye yaptıkları olumsuz etkiler ortadan kaldırılmış ve enerjiye dönüştürülmüş olur [4].

Çöplerin yakılabilmesi için başlangıçta kurutucu ve tutuşturucu olarak bir yakıtı ihtiyaç vardır. Yakma tesislerinde koku meydana getiren yüksek moleküllü organik maddelerin yanabilmesi ve termik olarak parçalanabilmesi için minimum sıcaklık 800 °C olmalıdır. Böylece karbonhidrat ve benzerleri karbondioksit ve su buharına dönüşebilir. Külün eriyip ızgara ve fırına yapışmaması için maksimum sıcaklık 1200 °C'ı aşmamalıdır. Yanma olayı, kuruma, gazlaşma, tutuşma, karbonun gazlaşması, bakiye karbonun yanması şeklinde beş kademedir oluşmaktadır [1].

Bu yöntem son yıllarda depo alanlarının azlığı ve arazi fiyatlarının artması sebebiyle birçok ülke tarafından benimsenmiş ve uygulanmaktadır. Geri dönüşümü mümkün maddelerin ayrılmasından sonra, katı atık nem oranı ve kalorifik değerinin uygun olması halinde, gerekli hava kalitesi standartlarının sağlanması şartıyla bu yöntemin uygulanması ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olabilir [5].

2.1.2.3 Geri Kazanma

Atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesine geri kazanma denir. Katı atıkların içindeki muhtelif maddeleri ham madde ve yakıt kaynağı olarak kullanmak veya katı atıklardan kompost üretmek, katı atıkları yakarak enerji üretmek ve katı atıklardan benzer şekilde yararlanmak katı atıkların geri kazanılmasıdır [1].

Bütün ülkelerde katı atıklardan geri kazanma işlemleri yaygındır. Bazı şehirlerde çöp dökme yerlerinde ayıklama ve geri kazanmaya izin verilirken, bazılarında sadece çöplerin üretim veya oluşum yerinde katı atıkları oluşturan madde gruplarına ayrılması suretiyle geri kazanmaya izin verilmektedir [1].

2.1.2.4 Düzenli Depolama

Düzenli depolamanın özellikleri kısaca şöyledir [1].

1. Katı atıklar çevreye kötü kokular yaymaz,
2. Katı atıklar rüzgarlarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez,
3. Zararlı ve hastalık taşıyıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar,
4. İçinde başlıca karbon dioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Her iki grup yöntemlerle depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir,
5. Süzüntü ve sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yeraltı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunmuştur,
6. Depo tesisine evcil yabani hayvanların girmesi, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur.

Düzenli depolama şu anda şehirlerin büyük çoğunluğu için en ucuz bertaraf etme yöntemidir. Düzenli depolamada çöplerin en az 15 cm, normal olarak 40-100 cm kalınlıkta bir toprak tabakası ile örtülmesi gereklidir. Depolamada her günün sonunda ve 1-7 günlük işlerde en az 15 cm, ortalama 25 cm'lik toprak, ara örtü olarak 7-365 günlük örtü için 30-40 cm kalınlık; son örtü için 60 cm kalınlıkta toprak tabakası kullanılır. Düzenli depolama yerleri üzerine bina yapımına izin verilmez. Ancak zemindeki oturmalara karşı koyabilecek nitelikte ahşap veya uygun malzemeden baraka, büfe, sundurma gibi yapılar inşa edilebilir. Bunu yanında, patlayıcı niteliği olan metan gazının yangın ve patlamalara sebep olabileceği unutulmamalıdır [1].

2.1.2.4.1 Düzenli Depolama Yeri İçin Hazırlanacak Plan

Herhangi bir şehir için alternatif depolama alanları, başlarında bir çevre mühendisinin bulunduğu, içlerinde jeolog, inşaat mühendisi, v.d. bilim dallarından kişilerin görev aldığı bir grup tarafından incelenmelidir. Çeşitli parametreler göz önünde bulundurularak uygun depo yeri seçilir. Bu sahaların 1/1000'lik haritaları alınmalıdır. ÇED raporu hazırlanması zorunludur [1].

Depolama yerine ilişkin hazırlanacak plan ve projelerde, saha tabanının nasıl hazırlanacağı, drenaj sızdırmazlar tabakalar ve gaz kontrolü yapılarının nasıl inşa edileceği gösterilmelidir. Deponun nasıl işletileceği, yaklaşım yolları, toprak depoları belirtilmelidir. Deponun olup tamamlanan bölgelerinin nasıl terk edileceği, nasıl yeşillendirileceği, altyapı ve servis binalarına ilişkin ayrıntılar bulunmalıdır [1].

2.1.2.4.2 Düzenli Depolama İçin Uygun Araziler

Düzenli depolama alanı için uygun araziler aşağıdaki gibidir [1].

1. Kurak, tuzlu, susuz, çorak ve düşük verimli araziler,
2. Çok az ürün veren topraklar,
3. İçinde su olmayan maden, taş, kum, çakıl ve kil ocakları,
4. Maden ocakları üzerinde zamanla ortaya çıkan ve üzerine inşaat yapılamayan çöküntü araziler,
5. Yamaçlar (meğil 1/3 den fazla olmamalıdır),
6. Büyük ulaşım yollarının bağlantı yerleri arasında kalan boş alanlar,
7. Yer altı suyunu kirlenme açısından tehdit etmeyen yerler,
8. Deniz kenarında çorak, ekime elverişsiz zaman zaman deniz altında kalabilen yerler,
9. Taşkın sahaları dışındaki yerler,
10. Konutlara 1 km ve daha uzak yerler,
11. Hava alanlarına 3 km veya daha uzak yerler [1].

2.1.2.4.3 Düzenli Depolama İçin Uygun Olmayan Araziler

Düzenli depolama alanı için uygun olmayan araziler aşağıdaki gibidir [1].

1. İçme suyu temin edilen veya edilecek olan havzaların içinde,
2. Sel ve taşkın tehlikesi olan,
3. Heyelan ve çığ tehlikesi olan yerlerde,
4. Tabiatı koruma işlemlerinin uygulandığı,
5. Halkın mesire ihtiyacına ayrılmış,
6. Meskun bölgelerin depolama yerinden geçen hakim rüzgarların altında kaldığı yerler,
7. Konutlara 1000 m den yakın olan yerler [1].

2.1.2.4.4 Düzenli Depolama İçin Alanın Hazırlanması

Düzenli depolamada yaklaşım yolları, kantar idare binası, ağaç ve çitler, garaj veya sundurma, özel atık deposu ve uzaklaştırma yeri, çalışılan alan, hendekler, sert satırlı yol ve giriş-çıkışlar gösterilmelidir. Sahada akarsu varsa drene edip saptırılmalı veya menfez içine alınmalıdır [1].

Depo tabanına sızan suların yeraltı ve yerüstü sularının kirletmemesi için taban geçirimsiz olmalıdır. Katı atık yönetmeliğine göre, depo tabanına en az 60 cm kalınlığında kil serilerek sıkıştırılmalı, sıkıştırılmış zemin k hidrolik geçirimsizlik katsayısı en az 1×10^{-8} m/sn olmalıdır [1].

Saha tabanının hazırlanması sırasıyla şu kademelerle gerçekleşir;

- Sahanın düzeltilmesi,
- Kontrol tabakasının altına uygun malzemenin serilmesi,
- Polimerik tabakanın serilmesi,
- Membranı çevresel etkilerden korumak için 30-40 cm. kalınlığında iyi öğütölmüş bir malzemeyle kaplanması [6].

2.1.2.4.5 Düzenli Depolama Sahalarındaki Ayrışma Prosesleri

Düzenli depo sahası içerisinde gerçekleşen ayrışma prosesleri çevresel etkilerin anlaşılmasında ve bu etkilerin kontrol edilmesinde önemlidir.

Depo sahalarında depolanan katı atıklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerin etkisiyle ayrılmaktadırlar. Bunun sonucunda katı faz (atık), sıvı faz (sızıntı suyu), ve gaz fazı (biyogaz) olmak üzere 3 faz oluşmaktadır. Bu ürünlerin tamamı depo sahasının yönetiminde önem taşımaktadır [7].

Fiziksel Ayrışma : Fiziksel ayrışma, farklı materyallerin atıklardan ayrılması ve ayrışma sonunda atığın fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişiklikler olarak tanımlanabilir. Atık bileşenlerinin suyla teması sonucunda bozunarak yer değiştirmesi ile fiziksel ayrışma meydana gelmektedir. Basınç gradyanına bağlı olarak atık bünyesinden ayrılan parçacıklar akışa geçmektedirler ve konsantrasyon gradyanına bağlı olarak da difüzyon gerçekleşmektedir. Atığın su muhtevası arttıkça daha fazla parçacık kopmaları meydana gelmektedir [7].

Kimyasal Ayrışma : Kimyasal reaksiyonlar sonucunda atık içerisindeki kompleks bileşikler daha stabil ve basit bileşiklere dönüşür ve atığı oluşturan bileşenlerin özelliklerinde çeşitli değişiklikler meydana gelir [8]. Depo sahası gövdesinde meydana gelen temel kimyasal reaksiyonlar atık bileşenlerinin hidrolizi, çözünme/çökmesi, sorpsiyon/desorpsiyonu ve iyon değiştirmesi olarak sayılabilir [7].

Biyolojik Ayrışma : Biyolojik ayrışma, depo sahasında atıkların maruz kaldığı en önemli proseslerdir. pH ve redoks potansiyelleri gibi değişkenler üzerindeki etkisinden dolayı fiziksel ve kimyasal ayrışmayı da kontrol eden bir proseslerdir. Metan üretebilen tek proseslerdir [7].

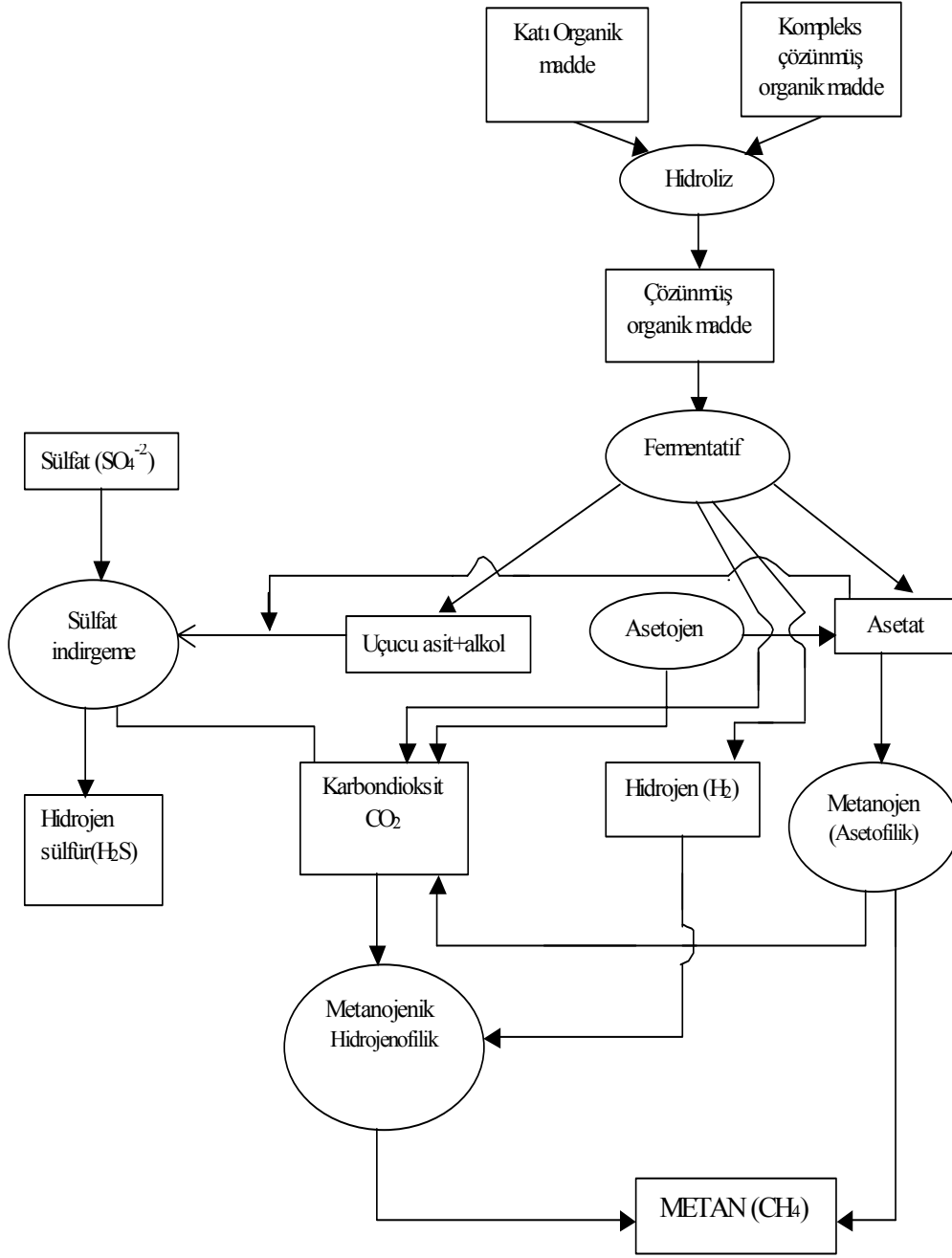
Kendi hallerine bırakıldıkları zaman mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oksijen tükenene kadar aerobik olarak ayrışan organik maddeler, daha sonra anaerobik olarak ayrışır ve önemli miktarda karbondioksit ve metan içeren bir gaz oluşur. Fermantasyon tamamlandığı zaman, geriye sadece yavaş bir şekilde ayrışan artık bir madde kalır. Bu

artık organik madde stabilize olmuştur. Optimum şartlar altında atık stabilizasyonu 10-20 yılda tamamlanmaktadır [9]. Katı atık ayrışmasının yan ürünleri şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Katı atık ayrışmasının yan ürünleri [7]

Katı atıklar depo sahasına depolandıktan sonra biyolojik ayrışma proseslerini oluşturan iki temel ayrışma başlar, aerobik ayrışma ve anaerobik ayrışma. Aerobik ayrışma, katı atık depolama sahasına depolanıp üzeri örtüldükten sonra ortamda oksijen bulunduğu için organik maddelerin ayrışması, aerobik şartlar altında gerçekleşir [10]. Bu aşamada asit şekerler hızla parçalanırken, lignin, tanin gibi doğal polimerlerin biyolojik ayrışması daha yavaş gerçekleşir. Bu safhada kimyasal ara ürünlerle birlikte çoğunluğu karbondioksit ve amonyak olan ve içersinde önemli miktarda su bulunan bir gaz karışımı oluşur. Atık depolandıktan sonra ısı açığa çıkmaya başlar ve sıcaklık hızla artar. Daha sonra atık içersindeki oksijen azalır ve atığın ayrışması anaerobik şartlar altında devam eder [6]. Katı haldeki organik karbon bir grup bakteri tarafından karbonun en kararlı iki hali olan metan ve karbondioksite dönüştürülür. Şekil 2.2'de anaerobik ayrışma safhaları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Anaerobik ayrışma safhaları ve önemli bakteri grupları [10]

2.2 DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZLARI

2.2.1 Giriş

Depo gazı, büyük miktarlarda bulunan ana gazlardan ve düşük miktarlarda bulunan eser gazlardan oluşmaktadır. Ana gazlar katı atık bünyesindeki organik maddenin ayrışmasıyla oluşmaktadır. Eser gazlar az miktarlarda bulunmalarına rağmen toksik etki gösterebilirler ve halk sağlığını tehdit edebilirler [8].

2.2.2 Başlıca Depo Gazı Bileşenleri

Depo alanlarında bulunan gazlar amonyak, karbondioksit, karbon monoksit, hidrojen, hidrojen sülfid, metan, nitrojen ve oksijendir. Depo gazlarının depo alanlarında bulunma oranları ve özellikleri Tablo 2.3’de verilmiştir. Tablo 2.4’de ise bu gazların moleküler ağırlıkları ve yoğunlukları gösterilmiştir [8].

Metan ve Karbondioksit, ayrışabilen evsel katı atıkları anaerobik ayrışması neticesinde üretilen başlıca gazlardır. Metanın havadaki konsantrasyonu %5-15 arasında olduğu zaman patlayıcıdır. Metan konsantrasyonu, bu kritik seviyeye ulaştığı zaman depo alanında sınırlı miktarda oksijen bulunduğundan dolayı patlama tehlikesi olur. Bununla birlikte, patlama seviyesindeki metan karışımı, depo dışına göç eden metan gazı ve havanın karışmasıyla oluşur. Bu gazların sızıntı suyundaki tahmin edilen konsantrasyonu sızıntı suyu ile temas halinde olan gaz fazındaki konsantrasyonuna bağlıdır. Çünkü karbondioksit sızıntı suyunun pH’ını etkileyecektir [8].

Depo gazının en önemli özelliği, metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp başına 20.000 kJ civarında gerçekleşmektedir. Depo gazlarının önemli özelliğinden biride potansiyel patlayıcılığı, boğuculuk, zehirlilik ve kötü kokusudur [2].

Tablo 2.3: Depo gazında Bulunan Tipik Bileşenler [8]

Bileşen	Yüzde(Kuru hacim esas alınarak)
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0.1-1.0
Sülfür,disülfür,merkaptan vb	0-1.0
Amonyak	0.1-1.0
Hidrojen	0-0.2
Karbonmonoksit	0-0.2
Eser bileşenler	0.01-0.6
Özellik	Değer
Sıcaklık °C	68-88
Özgül ağırlık	1.02-1.06
Nem muhtevası	Doygun
Isı Değeri kW/m ³	14900-20500

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. CH₄, O₂'nin mevcut olduğu durumlarda patlayıcı bir gazdır. Havada %5 oranında CH₄ bulunması en düşük patlayıcılık sınırı (LEL) olarak adlandırılır. LEL seviyesine eşit veya daha yüksek konsantrasyonlar, binalar, kanallar veya depo sahasına yakın diğer yapılar için tehlikelidir. CH₄ konsantrasyonları bu kritik seviyeye ulaştığında, atık içerisindeki O₂ tamamen tükenmiş olduğundan depo sahalarında patlamaların meydana gelmesi gibi direkt bir tehlike söz konusu değildir. Ancak bazı durumlarda depo gövdesinde ve sahada yangınlar çıkabilir. CH₄'ın daha az ancak yine de önemli bir kısmı, sahanın yakınında toprak örtüsüne doğru hareket eder veya saha içerisindeki veya civardaki boşluklarda birikir. Ayrıca CH₄'ın global ısınmaya etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. CO₂ ve su buharından sonra, infrared ışınlarını tutan üçüncü önemli gaz CH₄'dır. Her bir CH₄ molekülü, bir CO₂ molekülünün absorblayabileceği infrared fotonlarının 23 kat daha fazlasını absorblayabilir. Ancak, atmosferde 83 kat daha az miktarda CH₄ molekülü bulunduğundan, CH₄'ın sera etkisi CO₂'nin sebep olduğu sera etkisinin 1/4'ü kadardır [11].

Öte yandan, depo sahalarından oluşan CH₄'ın bir enerji kaynağı olarak kullanılması düşüncesi, son yıllarda ortaya çıkmıştır. CH₄ konsantrasyonu hacimce %35 olduğunda gazın bu amaçla kullanılması ekonomiktir. Doğal gazın ısı değeri 30,8 MJ/m³ (29,2 Btu/m³) olduğu göz önüne alındığında, %50 CH₄ ihtiva eden depo gazının, ısı değeri 15,1 MJ/m³ (14,3 Btu/m³) olan orta dereceli bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir [2].

Depo gazındaki diğer önemli bir gaz da renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan karbondioksittir. CO₂ havadan daha ağırdır. Zehirli bir gaz olmamasına rağmen solunum sisteminde oksijenin yerini alarak hayati tehlike göstermektedir. Hidrojen gazı, organik maddenin biyolojik ayrışmasının ilk aşamalarında oluşmaktadır.

Hidrojen hafif bir gazdır ve atmosfere doğru yükselme eğilimindedir. Yanıcıdır ve %4-7 oranında patlayıcı olabilir.

Azot ve oksijen depo gazları içinde ancak atmosferik havanın girişiyle bulunmaktadırlar. Azot, inert bir gaz olup metanın yanıcılığı üzerindeki etkisinden dolayı önem taşımaktadır. Hidrojen sülfür; zehirli ve yanıcıdır. Keskin bir kokuya sahiptir. Karbonmonoksit, renksiz, kokusuz, yanıcı ve zehirli bir gazdır. Metallerde depo gazı içinde buhar basınçları ve sıcaklıktan dolayı bulunabilmektedirler [2].

Gaz	Formül	Birim ağırlık	Alt kalorifik değer	Kritik Sıcaklık	Havadaki Tutuşma Aralığı	Yanma Hızı	Minimum Tutuşma Enerjisi	Tutuşma Sıcaklığı	Su Çözünürlüğü	Özellikler
		Kg/m ³	Kg/m ³	C ⁰	Hac%	M/s	MJ	C ⁰	g/L	
Metan	CH ₄	0,717	35.600	-82,5	5/15	0,4	0,6-0,7	600	0,0645	Kokusuz, renksiz, zehirli
Karbon Dioksit	CO ₂	1,977	-	31,1	-	-	-	-	1,688	Kokusuz, renksiz, duşuk konsantrasyonlarda zehirli
Oksijen	O ₂	1,429	-	-118,8	-	-	-	-	0,043	Kokusuz, renksiz, zehirli
Azot	N ₂	1,25	-	-147,1	-	-	-	-	0,019	Kokusuz, renksiz, zehirli değil
Karbon monoksit	CO	1,25	12.640	-139	12,5/74	0,5	-	600	0,028	Kokusuz, renksiz, zehirli, yavaş yanıcı
Hidrojen	H ₂	0,09	10.760	-239,9	4/74	2,8	0,05	560	0,001	Kokusuz, renksiz, zehirli duşuk konsantrasyonlarda zehirli
Hidrojen sülfür	H ₂ S	1,539	-	100,4	4,3/45,5	-	-	-	3,846	Renksiz, zehirli, kokulu
Hava		1,29	-	-	-	-	-	-	-	Kokusuz, renksiz, zehirli değil

Tablo 2.4 : Depo Gazı Bileşenleri ve Özellikleri [2]

2.2.3 Eser Depo Gazları

Depo sahalarındaki eser bileşenler iki temel kaynaktan sağlanır. Bu eser bileşenler depo sahasına giren atıklarla birlikte girer veya saha içinde gerçekleşen biyotik ve abiyotik reaksiyonlarla üretilir. Depo gazının içinde bulunan eser gazlar sıvı formda gelen atıklarla karışıktır, ancak bunlar uçucu olmaya meyillidirler uçucu olma eğiliminin sıvının buhar basıncıyla yaklaşık olarak doğru orantılı olduğu görülebilir.

Kaliforniya Atık Yönetim Kurulu'nun depolama gazı karakterizasyonu çalışmasının bir parçası olarak 66 depolama sahasında yapmış olduğu eser gazları analizlerinin sonuçları tablo 2.5'de verilmiştir. Eser depo gazlarının büyük bir çoğunluğu VOC (uçucu organik karbon) sınıfına girer. Yüksek miktarda VOC varlığı özellikle VOC içeren endüstriyel ve ticari atık olarak kabul edilmiş yaşlı depo sahalarında gözlenmiştir. Tehlikeli atık bertarafının yasaklandığı yeni depo sahalarında VOC konsantrasyonları çok düşüktür [1].

Tablo 2.5 : Kaliforniya daki 66 depolama sahasındaki gaz içersindeki eser gazlar [8]

KONSANTRASYON ppbV			
Bileşik	Minimum	Ortalama	Maksimum
Aseton	0	6,838	240.000
Benzen	932	2.057	39.000
Klorobenzen	0	82	1.640
Kloroform	0	245	12.000
1,1 Dikloroetan	0	2.801	36.000
Diklorometan	1.150	25.694	620.000
1,1-Dikloroetan	0	130	4.000
Dietyl klorid	0	2.835	20.000
Trans-1,2Dikloroetan	0	36	850
2,3-dikloropropan	0	0	0
1,2-Dikloropropan	0	0	0
Etilen bromür	0	0	0
Etilen diklorid	0	59	2.100
Etilen oksit	0	0	0
Etilen benzen	0	7.334	87.500
Metil etil keton	0	3.092	130.000
1,1,2-trikloroetan	0	0	0
1,1,1-Trikloroetan	0	615	14.500
Trikloroetilen	0	2.079	32.000
Toluen	8.125	34.907	280.000
1,1,2,2-Tetrakloroetan	0	246	16.000
Tetrakloroetilen	260	5.244	180.000
Vinilklorid	1.150	3.508	32.000
Styrene	0	1.217	87.000
Vinilasetat	0	5.663	240.000
Xylene	0	2.651	38.000

2.2.4 Depo Gazı Oluşumu

Bir depo sahası için gerekli gaz yönetim ekipmanlarının seçimi ve uygulanması, gaz üretim hızlarının, oluşan ürünlerin ve gaz bileşiminin tahmin edilmesini gerektirmektedir. Bu tür bir tahmin, teorik veya laboratuvar ve saha deneyimlerinden elde edilmiş deneysel sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Her iki durumda da gaz üretimini etkileyen biyokimyasal ve fiziksel faktörlerin ve bununla birlikte saha koşullarının iyi şekilde anlaşılması gerekmektedir [12].

Depo gazının oluşumu bir dizi faz sonucunda gerçekleşir. Bu fazlar aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 2.3'de gaz oluşumunun 5 kademesi şematik olarak gösterilmiştir

Şekil 2.3 Gaz oluşum kademeleri

Faz 1 - İlk Adaptasyon : Evsel katı atıklardaki organik maddeler çöp depo alanına dökülür dökülmez mikrobiyal ayrışmaya maruz kalırlar. Bu fazda biyolojik ayrışma aerobik şartlar altında gerçekleşir, çünkü belli bir miktar hava depo alanında tutulur. Atıkların ayrışmasını sağlayan aerobik ve anaerobik olan organizmaların esas kaynağı, günlük olarak atıkların üzerine örtülen nihai toprak örtüsüdür. Bu organizmaların diğer kaynakları çürütülmüş atık su arıtma tesisi çamurları ve geri devredilen sızıntı sularıdır [8].

Faz 2 - Geçiş Fazı : Bu fazda oksijen tüketilir, anaerobik şartlar gelişmeye başlar. Depo alanı anaerobik olduğundan, biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, azot gazına ve hidrojen sülfüre indirgenir. Anaerobik şartların başlangıcı, atıkların oksidasyon/redüksüyon potansiyeli ölçülerek izlenebilir. Nitratın ve sülfatın indirgenmesi için gerekli olan indirgenme şartları 50-100 milivolt civarında gerçekleşir. Oksidasyon/redüksüyon potansiyeli 150-300 milivolt civarında gerçekleşir. Oksidasyon/redüksüyon potansiyeli azalmaya devam ederken organik maddelerin metan ve karbondioksit dönüşümünü gerçekleştiren mikrobiyal topluluk, kompleks organik maddelerin organik asitlere ve diğer ara kademe ürünlere dönüştürüldüğü üç adım prosesine başlar. Faz 2'de oluşan sızıntı suyunun pH'ı, organik atıkların varlığı ve depo alanındaki CO₂'nin artması ile düşer [8].

Faz 3 - Asit Fazı : Asit fazında, geçiş fazında başlayan mikrobiyal aktivite önemli miktarda organik atıkların ve az miktarda oksijen gazının oluşmasıyla birlikte hızlanır. Üç-aşama prosesinin birinci aşaması, yüksek moleküler yapılı bileşiklerin (yağlar, proteinler, polisakkaritler, nükleer asitler gibi) mikroorganizmalarda karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaya uygun bileşiklere dönüştüğü aşamasıdır. Prosesteki ikinci aşama (asit oluşumu), birinci aşamada oluşan bileşenlerin asetik asit ve düşük konsantrasyonlu fulvik asit ve diğere daha karmaşık organik asitlere dönüştüğü mikrobiyal dönüşmeyi ihtiva eder. CO₂, Faz 3’de oluşan başlıca gazdır. Az miktarlarda hidrojen gazı da oluşabilir.

Oluşan sızıntı suyunun pH’ı, organik asitlerin varlığı ve CO₂’nin artması nedeniyle 5 veya daha düşük değerlere inecektir. Faz-3 boyunca organik atıkların sızıntı suyunda çözünmesi nedeniyle sızıntı suyunun BOI₅, KOI ve iletkenliği önemli miktarda artacaktır. Sızıntı suyunun pH’nın düşük olması nedeniyle, inorganik bileşenler, özellikle ağır metaller çözünebilir olacaktır. Bu fazda bir çok önemli nutrientler sızıntı suyundan çıkar. Eğer sızıntı suyu geri devredilmezse sistemde gerekli olan nutrientler kaybedilecektir. Eğer sızıntı suyu oluşmazsa, bu faz boyunca oluşan dönüşüm ürünleri depo alanı içinde kalır ve suda tutulur [8].

Faz 4 - Metan Fermantasyon Fazı : Bu fazda, asit fazında oluşan asetik asit ve hidrojeni CH₄ ve CO₂’ye çeviren ikinci grup mikroorganizmalar çoğunlukta bulunur. Bazı durumlarda, bu mikroorganizmalar Faz-3’ün sonuna doğru gelişmeye başlar. Bu dönüşümü gerçekleştiren mikroorganizmalar metanojenler olarak isimlendirilen anaeroblardır. Bu fazda metan ve asit oluşumu aynı anda gerçekleşmektedir. Bununla beraber asit oluşum hızı önemli miktarlarda düşmektedir [8].

Asitlerin ve hidrojen gazının CO₂ ve CH₄’e dönüşmesiyle birlikte depo alanı içindeki pH 6,8-8 arasında değişerek daha nötr bir değere yükselmektedir. Sızıntı suyu oluşumu ile pH yükselir, BOI₅, KOI konsantrasyonu ve iletkenliği azalır. Ayrıca sızıntı suyunda bulunan ağır metal konsantrasyonu azalır.

Faz 5 - Olgunluk Fazı : Bu faz mevcut ayrışabilir maddeler faz- 4'te CH₄ ve CO₂'ye dönüştükten sonra kolayca gerçekleşir. Bu fazda depo gazı oluşum hızı çok fazla azalır. Çünkü önceki fazlar etrafında mevcut nutrientlerin önemli bir kısmı sızıntı suyu ile giderilir ve depo alanında kalan besin maddeleri yavaş ayrışabilenlerdir. Bu fazda yavaş yavaş gelişen gazlar CO₂ ve CH₄'dür. Az miktarlarda azot ve oksijende bulunabilir.

FAZLARIN SÜRESİ: Depo gazının her bir fazının süresi, organik bileşenlerin depo alanındaki dağılımı, nutrientlerin varlığı, atığın nem muhtevası, nemin depo alanı boyunca hareketi ve ilk sıkışma gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin, birçok yığın çalılık bir arada depolanıp sıkıştırılırsa, C/N oranı ve nutrient dengesi gaz oluşumu için uygun seviyede olmayabilir. Yeterli miktarda nem olmadığı zaman gaz oluşumu yavaşlar. Sahaya dökülen maddelerin yoğunluğunun artması nemin atık içerisinde her noktaya ulaşmasını azaltır. Böylelikle dönüşümün hızı ve gaz oluşumu azalır. Tablo 2.6'da depo alanının kapatılmasından sonraki ilk 48 ay boyunca gözlenen gazların zamana bağlı dağılım yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 2.6 : Bir depo alanının kapatılmasından sonraki ilk 48 ay boyunca gözlenen gazları yüzde olarak dağılımı [8].

Ortalama Hacim Olarak Yüzde

Hücrenin kapatılmasından sonraki zaman aralığı	Azot	Karbondiyoksit	Metan
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

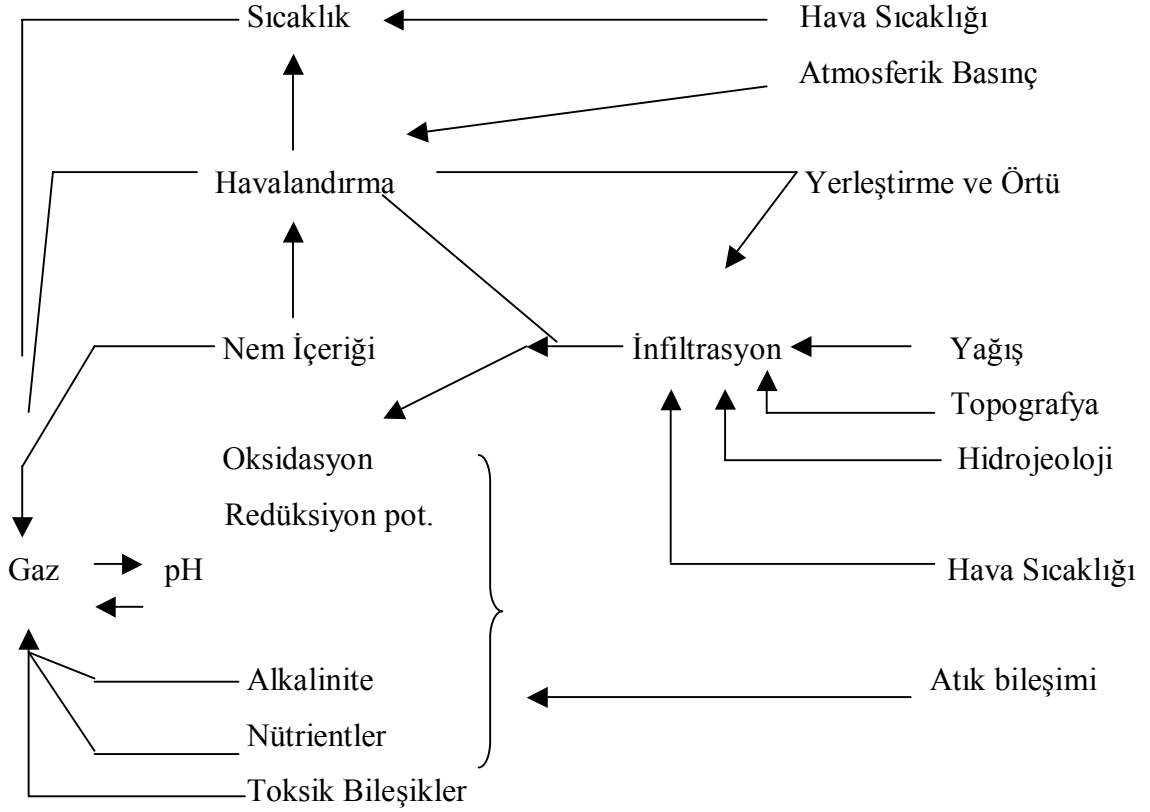
2.2.4.1 Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Depo gazı oluşumunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bir depolama sahasında ayrışmanın ve gaz üretiminin 30-100 yıl arasında sürmesi beklenmektedir, fakat bu olaylar yüksek seviyede çok daha kısa bir sürede gerçekleşir. Depo alanındaki ayrışmanın hızını tanımlayacak yeterli bir hız sabiti veya basit bir eşitlik yoktur. Fakat

en azından çeşitli faktörlerin önemini açıklamak mümkündür [7]. Şekil 2.4'de bu faktörler gösterilmiştir.

En az 1 milyon m³ atık ihtiva eden depo alanları açık çöplükler gaz toplama ve kullanma için uygundur. Atık içerisindeki yüksek seviyelerdeki organik maddeler toplanacak gaz miktarını arttıırırlar ve böylelikle emisyonların azalması sağlanır.

Su, atık bünyesindeki maddeleri süzmekte ve bu maddeler mikroorganizmalar için elverişli olan su fazına geçmektedir. Bundan dolayı yeterli düzeyde nem içeriğinin bulunması gaz oluşumu için gereklidir. Su fazının besi maddesi muhtevası ise ikinci önemli parametredir. Çünkü, gaz oluşumu için bakteri popülasyonunun artması gereklidir. Depo sahasında bertaraf edilen atıkların bileşiminin de gaz oluşumu üzerinde etkisi bulunmaktadır. pH ve sıcaklık gibi çevresel parametreler anaerobik ortamdaki bakteri aktivitesini etkilemektedir. Ayrıca gaz oluşum hızını etkileyen diğer iki parametre ise partikül boyutu ve atık yoğunluğudur [7].



Nütrienler, Hidrojeoloji, Topografya, Yerleşirme ve örtü, atık bileşimi düzenli depo sahası ve işletmesi sırasında kontrol edilecek faktörlerdir.

Şekil 2.4 : Gaz oluşumunu etkileyen faktörler [7]

2.2.4.1.1 Nem İçeriği

Nem içeriği, atık ayrışmasında ve gaz üretiminde en önemli parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Nem içeriği gaz üretimi için gerekli olan anaerobik ortamı ve depo sahasında besi maddelerinin ve bakterilerin taşınmasını sağlar. Metan bakterilerinin ihtiyaç duyduğu nem seviyesi çok düşüktür ve en kuru depo sahalarında bile bu nem seviyesine ulaşmak mümkündür. Bu sebeple, depo gazı her depo alanında üretilebilir. Nem içeriğinin sahanın su tutma kapasitesine ulaşmaya kadar artması gaz üretimini artırır. Çünkü nutrientler, alkalinite, pH ve bakteriler depo alanı içinde kolay transfer edilemezler. Eğer nem seviyesi sahanın su tutma kapasitesini aşarsa hareket eden sıvı, nutrientleri, bakterileri ve alkaliniteyi saha içindeki diğer bölgelere taşır. Böylelikle saha içindeki gaz oluşumu için uygun çevreler meydana gelir [7].

Katı atıkların nem içeriği ıslak ve kuru malzemenin birim ağırlığı başına düşen su kütlesi olarak tanımlanabilir. Islak - ağırlık nem içeriği $M_{w/w}$ bir yüzde olarak aşağıdaki gibi ifade edilir [8].

$$M_{w/w} = \frac{w-d}{w} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Burada;

w = su dahil numunenin ağırlığı (kg)

d = 105 °C de kurutulduktan sonra numunenin ağırlığı (kg)

Çöpün nem içeriği ıslak ağırlık olarak %15-20 den %30-40' a kadar değişebilir. Tipik nem içeriği %25' dir. Tablo 2.7 Emcon(1975) tarafından yayınlanan çeşitli atık tipleri için nem içeriklerini göstermektedir.

Tablo 2.7 : Atığın nem içeriği [7]

Nem İçeriği (%Kuru Ağırlık)

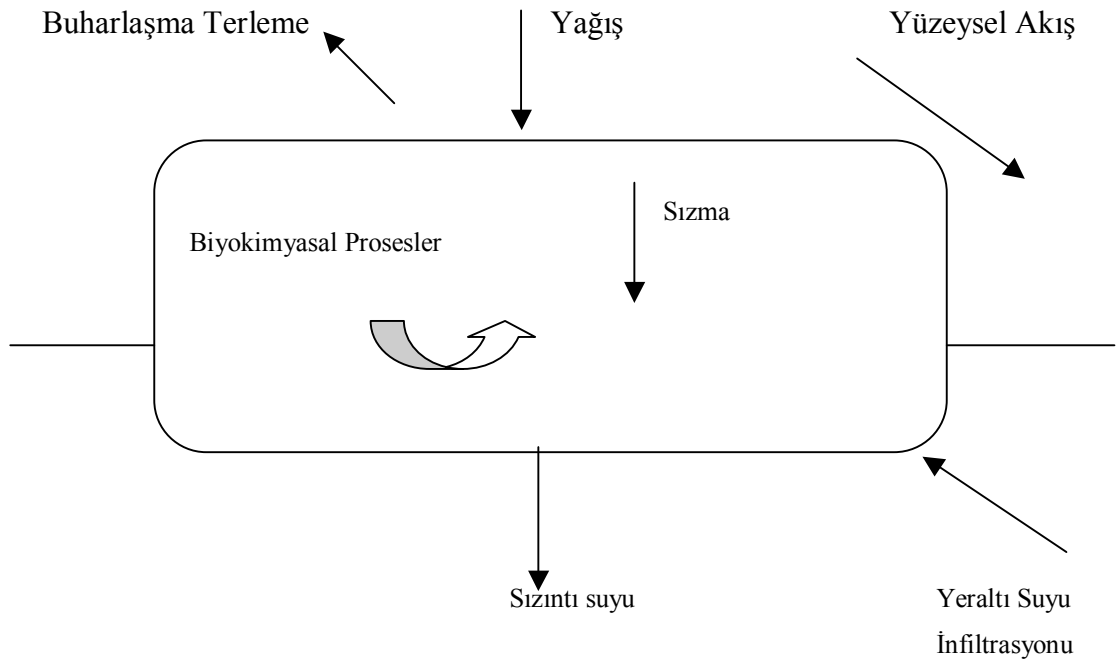
Çöpün Bileşenleri	Numune1	Numune2	Numune3	Numune 4
Yiyecek Atıkları	151	133	118	122
Bahçe Atıkları	67	99	102	91
Kağıt	29	28	38	36
Plastik, Kauçuk	21	20	15	20
Tekstil	38	28	28	25
Tahta	13	17	22	18
Metaller	6	7	4	4
Cam,Seramik	1	1	0	1
Kül	10	26	15	13

Depo sahasının farklı bölgelerinde çeşitli nem içeriklerine rastlanabilir. Depo sahasının üst tabakasında gerçekleşen yüzey suyu infiltrasyonu üst bölgelerden başlayarak sahanın nem içeriğini arttırır. Depo sahasında gerçekleşen nem değişim mekanizması Şekil 2.5' de şematik olarak görünmektedir.

Örtünün altındaki atıklar su tutma kapasitesine ulaşıncaya sızıntı suyu oluşumu gerçekleşmektedir. Bu durumun gerçekleşmemesi durumunda sahada kanalların oluşumu ve suların bu kanallarla taşınımı gerçekleşir.

Depo sahasına çamur gibi sulu atıkların gömülmesi nem içeriğinin önemli ölçüde artmasına sebep olur nem içeriği ayrıca sızıntı suyunun depo sahasına geri devredilmesi ile de değişmektedir.

Biyolojik bozunma için gerekli olan optimum nem içeriği genç ve yaşlı depo sahaları için %50-70 ile %30-80 olarak bulunmuştur. Yapılan bir araştırma sonucunda kentsel katı atıkların biyolojik olarak ayrışması için en uygun nem içeriğinin %75 ve üzeri olduğu bulunmuştur.



Şekil 2.5 : Depo sahasında gerçekleşen nem içeriği döngüsü [8]

2.2.4.1.2 Nütrient İçeriği

Depolama Sahasındaki bakteriler gelişmeleri için çeşitli nütrientlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nütrientler karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfordur. Az miktarlarda da olsa sodyum, potasyum, sülfür, kalsiyum, magnezyum ve diğer eser elementlere de ihtiyaç duymaktadırlar. Bazı nütrientlerin sadece yeterli miktarda bulunmaları değil, belli oranlarda bulunmaları gerekmektedir. Kolayca sindirilebilen besi maddesi miktarı ne kadar fazla olursa gaz oluşum hızı da o kadar artar. Ağır

metaller gibi pek çok zehirli madde bakterilerin büyümesini ve dolayısıyla gaz üretimini geciktirir [7].

2.2.4.1.3 pH Seviyesi

Anaerobik ayrışma için optimum pH aralığı 6.7-7.5 veya nötre yakın olarak bilinmektedir. Bu optimum pH aralığında, metanojenler maksimum hızla büyümektedirler ve böylece metan üretimi maksimum değerlere ulaşmaktadır. Optimum pH aralığının dışında, yani pH'nın 6'dan küçük ve 8'den büyük değerlerinde metan üretimi oldukça fazla sınırlanır. Bir depolama sahasındaki pH aralığı endüstriyel atıkların mevcudiyetinden, alkalinite'den yeraltı suyu infiltrasyonun'dan, organik asit üretimi ve metan oluşum hızlarından etkilenmektedir. Genç sızıntı suları uçucu yağ asitlerinin mevcudiyetine bağlı olarak 6-7 den daha düşük pH değerlerine sahiptirler [7].

Atığın ve sızıntı suyunun pH'ları kimyasal ve biyolojik prosesleri etkilemektedir. Asidik pH değeri birçok bileşenin çözünürlüğünü artırmakta, adsorpsiyonun azaltmakta ve sızıntı suyu ile organik madde arasındaki iyon değişimini arttırmaktadır. Asidik bir pH, genellikle anaerobik bozunmanın ilk aşamalarında oluşan organik asitlerin bir sonucudur. Bu asitler metan bakterileri için substrat konumundadırlar. Asitlerin metana dönüşmesiyle pH değeri artmaktadır [7].

2.2.4.1.4 Sıcaklık

Bir depolama sahasındaki sıcaklık koşulları ortama hakim olacak bakterilerin türlerini ve gaz oluşum seviyelerini etkilemektedir. Mezofilik bakteriler için optimum sıcaklık aralığı 30-35 °C, termofilik bakteriler içinde 45-65 °C dir. Termofilik ortamlarda gaz oluşum hızının yüksek olmasına rağmen birçok depo alanında sıcaklık mezofilik aralıkta bulunur. Aerobik mikrobiyal aktivitenin bir sonucu olarak depo alanı çöpün dökülmesinden 45 gün sonra maksimum sıcaklığına ulaşır. Anaerobik koşullar ortaya çıktığı zaman ortamın sıcaklığı azalır. Depolama sahasının üst bölgelerinde değişen hava sıcaklığına bağlı olarak daha büyük salınımlar görünmektedir. Üst bölgelerdeki atık kütlelerinin izolasyonu sebebiyle depolama sahasının orta ve derin bölgelerinde

daha küçük sıcaklık salınımları söz konusudur. 15 m ve daha derinlerdeki bölgeler ortamın hava sıcaklıklarından nispeten daha az etkilenmekte ve 70 °C'i bulan sıcaklıklara ulaşmak mümkündür. Söz konusu bu izole edilmiş yüksek sıcaklıklı bölgeler, sahanın genelinde daha düşük sıcaklık gözlenen depolama sahalarında da gözlenebilmektedir. Bu yüksek sıcaklıklar atık derinliği fazla olan, çamur ilavesini veya sızıntı suyunun geri devir yapıldığı depolama sahalarında gözlenmektedir. Atık derinliği az olan depo sahalarında ortam sıcaklıkları atık kütlelerinin sıcaklıklarını etkilemektedir [7].

Depo sahasında artan gaz sıcaklıkları biyolojik aktivitenin bir sonucudur. Depo gazının sıcaklık aralığı 30-60 °C olarak bilinmektedir. Depo alanındaki optimum sıcaklık 30-40 °C arasında değişmektedir. 15°C'nin altındaki sıcaklıklar metan bakterilerinin aktivitesini azaltmaktadır.

Sıcaklık aynı zamanda kimyasal çözünürlüğü de etkilemektedir. Artan sıcaklıkla beraber çözünürlükte artmaktadır.

Teorik olarak atık genç ise sıcak olur. Yüksek organik muhtevasına ve yüksek uçucu karboksilik asit konsantrasyonuna sahip olur.

2.2.4.1.5 Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli

Redoks potansiyeli çöpün içindeki mikrobiyal faaliyet, yağmurla ve difüzyon vasıtasıyla oksijen girişi ile kontrol edilir. Oksijen metan bakterileri için zehirdir. Metan oluşumu için redoks potansiyelinin 330 mV' dan daha az olması gerekir [7].

Yağmurdan dolayı üst tabakalarında redox potansiyeli fazladır. Bu nedenle metan oluşumu da azdır.

2.2.4.1.6 Partikül Boyutu

Küçük boyutlara parçalanmış atıkların depo gazı oluşumu üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Küçük partikül boyutuna sahip atıklar gaz oluşumunu etkileyen önemli parametreler olan nem, nütrient ve bakteriler için daha büyük yüzey alanları sunmaktadır. İyi bir şekilde parçalanmış bir atık kütlesi mikrobiyal aktivitenin ve nütrientlerin dolaşımının artmasına neden olmaktadır.

2.2.4.1.7 Atık Yoğunluğu

Atık yoğunluğunun depo gazı üretimi üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koyan çok az veri bulunmaktadır. Depo alanında gömme işlemi tamamlanmış atıkların yoğunluğu 300-450 kg/m³ dür. Gaz oluşumu ile yoğunluk arasında önemli bir bağıntı görülmemektedir. Bu durum balyalanmış atıklardan oluşan bir depo alanında farklılık gösterebilmektedir. Balyaların kendileri yüksek bir yoğunluğa sahip olmalarına rağmen depolama alanında gömüldüklerinde aralarında büyük hava boşlukları bulunmaktadır. Suyun depo sahası örtüsünden infiltrasyonu ve balyalardan süzülmesi, nütrientlerin ve bakterilerin mükemmel bir şekilde taşınımını sağlamasına rağmen, balyaların içindeki atık kütlelerine ulaşması oldukça zordur. Bundan dolayı balyalanmış atıkların bulunduğu bir depolama alanında gaz üretiminin oldukça yavaş olması ve konvansiyonel depolama sahalarına göre daha uzun süreler alması beklenmektedir. Tablo 2.8'de depolama sahalarında gaz oluşumunu etkileyen bazı faktörler gösterilmiştir.

Tablo 2.8 Depolama sahalarında depo gazı oluşumunu etkileyen faktörler [8]

Faktör	Değişiklik	CH ₄ oluşum hızına olan etki
Saha Örtüsü	Derinliğin Artırılması -Sızmanın azalması -İzolasyon -O ₂ 'nin Azalması	- + + Genel Toplam-
Derinlik	Derinliğin Artırılması - İzolasyon - O ₂ 'nin azalması - Biokütle ve org. temasın artması	+ + + Genel Toplam +
Sızıntı Suyu Geri Devri ve Nemin Artırılması	-Biyokütle ve organik temasının artırılması -O ₂ 'nin Azalması	+ + Genel Toplam+
Katkılar	-Kireç veya başka bir tampon -Fosfat -Çürütücüler,Çamur	+ + Genel Toplam+

2.2.5 Depo Gazının Çevreye Olan Zararları

Araştırmalar sonucu metan gazı 1 m çöp derinliği için yatay olarak 10 m mesafeye gidebilmektedir. Bu değer, örtü toprağı ve çevresel zemin şartlarına göre daha da artmaktadır. Yaklaşık %55-60 metan ve %35-40 oranında karbondioksit içeren depo gazı, bitkilerin köklerinin oksijen almasına engel olarak onları kurutur. Depo içindeki muayene bacası, hazne gibi yapılara önlem almadan girmek gerekir. Kıvılcım çıkarmayan basamaklar ve ayakkabılar, oksijen tüpleri ve gazı çukur yerden emerek çıkartan özel gaz emicileri, ayrıca emniyet kemerli özel vinçler kullanılması gereken güvenlik donatımını oluşturmaktadır. Depo gazına karşı geçirimli ve geçirimsiz engeller kullanılmalı, düzenli depolamada depo gazını atmosfere veren yapılar düzenli depo tabanına kadar inmeli. Hendeklerin üzeri buz veya karla kaplanıyorsa, gaz çıkışını kolaylaştırmak üzere borular kullanılmalıdır [13].

2.2.5.1 Depo Gazının Bitkilere Olan Zararı

Depo gazındaki oksijen eksikliği, bitkilerin ölümü için ilk sebeptir. Bu oksijensizlik, bir taraftan Mg, Ca, N, P gibi minerallerde azalmaya, diğer taraftan da anaerobik şartların redoks potansiyellerinde bir eksikliğe yol açar ve bu sayede Fe, Mn, Zn gibi sularda çözünebilen ağır metalleri azaltır. Sonuçta anaerobik mikroskobik aktivite, toprağın karakteristiklerini değiştirir; bu şekilde C/N oranı da azalarak bitkiler için tehlike arz eder. Ayrıca, toprakta, anaerobik fermantasyon sonucu uygun olmayan pH değerleri de bitkilerin büyümesine olumsuz bir etki yapar [13].

Direkt olarak metan gazına maruz kalmak bitki büyümesini etkilemeyebilir. Ancak metanın oksidasyonu sırasında, topraktaki O₂'nin azalması ve açığa çıkan ısının sıcaklığını artırması bitkinin havasız kalmasına sebep olur. Depo gazı ve CH₄'n oksidasyonundan açığa çıkan [14].

Literatüre göre bitkiler, toprak-gaz fazındaki oksijen konsantrasyonu %5 ile %10 arasında ise normal fonksiyonlarını sürdürebilir. Daha hassas bitkiler için bu değer %12 ye eşit veya daha büyük olmalıdır.

Karbondioksitin toprak-gaz fazında konsantrasyonu normal olarak %0,4 ile %2 arasında değişir. Karbondioksit miktarındaki atıkların çürümesinde olduğu gibi herhangi bir artış, bitki köklerine doğrudan toksik etki yapar. Normal bir bitki gelişimi için, karbondioksit konsantrasyonu %5'e eşit veya bu değerden az olmalıdır. %20'nin üzerindeki konsantrasyonlarda karbondioksit çok zehirli etki yapar. Bunun dışında bitki köklerinin karbondioksit toksikliğine hassasiyeti, bitki türüne göre değişir. Bazı türler, %1 gibi düşük karbondioksit konsantrasyonunun dan etkilenirken, diğer bazı bitkiler %10 tolerans sınırlarına kadar çıkabilirler. %18 ve daha fazla miktarlardaki karbondioksit konsantrasyonu, büyümede azalmaya ve görülebilir etkiye yol açar [13].

2.2.5.2 Yangın ve Patlama Tehlikesi

Metan içeriği bakımından zengin olan depo gazı, enerji kazanımı açısından elverişli olmasına rağmen, uçuculuğu, hava ile birlikte patlayıcı özelliğe sahip olması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Depo gazı çevreye difüzyon ve adveksiyon yolu ile yayılır. Sahadan ayrılan gaz, depo sahasına yakın binalara yer altı tesislerine girer. Toprağın özelliklerine bağlı olarak depo gazı depo sahasından çok uzaklara taşınabilir [2].

2.2.5.3 İstenmeyen Kokular

Kokular genellikle atmosfere yayılan depo gazı içerisinde, düşük konsantrasyonlarda kokuya yol açan bileşenlerin (esterler, hidrojen sülfid v.b.) bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kokuya neden olan eser miktardaki bileşenlerin çoğu toksik olabilir. Kokuların depo sahasından dışarı çıkması hava şartlarına bağlıdır. Ayrıca oluşan kokunun derecesi depolama sahasındaki, atık yaşına, içeriğine, gaz oluşum safhalarına bağlı olarak değişebilmektedir [15].

2.2.5.4 Yeraltı Suyu Kirliliği

Yüksek konsantrasyonlarda karbondioksit içeren depo gazları, bu gazın yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı yer altı suyunu önemli derecede kirlileme özelliğine sahiptir. Ayrıca depo gazındaki eser miktardaki toksik gazların da yer altı suyu kaynaklarını kirlilemektedir.

2.2.5.5 Hava Kirliliği

Evsel atıklarla birlikte endüstriyel atıkların depolanması ve kaçak depolama sonucunda depo gazında kimyasal maddeler oluşmaktadır. Bu eser gaz emisyonlarından kaynaklanan en önemli tehlikeler hava kirliliği ve halk sağlığına olan etkisidir. Bunların kanser riskini arttırdığı ve ozon tabakasına zarar verdiği bilinmektedir. Ayrıca, metanojenlerin büyümesini inhibe ederek metan oluşumunu etkileyebilirler [2].

2.2.5.6 Global Isınma

Depo sahalarından çıkan metan ve karbondioksit global ısınmaya ve sera etkisine neden olmaktadır. CH₄ moleküler ölçekte global ısınmaya CO₂'den 20-25 kat daha fazla etki yapmaktadır. Atmosferdeki metan konsantrasyonlarının % 1-2 oranında artığı belirlenmiştir. Son yıllardaki metan konsantrasyonunun artışı, metan kaynaklarının karakterizasyon çalışmalarının yapılması gerekliliğini göstermektedir. Toplam global ısınmanın yaklaşık % 18'i metandan kaynaklanmaktadır [15].

2.3 DEPO GAZININ HAREKETİ VE TAŞINIM MEKANİZMASI

2.3.1 Depo Gazını Hareketi

Normal şartlar altında, toprak içinde üretilen gaz, moleküler difüzyon yardımı ile atmosfere serbest bırakılır. Aktif bir depolama durumunda iç basınç atmosferik basınçtan genellikle daha büyüktür. Depo gazı difüzyon ve konvektif akışla birlikte serbest bırakılacaktır. Genellikle gazların hareketi difüzyon, basınç ve gaz yoğunluğuna bağlı olur. Metan gazı havadan daha yoğun ve bir yükseliş eğilimindeyken karbondioksit havadan daha az yoğun ve depolama sahasında batma eğilimindedir. Atıklardaki sızıntı suyunu engellemek için geçirmez bir örtü maddesi yerleştirildiği zaman ya da kış mevsiminde soğuk iklimlerde yer donduğu için metan yukarı kaçamaz, ve göç etmeye zorlanır [7].

Depolama gazının hareketini etkileyen diğer faktörler, gaz içindeki sıvı ya da katı bileşenlerin sorpsiyonu ve biyolojik etkinlik ya da kimyasal reaksiyonlar yoluyla gaz bileşenlerinin üretimi veya tüketimini içermektedir. Bu faktörler aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$\alpha(1+\beta) \delta C_A / \delta t = -V_Z \delta C_A / \delta Z + D_Z \delta^2 C_A / \delta Z^2 + G \quad (2.2)$$

Burada;

α = Toplam porozite, cm³/ cm³

β = Sorpsiyon ve faz değişimi için hesaplanan faktör

C_A = A Bileşimin konsantrasyonu, g/cm³

V_z = Dikey durumdaki konvektif hızı, cm/sn

D_z = Etkili difüzyon katsayısı, cm²/sn

G = Tüm sıcaklıkların hesaplanmasında kullanılan lumped parametresi, g/cm³.s

Z = Derinlik, m

Dikey durumdaki konvektif hızı Darcy's kanunlarına göre yaklaşık olarak aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$V_z = -k/\mu \, dP/dz \quad (2.3)$$

Burada;

V_z = Konvektif hızı m/s

k = Esas geçirgenlik, m²

μ = Gaz karışım viskozitesi, N. s/m²

P = Basınç, N/m²

z = Derinlik, m

Depolama Sahasındaki temel gaz için konvektif hızın tipik değeri 1 ile 15 cm/gün arasındadır. Yukarıda verilen eşitliğin basit formları karmaşık sayısal bilgisayar çözüm tekniklerine dayandırılarak yaklaşık emisyon değerlerinin bulunmasına yardımcı olabilir. Örneğin, eğer değerler ihmal edilirse [7];

$$0 = -V_z \, dC_A/d_z + D_z \, d^2C_A/d_z^2 \quad (2.4)$$

Etkili difüzyon katsayısı moleküler difüzyon ve toprağın gözenekliliğinin her ikisini birden fonksiyonudur. Buharın toprağa doğru olan hareketi için deneysel olarak belirlenen ilişki aşağıdaki gibi sembolize edilebilir.

$$D_z = D (\alpha_{\text{gaz}})^{10/3} / \alpha^2 \quad (2.5)$$

Burada;

D_z = Etkili difüzyon katsayısı cm^2/s

D = Difüzyon katsayısı cm^2/s

α_{gaz} = Gaz boşluklarını porozitesi cm^3/cm^3

α = Toplam porozite cm^3/cm^3

2.3.2 Gaz Hareketinin Sebep Olduğu Problemler

Depo gazının hareketi ile ilgili temel problemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Toprakta bitkilerin ölümüne sebep olarak havanın tüketilmesi,
- Arazide ve diğer kapalı boşluklarda yanıcı ve patlayıcı metan konsantrasyonlarının oluşması,
- Karbonmonoksit zehirlenmesine sebep olan gaz birikiminin oluşması,
- Koku ve diğer sağlık problemleri.

Gaz hareketinin meydana geldiğinin ilk göstergesi ağaçlarda ve diğer bitkilerde meydana gelen hasarlardır. Depo gazlarını izlemenin mümkün olmadığı tesislerin bulunması sonucunda bitkilerdeki hasarları izlemek tek gösterge olacaktır [7].

Depo gazının yayılmasının ve emisyonlarının sebep olduğu muhtemel problemler değerlendirildiğinde metan dışındaki gazların da önemli bileşikler olabileceklerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu nedenle metan ile birlikte karbondioksiti de izlemek gerekmektedir.

2.3.3 Depo Gazı Hareketini Etkileyen Faktörler

Depo gazı hareketini ve tehlikesini önlemek için uygulanabilecek bazı temel kurallar vardır. Her biri kendi arasında farklılıklar içeren çeşitli dizaynlarda depo alanları mevcuttur. Gaz oluşumunu ve potansiyel hareketini etkileyecek olan önemli değişkenler aşağıdaki gibidir.

- Saha küçük, geniş, sığ veya derin olabilir; genelde yerüstü depo alanları veya taş ocağı, çukurlar ve kanyonlar ihtiva eden alanlar olabilirler,
- Birkaç on yıllık periyot boyunca depo alanına muhtelif tipte atık dökülebilir,
- Saha işletme prosedürleri değişecektir. Bu değişiklikler alanın kullanılması, boşaltma metodunun değişmesi, farklı sıkıştırma metodlarının kullanılması ve günlük son olarak kaplanan tabaka toprağının değişmesi gibi faktörler olabilir,
- Sahada çeşitli sızıntı suyu yönetim politikaları uygulanacaktır ve çeşitli mevkilerde iklim şartları farklılıklar gösterebilir.

Bu saha değişkenleri saha içindeki şartları etkilemektedir. Bu şartlar sırasıyla, atığın ayrışma prosesleri, gaz oluşum hızları ve verimi, oluşan gaz basıncıdır. Bu şartların her biri gaz hareketini etkilemektedir [7].

Saha içindeki yüksek atık yoğunluğu ve nem muhtevası gibi benzer şartlar poroziteyi azaltacak ve depo edilmiş atık maddeler içindeki gaz basıncını arttıracaktır. Atık tabakalarının üzerinde geçirimsiz toprak olması veya lokal yığın benzeri maddeleri kullanmak sahadaki uniform gaz geçirimsizliğini engelleyecek ve sahanın farklı bölgelerindeki ve derinliklerdeki gaz basıncının geniş bir aralıkta olmasını sağlayacaktır.

Depo gazının göçüne etki eden birçok farklı faktör bulunmaktadır. Bunlar;

1. Depo gazının ve atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri,
2. Depolama sahası içersinde gazın hareketine neden olan prosesler,
3. Depolama sahasını bir kere terk eden gaz konsantrasyonlarını etkileyen prosesler.

Bu faktörler matematiksel modeller oluşturmak amaçlı kullanılmak için değerli parametreler geliştirmek ve bir depolama sahasının bir model içersinde birleştirilerek gaz göçünün etkilerini tanımlamaktadırlar.

2.3.3.1 Nem İeriğinin Rolü

Nem ieriğinin dağılımının hatasız olması önemlidir. Çünkü nem ieriği gaz hareketi için gerekli boşlukların varlığını saptayabilmektedir. Nem ieriği artarken, gaz geçirgenliği ve difüzyon katsayısı azalmaktadır. Toprak doyunluğunun seviyesi ayrıca gaz gibi ve çözünürlük evrelerinin arasında karbondioksitin bölünmesini etkilemektedir. Su tabakası üzerinde doymamış kuşak içersinde depolama gazının taşınımı meydana gelir, iki karışmaz akışkan arasında mevcut boşluk gözenekleri paylaşılır. Bunlar gaz karışımı ve topraktaki artan nemdir. Belirgin bir akışkanın su basınçlı iletkenliği ardından boşlukları işgal ettiği geçirgenliğin toplam gözenekleri bölerek akışkanla birlikte fonksiyonun kesri olur.

Toplam geçirgenliğin bölünmesi (n) gaz karışımı ile oluşan gözenek (ϵ) su ile oluşan gözenek geçirgenlik etkileri oluşur [7].

$$K_g = f(\epsilon) \text{ ve } K_w = f(\theta) \quad (2.6)$$

Burada;

$$n = \theta + \epsilon = \text{Toplam gözenek}$$

$$K_g = \text{Gaz karışımı için etkili su basınçlı iletkenlik}$$

$$K_w = \text{Toprak nemi için etkili su basınçlı iletkenlik}$$

2.3.3.2 Akışkanlığın Rolü

Viskozite akışkan bir direnci karakterize eden fiziksel bir niteliktir. Düşük yoğunluktaki gazlar için sıcaklık artışı ile akışkanlık artar. Atmosferik gaz, CO₂ ve metan için viskozite değerleri Tablo2.9'da gösterilmiştir [7].

Tablo 2.9 : Viskozitenin sıcaklıkla değişimi [7]

Gaz	Sıcaklık(C ⁰)	Viskozite 10 ⁷
Hava	0	170.8
	18	182.7
	40	190.4
	54	195.8
CO ₂	0	139.0
	15	145.7
	20	148.0
	30	153.0
Metan	0	102.0
	20	108.0

Reid ve diğ. (1977) viskozite ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitlik ile tanımlamıştır:

$$\mu = b Y^{1.5} / S+T \quad (2.7)$$

Burada;

μ = Olası boşluk akışkanlığı

T = Sıcaklık (K)

b.S = Ampirik sabit

Bu eşitlik Sutherland eşitliği olarak bilinmektedir. CO₂, Metan ve atmosferik gaz için spesifik b ve s değerleri tablo 2.10'da verilmiştir [7].

Tablo 2.10 : Karbondioksit, metan ve atmosferik gaz için ampirik sabit (b ve s) değerleri [7]

	b	s
Metan	9.1935	131.18
CO ₂	14.841	208.61
Atmosferik gaz	14.956	121.99

Farmer ve diğ. (1980) açık boşluk difüzyon katsayıları için bir eşitlik sağlamıştır. Bu eşitlik aşağıdaki gibidir [7];

$$D_{d2}^0 = D_{d1}^0 [T_2/T_1]^{1/2} \quad (2.8)$$

Bu tanımlamada 1 ve 2 sırayla T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki difüzyon katsayılarının değerlerini göstermektedir.

Farmer ve diğ. (1980) hava içerisindeki farklı bileşenlerin difüzyon katsayıları için bir eşitlik vermişlerdir [7];

$$D_{dA}^0 = D_{dB}^0 [M_B / M_A]^{1/2} \quad (2.9)$$

Burada, M_A ve M_B A ve B için moleküler ağırlığı ifade etmektedir.

Currie (1970) kuru kum ve toprak için aşağıdaki eşitliği vermiştir [7].

$$D_d = D_d^0 n^{3/2} \text{ ve ıslak kum için;}$$

$$D_d = D_d^0 n^{3/2}$$

burada;

$$D_d^0 = \text{Engellenmemiş difüzyon katsayısı cm}^2/\text{sn}$$

$$D_d = \text{Spesifik difüzyon katsayısı cm}^2/\text{sn}$$

Millington ve Quir (1961) alternatif bir eşitlik sağlamışlardır;

$${}^1D_d = {}^1D_d^0 [S/n]^4 n^{3/2} \quad (2.10)$$

Önceki denklemler topraktaki nemin toplanmasından dolayı mevcut boşluk gözeneklerindeki azalmaları göstermektedir. Toprak nemi eşdeğerli miktarlarla katı fazdaki hacmin artmasıyla difüzyon katsayıları üzerinde farklı etkiye sahiptirler.

Tablo 2.11 : Sıcaklığın difüzyona etkisi

Karışım	Sıcaklık (°)	D_d cm ² /sn	Referans
CO ₂ ve hava	273	0.139	CRC 1981
	276.2	0.142	Reid ve diğ.1977
	317.2	0.177	Reid ve diğ.1977
CO ₂ -N ₂	298	0.167	Reid ve diğ.1977
CO ₂ -O ₂	293.2	0.153	Reid ve diğ.1977
CO ₂ -CH ₄	298	0.1705	Thorstenson& Pollock 1989

2.3.4 Depo Sahasında Gaz Göçünün Modellenmesi

Depo sahasında gaz göçünün modellenmesinin amacı aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Hangi gaz toprağın içinde taşınabilecek,
- Bariyer, pasif menfez, injeksiyon sistemleri, pompalama gibi kontrol sistemlerinin yürütülmesiyle, gaz hareketinin nasıl etkileneceği.

Bu yargıların tanımlanabilmesi için, deney yapılabilen yeterli alanın bulunması her zaman mümkün değildir. Bu nedenle, gazın hareket ediyormuş gibi görünmesi için matematiksel modellerin kullanılması gerekmektedir [7].

Yeraltında kimyasal hareketlere neden olan fiziksel prosesler, doymamış tabakada gaz göçüne neden olmaktadır. Gaz taşınım modelleri için çeşitli metotlar bulunmaktadır. Belirli bir uygulama için modelin karmaşıklığı konfigürasyona ve yapılan modelin bileşenlerine bağlı olur. Modelin karmaşıklığı yapılan modelin boyutuna, sayısına özellikle hassastır. Modeller aşağıda gösterilmiştir [7].

Bir Boyutlu Model : Kazılar, altyapı sistemleri, toprak tabakaları gibi durumlar için uygundur. Şekil 2.6'da bir boyutlu model şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 2.6 : Bir boyutlu model [7]

İki Boyutlu Model : İki boyutlu model depolama sahasındaki topraklı kapalı alan içersindeki gaz göçünün olduğu durumlar için geçerlidir [7]. Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Şekil 2.7 : İki boyutlu model [7]

Üç Boyutlu Model : Üç boyutlu model genellikle bir ve iki boyutlu modelin uygun olmadığı durumlar için kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulan modelin boyutları, doygun bir heterojen gözenekler içindeki gaz karışımının göçüne bağlıdır.

2.4 DEPO GAZLARININ TOPLANMASI VE KONTROL YÖNTEMLERİ

2.4.1 Giriş

Düzenli depolama sahası gazlarının hareketi; atmosferik emisyonların azaltılması, koku emisyonlarının ve yeraltı gaz hareketlerini minimuma indirmek ve metanı enerji elde edilmesi amacıyla kontrol edilmektedir [7]. Bu gazların hareketinin kontrolü ve önlenmesi amacıyla bazı metotlar kullanılmaktadır. Kullanılacak kontrol yöntemlerinin oldukça uzun zaman dilimlerinde hizmet vermesi gerekmektedir. Pompalama metodunda çok uzun zaman işletilmesi gerektiğinden pahalı bir metod’dur. Gaz kontrol sistemlerinin uygulanabilir olduğu durumlarda doğal bariyerler, hendekler, membranlar, kuyular ve ağızlıklar gibi inşa edilebilir yapılar kullanılmaktadır. Doğal bariyerlerde nemli, ince-daneli toprak ve doygun-kaba daneli topraklar kullanılmaktadır. İnşa edilen sistemler ise aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki sistemin temel farkları aşağıda verilmiştir;

- Pasif sistemler; bariyer ve ağızlık gibi düşük geçirgenliğe sahip malzemelerin kullanımı veya atık ve civarı arasındaki büyük iletkenlik farkı esasına dayanmaktadır. Bu sistemler hendeklerden, boru ağızlıklarından, membranlardan v.s. oluşmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinde, depolama sahasında oluşan gaz basıncı, gazın hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır.
- Aktif sistemler, gaz akışını sağlayacak vakumu üretmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

Bu sistemlerin seçimi tamamen söz konusu depolama sahasına özgüdür. Bu seçimde ekonomik faktörler, gerekli olan korumanın derecesi ve sistemin güvenilirliği rol oynamaktadır. Aşağıdaki durumlar söz konusu olduğunda genellikle aktif sistemler tercih edilmektedir [7].

- Atık yaşı 20 den küçük olduğunda,
- Atık derinliği 10 m. den büyük olduğunda,
- Korunması düşünülen yerleşim yerinin depolama sahasına uzaklığı 1,5 km'den az olduğunda,

2.4.2 Depo Gazının Pasif Kontrolü

Bu sistemlerde, depolama sahasında üretilen gaz basıncı, gaz hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır. Pasif kontrol hem ana gazlar hem de eser gazlar için ana gazların yüksek hızla üretimi esnasında gerçekleştirilebilmektedir. Bu da, gaz akışının arzu edilen doğrultuda gerçekleşmesi için daha yüksek geçirgenliğe sahip yolların oluşturulmasıyla sağlanmaktadır. Örneğin; çakıl dolu hendek gazı yakma ağzına iletmede görev yapabilmektedir. Ana gazların üretiminin sınırlı olduğu durumlarda pasif kontrol çok verimli olamamaktadır. Bunun sebebi; moleküler difüzyonun baskın taşınım mekanizması olmasıdır. Fakat, depolama sahası ömrünün bu aşamada depo gazı bünyesindeki metan kalıntı emisyonlarının kontrolü çok da önemli olmamaktadır. VOC emisyonlarının kontrolü hem pasif hem de aktif kontrol tesislerinin kullanımı gerekli kılabilir [8].

2.4.2.1 Depo Sahası Örtüsünde Açılacak Basınç Düşürücü Menfezler

Depo gazlarının kontrolü için kullanılan en yaygın pasif metotlardan biri, depo gazı yanal hareketinin, depo sahası içersindeki gaz basıncının düşürülmesiyle azaltılacağı esasına dayanmaktadır. Bu amaçla, nihai depo örtüsünden katı atık kütlesine doğru uzayan delikler açılmaktadır. Buradan çıkan gazdaki metan yeterli konsantrasyonda ise çok sayıda delikler birbirine bağlanabilmekte ve bir gaz yakıcı konulmalıdır. Atık gaz yakıcıların kullanıldığı yerlerde, kuyunun üst taraftaki açık hücrelerinde açılmış olması gerekmektedir. Atık yakıcının yüksekliği yerden 3-6 m arasında olmalıdır [8].

Yakıcı el ile veya sürekli bir pilot aleviyle tutuşturulmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yakıcı kullanılan pasif ağızlıklarda, istenilen düzeyde VOC ve koku giderimi verimlerine ulaşılmayacağıdır. Bu nedenle bu tip yakıcıların kullanımı iyi bir uygulama olarak görünmemektedir [8].

Şekil 2.8 : Depo Gazını pasif kontrolü için kullanılan gaz kuyuları [8].

2.4.2.2 Saha Çevresine Yerleştirilen Tutucu Hendekler

Yatay delikli plastik borudan meydana gelen çakıl dolgulu kesme hendeklerinden oluşan bir çevre hendek sistemi, depo gazlarının yanal hareketini kesmek için

kullanılmaktadır. Delikli boru, hendekte toplanan depo gazının atmosfere atılmasını sağlayan dikey yükselticiye bağlanmaktadır. Hendek içerisinde gazın toplanmasının oluşması amacıyla hendek duvarı genellikle membran tabakayla kaplanmaktadır [8]. Teşkil edilen düşey borular arası yatay mesafe 25-35 m olarak uygulanmaktadır. Dikey yükselticilerin çapı 10-15 cm ve yerden yüksekliği 3-4 m civarındadır. Saha çevresine yerleştirilen hendek sistemi şekil 2.9'da gösterilmiştir.

Şekil 2.9 : Saha çevresine yerleştirilen tutucu hendekler [8]

2.4.2.3 Saha Çevresine Yerleştirilen Bariyer Hendekler veya Harç Duvarları

Bariyer hendekler, bentonit ve kil gibi nispeten geçirimsiz malzemeler ile doldurulur. Bu durumda hendek yeraltındaki yanıl gaz hareketine karşı bir bariyer olur. (Şekil 2.10) Depo gazı gaz çekme kuyuları ve çakıl hendekler vasıtasıyla bariyer iç yüzeyinde uzaklaştırılmaktadır. Bu tip hendeklerin susuz kaldıklarında çatlama riski bulunduğundan daha çok yer altı suyu çekme projelerinde uygulanmaktadır. Depo gazı göçünün kontrolü için bariyer hendeklerin uzun vadedeki verimliliği belirsizdir [8].

Şekil 2.10 : Saha çevresindeki bariyer hendeği [8]

2.4.2.4 Depo Sahası İçindeki Geçirimsiz Bariyerler

Modern depo alanlarında, depo gazının civar arazilere hareketi topraktan daha fazla geçirimsiz olan maddelerden yapılmış bariyerler ile kontrol edilir. Şekil 2.11’de saha içindeki geçirimsiz bariyerler gösterilmiştir [8]. Sızıntı suyu kontrolü ile bağlantılı olarak sıkıştırılmış kil veya çeşitli geomembran tiplerinin kullanımı çok yaygındır.

Ana gazların ve eser gazların her ikisi de kil tabakalardan geçebileceğinden, bir çok kuruluş depo gazı hareketlerinin sınırlandırılması amacıyla geomembran kullanmaktadır [8]. Depo alanlarında kullanılan geçirimsiz malzemeler tablo 2.12’de gösterilmiştir.

Şekil 2.11 : Depo alanındaki geçirimsiz bariyerler [8]

Tablo 2.12 : Depolarda gaz ve sızıntı suyu hareketinin kontrolünde kullanılan geçirimsiz malzemeler

Geçirimsiz Malzeme		Notlar
Sınıflandırma	Örnek Tipler	
Sıkıştırılmış toprak		Bir miktar kil veya ince silt içermeli
Sıkıştırılmış Kil	Bentonit, Kaolin	Depolama sahalarında sıkça kullanılan geçirimsiz tabaka; tabaka kalınlığı 15-120 cm arasında değişmekte, tabaka sürekli olmalı ve kuruyup çatlamasına izin verilmemeli.
İnorganik Kimyasallar	Sodyum karbonat, silikat veya pirofosfat	Kullanımı yerel toprak özelliklerine bağlıdır.
Sentetik Kimyasallar	Polimer, Kauçuk	Deneysel; saha kullanımı iyi bilinmemektedir.
Sentetik Membran Örtüler	Polivinil klorür, polietilen, nayon takviyeli örtüler	Sızıntı suyu kontrolünde sıkça kullanılmaktadır. Depo gazı kullanımı artmaktadır.
Asfalt	Modifiye asfalt, kauçuğa doymuş asfalt, asfalt kaplı polietilen doku, asfalt betonu	Tabaka, değişen oturma koşulları altında sürekliliği sağlayacak kadar kalın olmalı
Diğer	Gunite beton, toprak çimentosu, plastik toprak çimentosu	İnşasından sonra büzülerek çatlamasından dolayı sızıntı suyu ve gaz kontrolü için çok kullanılmamaktadır.

2.4.3 Depo Gazının Çevre Tesisler ile Aktif Kontrolü

Depo gazının yanal hareketi, saha çevresinde gaz çekme kuyuları ve hendekler kullanılarak ve bu kuyulara doğru bir basınç gradyanı yaratacak kısmi vakumun oluşturulmasıyla kontrol edilebilmektedir. Çekilen gaz ya metan ve VOC emisyonlarının kontrolü amacıyla yakılabilmekte ya da enerji üretiminde kullanılmaktadır [8].

2.4.3.1 Saha Çevresi Gaz Çekme ve Koku Kontrol Kuyuları

Saha çevresi gaz çekme kuyuları; katı atık derinliğinin en az 7,5 m olduğu depo alanlarında ve depo alanı ile civar yerleşimler arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda kullanılmaktadır [8]. Bu sistem çok sayıda düşey kuyudan oluşmaktadır. Bu kuyular ya depo alanı kenarı boyunca ya da depo alanı köşesi ile saha sınırı arasındaki alanda inşa edilmektedir. Her bir gaz çekme kuyusunu birbirine bağlayan bir ana boru kullanılmaktadır. Bu ana boruda elektrikle çalışan santrifüj bir blower'a bağlanmaktadır. Santrifüj blower, toplayıcı boruda ve kuyularda vakuma (negatif basınç) sebep olmaktadır. Vakum uygulandığında, her bir kuyu etrafındaki katı atık

kütlesini etkileyecek şekilde bölgeler ya da etki yarıçapları oluşmaktadır. Çekilen gaz blower istasyonunda kontrollü şartlarda ya atmosfere verilmekte ya da yakılmaktadır. Çekilen gazın kalitesi ve miktarı yeterli ise enerji kaynağı olarak kullanılır [8].

Şekil 2.12 : Gaz çekme koku kontrol kuyuları [8]

Gaz çekme kuyularında kullanılan borunun çapı genellikle 10-15 cm (PVC veya PE) civarındadır ve borular 45-90 cm'lik sondaj deliklerine yerleştirilmektedir. Borunun 1/3-1/2'lik alt kısmı delikli oluşturulup çakıl bir dolgu içine yerleştirilir. Boru boyunun geri kalan kısmı ise, delikli değildir ve tercihen ya toprağa ya da katı atık dolgusunu gömülmektedir. Kuyular, etki yarıçapları birbiriyle örtüşecek şekilde yerleştirilmektedir. Düşey kuyular için etki yarıçapı, kuyudan her yöne doğru uzayan bir küreye denk gelmektedir. Bu nedenle, sistemden aşırı çekme yapılmamasına dikkat edilmelidir. Aşırı çekme hızları, civar topraklardan katı atık kütesine hava sızmasına sebep olabilmektedir. Hava girişine engel olmak için, her bir kuyudaki gaz debisi dikkatle kontrol edilmelidir. Bu amaçla, gaz çekme kuyuları, gaz numune teçhizatı ve debi kontrol vanalarıyla oluşturulmalıdır. Depo alanı derinliğine ve diğer yerel koşullara bağlı olarak, kuyular arası mesafe 60-120 m arasında değişmelidir [8].

2.4.3.2 Saha Çevresinde Gaz Çekme Hendekleri

Gaz çekme hendekleri genellikle depo alanı çevresindeki doğal zeminlere açılmaktadır. Derinliği 7,5 m'den daha az olan sığ depo alanlarında kullanılmaktadır. Hendekler çakıl dolguyla doldurulur ve delikli plastik borular içermektedir. Bu plastik borular da yanıl borular aracılığı ile toplayıcıya ve santrifüj emme blower'na bağlanmaktadır. Hendekler depo alanı yüzeyinden katı atık kütesinin en alt seviyesine veya yeraltı suyu seviyesine kadar açılabilmekte ve yüzeyleri de bir membranla kaplanmalıdır. Emme blower'ı herbir hendeğe katı atık bünyesine doğru etki edecek şekilde negatif basınç bölgesi oluşturmaktadır. Bu bölgeye doğru hareket eden gaz ise, delikli boru ve toplayıcıya iletilmekte ve sonunda blower'den ya atmosfere verilebilir ya da yakılabilir. Her bir hendeğe koyulacak kontrol vanaları ile debi düzenlemeleri de sağlanmalıdır [8].

Şekil 2.13 : Saha çevresi gaz çekme hendekleri [8]

2.4.3.3 Saha Çevresi Hava Enjeksiyon Kuyuları

Saha çevresi hava enjeksiyon kuyuları depo alanı sınırı ile depo gazı karışmasına karşı korunacak olan tesislerin arasındaki doğal toprağa yerleştirilmiş bir dizi düşey kuyulardan oluşur. Hava enjeksiyon kuyuları derinliği genellikle 6-7 m civarındadır [8].

2.4.4 Depo Gazının Düşey ve Yatay Gaz Çekme Sistemleri ile Kontrolü

Depo alanlarından gaz çekilmesinde hem düşey hem de yatay gaz kuyuları kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise her iki tip kuyu da beraber kullanılır. Gaz geri kazanım sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken önemli noktalardan biri de gaz çekildiğinde oluşan kondensatın yönetimidir. Bu kondensat gazın son kullanım seçeneğine bağlı olarak sistemden uzaklaştırılır [8].

2.4.4.1 Düşey Gaz Çekme Sistemleri

Kuyular etki çapları kesişecek şekilde yerleştirilmelidir. Gaz geri kazanma tesisleri bulunmayan tamamlanmış depo alanlarında gaz kuyuları için etki yarıçapı bazen sahada gaz hareketi ile belirlenir. Tipik olarak bir çıkarma kuyusu, kuyudan düzenli mesafelerdeki problemlerle beraber yerleştirilmekte ve böylelikle depo alanındaki gaz çıkarma kuyusuna uygulanan vakum ölçülmektedir. Hem uzun dönem hem kısa dönem testleri gerçekleştirilebilmektedir. Oluşacak gaz miktarı zamanla azalacağından, bazı tasarımcılar uniform kuyu aralıkları kullanmayı ve kuyuda vakumu ayarlayarak kuyunun etki yarıçapını kontrol etmeyi tercih etmektedirler. Çünkü düşey gaz çıkarma kuyularının etki yarıçapı aslında yuvarlaktır. Ayrıca, etki yarıçapı depo alanının derinliğine ve depo alanı örtüsünün tasarımına bağlı olacaktır. Geomembran bir örtüye sahip derin depolama sahalarında gaz çekme kuyularının aralığı 45-60 m arasında değişmektedir. Kil ve toprak örtüye sahip depo alanlarında, gaz sistemine atmosfer gazlarının çekimini önlemek amacıyla daha düşük aralıklar kullanılmaktadır [8].

Düşey gaz çekme kuyuları genellikle depo alanı dolduktan ya da bazı bölümleri dolduktan sonra inşa edilmektedir. Yaşlı depo alanlarında, düşey kuyular hem enerji geri kazanmak hem de civar yerleşimlere doğru olabilecek gaz hareketini kontrol etmek amacıyla inşa edilmektedir. Tipik bir gaz çıkarma kuyusu tasarımı 10-15 cm lik borunun (genellikle PVC veya PE) yerleştirildiği 45-90 cm'lik bir sondajdan oluşur. Borunun alt kısmının üçte biri deliklidir ve çakıl dolgu tabakasına oturmuştur. Kalan kısım delikli değildir ve toprak içersindedir. Kil tabakası ile kaplıdır. Depo gazı geri kazanma kuyuları tipik olarak depo alanındaki atık derinliğin %80'ne nüfuz edecek şekilde tasarlanır. Çünkü etki yarı çapları sahanın tabanına kadar uzanır. Bununla

birlikte, bazı tasarımcılar gaz kaçıışı ile ilgili olarak halkın korkusunu hafifletmek için bu kuyuları tamamen depo alanının altına yerleştirirler [8].

Şekil 2.14 : Depo alanı geri kazanma tesislerinde kullanılan düşey kuyular [8]

Her bir kuyu toplama başlığına bağlanmaktadır. Kuyu başında kör tapa bağlantısı, kelebek vana, basınç ve numune kontrol vanaları bulunur. Kuyu başlarının düzenlenmesi bölgesel duruma göre farklılıklar göstermektedir.

2.4.4.2 Yatay Gaz Çekme Kuyuları

Düşey gaz çekme kuyularının bir alternatifi olarak yatay kuyular görülmektedir. Yatay kuyular iki veya daha fazla hücre kapatıldıktan sonra inşa edilmektedir. Yatay gaz çekme hendeği katı atık kütleinde açılmaktadır. Hendek daha sonra yarısına kadar çakılla doldurulmakta ve uçları açık delikli bir boru hendek içine yerleştirilmektedir. Hendek çakılla doldurulmakta ve katı atıkla üzeri örtülmektedir. Çakıl dolgu ve iki ucu açık delikli boru kullanılarak, zamanla depo alanında oluşacak oturmalarda dahi gaz hendeği fonksiyonel özelliğini sürdürmeye devam edecektir. Yatay hendekler düşeyde 25 m ve yatayda da 60 m aralık bırakılarak inşa edilmektedir [8].

Yatay gaz toplama hatları depo alanındaki gaz kontrolü amacıyla kullanılan sistemlerdir. Kademeli yatay sistemler depolama işlemi devam ederken gazın

ıkarılmasını sağlayan ideal bir sistemdir. Depolama işlemi tamamlandığında, toplama borularında ortaya çıkan büyük basınçlar en önemli problemdir. Bir diğer gaz toplama sistemi ise yatay sığ hendeklerdir. Bu sistemler, çakıl ile doldurulmuş yatay hendekler içindeki delikli borulardan teçhiz edilirler. Şekil 2.15’de yatay gaz tahliye hattına ait bir örnek gösterilmiştir.

Şekil 2.15 : Yatay gaz çekme kuyuları [8]

2.4.4.3 Gaz ekme Sistemlerinin Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler

Herhangi bir kuyuyu fazla pompalamak daha büyük bir etki alanı yaratacaktır. Daha büyük emme basınçları daha büyük bir alana etki göstermekte, fakat pompalama sırasında daha fazla enerji harcanması anlamına gelmektedir. Daha büyük basınçlarda pompalama, aynı zamanda atmosferik havanın da çekilmesini sağlamaktadır. Hava girişi oksijen ve azotun sıcaklıklarının artmasına, depo gazı konsantrasyonun düşmesine ve enerji kaynağı olarak kullanım özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, oksijenin varlığı patlama riskini artırmakta ve gaz üreten metanojenlerin faaliyetlerini azaltmaktadır. Gaz ekme sistemlerinin performansını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Depo gazının hareketini engelleyen günlük örtü,
- Depo gazının serbest hareketini etkileyen çamur ve sıvı atıklar,
- Depo gazının serbest hareketini engelleyen sıvı artışları,
- Gazın çekilmesini zorlaştıran sığ yükseklik. Bunun sebebi de pompalama esnasında atmosferik havanın çekilecek olmasıdır. Derin depo alanı gaz geri kazanımı tesislerinde daha çok tercih edilir. Çünkü sızan havadaki oksijen depo sahasının üst kısımlarında kalmaktadır ve sahanın alt kısımlarında anaerobik ayrışma devam edebilmektedir.
- Nihai örtünün geçirimsizliği; örtünün geçirimsizliğinin yüksek oluşu, atmosferik havanın girişine karşı direnci arttırmaktadır.

2.4.5 Depo Gazlarının Kullanılması

Depo gazının kullanılması durumu direk olarak depo gazının temizlenme derecesine, kısmen de uygulamalarının ekonomik fonksiyonlarına bağlıdır [8]. Depo gazları aşağıdaki alternatiflerden biri kullanılarak ekonomik açıdan değerlendirilebilir.

- Havalandırma ,
- Flairlarla yakma ,
- Direkt yakma ,
- Motor yakıtı ,
- Türbin yakıtı ,
- Araç yakıtı ,
- Doğal gaz şebekesine enjeksiyon ,
- Kimyasal madde üretimi [16]

2.4.5.1 Depo Gazlarının Yakılması

Flairlerle yakma, depo gazlarının ve bunlardan kaynaklanan kokunun kontrolü için depo sahaslarında uygulanan en yaygın metottur. Depo gazlarının enerjiye dönüşümü söz konusu olduğunda da, güvenlik açısından flair bulundurulması zorunludur.

Flairların çevresel önemi, hidrokarbon bileşiklerini yok etme verimleri ve dioksin gibi yanmayan ürünlerin oluşmamasıdır. Flairlardaki giderme verimi %98-99.5 civarındadır. Giderme verimi tamamıyla depo gazı kompozisyonunun, atmosferik şartların, yakıcı tasarımının, ateşleme kaynağı gibi parametrelerin bir fonksiyonu olan alevin stabilitesine bağlıdır. Depo gazları %30-60 arasında CH₄ ihtiva ettiklerinde, flairlarda rahatlıkla sabit bir alev elde edilebilir. Kapalı flairlar ise, azot oksitler (N_yO_x), karbon monoksit ve hidrokarbonlar gibi toksik emisyonları daha verimli bir şekilde giderme özelliğine sahiptirler [2].

Depo gazlarının direkt yakılması

Direkt yakma depo gazlarının tüketilmesinde kullanılan en basit ve en eski yöntemdir. Kullanılan yakıt doğal gaz ve depo gazlarının bir karışımından oluştuğundan, yakıcının adaptasyonu için gerekli olan modifikasyonlar daha basittir ve korozyon problemleri minimumdur [17]. Depo gazları genellikle geniş endüstriyel kazanlarda veya tuğla, kireç veya çimento fırınlarında yakılır. Depo gazı ayrıca seralarda kullanılabilir. Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan arıtma çamurlarının kurutulmasında da kullanılabilir.

Depo gazlarının sabit motorlarda yakıt olarak kullanılması

Direkt yakmanın mümkün olmadığı durumlarda depo gazlarının arıtım ve değerlendirilmesinde kullanılacak en ekonomik çözüm yolu elektrik üretimidir. Elektrik üretimi, depo gazının motorlarda yakıt olarak kullanılmasıyla gerçekleşir. Motorların, depo gazlarında kullanılmaya başlamadan önce bazı modifikasyonlara tabi tutulmaları gerekir. Depo gazının yapısından dolayı, aşınmaya karşı normalden daha dayanıklı malzemedan yapılmış vanalar ve vana kapakları kullanılmalıdır.

Motorun bazı parçalarının halojenli organik bileşiklerin zararlarına karşı çok hassas olması diğer bir kısıtlamadır. Depo gazındaki bu bileşikler, motorun yüksek sıcaklığından dolayı HCl ve CO₂ ye ayrılırlar. HCl'nin büyük kısmı çıkış gazıyla birlikte çevreye yayılır. Bu gaz motor teçhizatını direkt olarak yada yağın asitlenmesi yoluyla etkiler.

Korozyonla ortaya çıkan zararların önlenmesi için; motor yağına bazı ilaveler yapılarak HCl'nin tamponlanması sağlanabilir, tehlikeye yol açabilecek malzemelerden imal edilmiş ekipmanlar korozyona dirençli maddelerle kaplanabilir ve depo gazı, halojenli organik iz bileşiklerin bertarafını sağlayacak şekilde arıtılabilir .

Depo gazının gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanılması

Bir gaz türbini atmosferden önemli miktarda hava alır, bu havayı sıkıştırır, ısıtmak için bir yakıt kullanır ve daha sonra bunu bir enerji türbinine göndererek mekanik güç veya elektrik enerjisi üretimini sağlar. Depo gazındaki metanın ısı muhtevası 13000-18000 kJ/m³ gibi değerlerde olmasına rağmen, herhangi bir modifikasyon uygulanmadan kullanılabilir. Eğer ısıtma değeri daha düşükse, çift yakıt sisteminin kullanılması daha uygundur. Gaz türbinlerinde yakma ile motorlarda yakma işlemleri hava/yakıt oranı, türbülans, bekleme süresi ve ateşleme kaynağı gibi parametrelerin optimum değerlerde olmasını gerektirir.

Gaz türbinlerinin en önemli avantajı, dizel motorlardan veya buhar türbininden daha az yer kaplamasıdır. Ayrıca gaz türbinleri, daha fazla elektrik enerjisi üretir ve bakım ve maliyetleri daha düşüktür. Ancak bir gaz türbininin depo gazı ile çalıştırılabilmesi için her sıkıştırmadan sonra yağ ve suyun ayrılması gerekmektedir

2.4.5.2 Depo Gazının Doğal Gaz Şebekesinde Kullanılması

Depo gazının sahanın içinde veya yakınında kullanılması mümkün olmadığında, gazın doğal gaz kalitesine çıkarılması ve şebekeye verilmesi düşünülebilir. Depo gazı şebekeye verilmeden önce arıtılır ve hemen hemen saf metana dönüştürülür. Bunun yanında güvenlik nedeniyle gaza bazı koku yapıcı bileşikler ilave edilir. Bazı durumlarda propan ilavesi gerekli olabilir. Depo gazının iyileştirilmesi için uygulanacak arıtma prosesleri depo gazının bileşimi ve istenen kalite standartları ile ilgilidir [2].

2.4.5.3 Depo Gazının Kimyasal Madde Üretiminde Kullanılması

Depo gazının içeriğindeki metandan, petrokimyasal proseslerde hammadde olarak yararlanılması, teknik olarak mümkündür. Depo gazlarından bu şekilde yararlanılabilmesi için bu nihai kullanım şeklinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bugün için en uygun kullanım şekli metanol (CH_3OH) üretimi olarak görülmektedir [2].

2.4.6 Depo Gazının Arıtılması

Toplanmış olan gazın kullanılmadan önce bir arıtma işlemine tabi tutulması gerekebilmektedir. Depo gazının arıtılması iki amacı içermektedir; biri, depo gazındaki kirleticilerin, bazı gaz son kullanımları için uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Diğeri ise, depo gazı doğal gaz kalitesine (saf metan gibi) yükseltilebilmektedir. Bu gaza yüksek BTU gaz (BTU: British Thermal Unit) denmektedir. Bu durumda depo gazının arıtılması önemli bir bileşen olan CO_2 'nin giderilmesi anlamına gelmektedir. giderilecek maddeler halojenli bileşikler, hidrojen sülfür veya bileşikler gibi korozif maddelerle birlikte karbondioksit, azot ve su gibi metanı seyrekletiren ve ısıl değeri etkileyen bileşiklerdir.

Depo gazında bulunan hidrojen sülfür çeşitli metotlarla giderilebilir. İlk olarak basınçla dönen suyla temizleyerek giderilir (pressure-swing water scrubbing). Bu metot aslında karbondioksitle beraber giderim yapılacağı zaman kullanılır. İkinci olarak hidrojen sülfür basınçla dönme veya aktif karbonda sıcaklık /dönme ile giderilebilir. Alternatif olarak hidrojen sülfür aktif karbonda sülfür ve su oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona sokulabilir. Üçüncü olarak, hidrojen sülfür demir oksitle kimyasal reaksiyona sokularak giderilebilir [2].

Depo alanında CO_2 'nin kullanıldığı yerlerde, depo gazındaki CO_2 ve CH_4 birbirinden ayrılabilir. Karbondioksitin metandan ayrılması fiziksel adsorbsiyon, kimyasal adsorbsiyon ve membran ayırma yöntemleri ile yapılır. Fiziksel ve kimyasal adsorbsiyonda uygun bir solvent kullanılarak bir bileşen adsorbe edilir. Membran ayırma

yönteminde, bir yarı geçirgen membran kullanılarak CH_4 'den CO_2 giderilir. Yarı geçirgen membran CH_4 'ü tutarken $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}$ ve H_2O 'nun geçmesine izin verir [7].

Depo gazı yaklaşık olarak %100 su buharına doygundur. Depo gazının toplanması ve işlenmesi esnasında sıcaklık değişiminden dolayı, bu su buharı yoğunlaşmakta ve organik ve inorganik bileşikleri çözmektedir. Kondensatlar bileşimlerine bağlı olarak korozif, patlayıcı ve toksik özellikler gösterebilmektedir. Dolayısıyla, depo alanındaki kondensatların giderilmesi, hem korozyon riskinden hem de toplama sisteminde sebep olabilecek tıkanma riskinden dolayı tavsiye edilmektedir [2].

Depo alanından uzaklaştırılan kondensatların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereklidir yada tehlikeli özelliklerinden dolayı tercihen arıtılmalıdırlar. Bu kondensatlar ya depolama sahası üzerinden geri verilebilir, ya da kuyulara geri verilebilir. Toplanan sızıntı suyu ile birlikte de arıtılabilirler.

2.4.7 Depo Gazlarının Elektrik Enerjisi Olarak Değerlendirilmesi

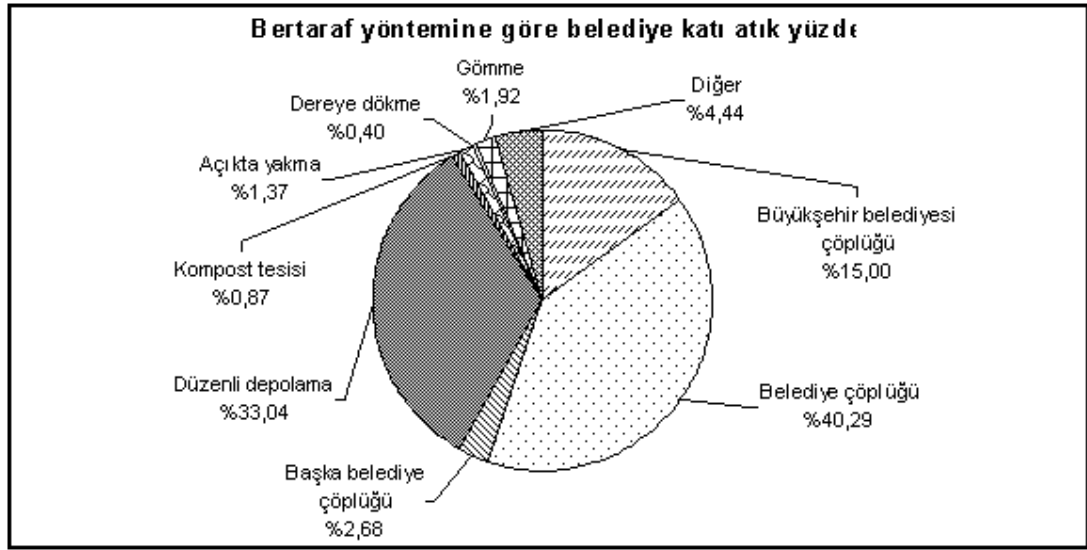
Enerji gereksinimi son yıllarda dünyanın ve ülkemizin en önemli konularından birisini teşkil etmektedir. Günümüzde, enerji gereksinimini karşılamak amacıyla özellikle petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanılmasıyla çevreye büyük zararlar verilmektedir. Bu yakıtların kullanılması sonucu oluşan karbondioksitin sera etkisi nedeniyle küresel iklimin ısınması söz konusu olmaktadır. Sanayileşme trendine paralel olarak artan enerji ihtiyacının bu yolla sağlanmasının sürdürülmesi durumunda, küresel kirlenme tehlikeli boyutlara ulaşacaktır. Bu nedenle doğal çevrenin ekolojik dengelerinin korunması yönünde alternatif enerji kaynakları kullanarak, çevreyi de bu anlamda korumak gerekir [18].

Ülkemiz açısından bakıldığında ise hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle (hayvan ve bitki atıkları, katı atıklar) biyogaz (metan v.s.) enerji kaynakları potansiyel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının en önemli özelliği tekrar elde edilebilir olmalarıdır. Çevre ile uyumlu, kaliteli, güvenilir ve ekonomik olarak elde edilmeleri kolaydır. Ülkemizin kalkınmasının temel parametresi enerjidir.

Enerji konusunda atılacak her önemli adım, ülkemizin sanayileşmesi ve kalkınmasına doğrudan yansiyacaktır [18].

Türkiye, mevcut elektrik kaynaklarını tam olarak değerlendirmemektedir. Bunu sonucu olarak, ülkemizin enerji ihtiyacının %34'ü iç kaynaklardan ve %66'sı dış kaynaklardan temin edilmektedir. Enerji Bakanlığının açıklamalarına göre [19], Türkiye, önümüzdeki yıllarda birincil enerji ihtiyacının %80'lik kısmını ithal etmek durumunda olacaktır. Bakanlık ayrıca Türkiye'nin enerji ihtiyacının hızla arttığını ve iç kaynaklardan temin edilen enerji açığının 2010 yılında %27'ye, 2020 yılında ise bu rakamın %22 seviyelerine düşeceğini söyledi. Oysa bu rakamlar, 1990 yılında %48, 1995 yılında %42 ve 1998'de %38 seviyelerindeydi [20]. Türkiye'de 2020 yılında nüfusun 100 milyonu aşması beklenmektedir, dolayısıyla, enerji açığı her yıl ortalama %4,4 ve %10 arasında olacaktır [21]. Bu rakamlar, Türkiye'nin enerji bakımından hızla dışa bağımlı bir ülke konumuna geldiğini göstermektedir. Bu nedenle değerlendirilebilir enerji kaynakları bakımından, kısa, orta ve uzun vadeli yapılması gerekenler devreye sokulmalıdır.

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de katı atıkların değerlendirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmesi, bu anlamda çok önemlidir. Türkiye'de 0.7-0.9 kg/kişi-gün atık oluşmaktadır [18]. Bu, yılda 20×10^6 ton civarında çöp demektir. Ancak üretilen evsel atıkların %68'i organik, diğer %32'lik kısmı ise, lastik, metal, cam, kül ve topraktan meydana gelmektedir [18]. Ülke genelinde 65000 ton/gün çöp üretilmektedir. Bunu büyük bir kısmı vahşi depolama ile bertaraf edilmektedir. Çünkü, 3215 belediyeden sadece 12'si düzenli depolama yapmaktadır [18]. Belediyelerden toplanan katı atığın %40'ı belediye çöplüğünde, %33'ü düzenli depolama sahalarında, %15'i Büyükşehir belediyesi çöplüğünde, %2'si gömülerek, %1'i açıkta yakılarak, %1'i kompost tesislerinde %0.4'ü ise dereye dökülerek bertaraf edilmiştir [22]. (Şekil 2.16) Türkiye genelinde belediyelere ait atık bertaraf tesisleri hakkında istatistiksel bilgi tablo 2.13'de gösterilmektedir.



Şekil 2.16 : Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık yüzdeleri [31]

Kullanılan çöp dökme sahaları, en fazla 1000 metre uzağında olan yerlere göre incelendiğinde, çöp sahalarının 1105'inde tarımsal alan, 629'unda orman, 614'ünde mera, 351'inde yerleşim yeri, 137'sinde su kaynağı ve 23'ünde turistik tesis bulunduğu belirlenmiştir [23].

Tablo 2.13 : 2001 yılı Belediye katı atık istatistikleri temel göstergeleri [23]

<i>TEMEL GÖSTERGELER</i>	<i>2001 YILI</i>
Toplam Belediye Sayısı	3215
Katı atık hizmeti verilen belediye sayısı	2915
Toplanan katı atık miktarı (milyon ton/yıl)	25,1
Kişi başı ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1.39
Kişi başı yaz mevsimi ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1.28
Kişi başı kış mevsimi ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1.32
Katı atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı %	77.44
Katı hizmeti verilen nüfusun belediye nüfusuna oranı %	98.32
Katı atık bertaraf tesisleri ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı %	23.63
Düzenli Depolama Tesis Sayısı	12
Düzenli Depolama Tesisi Kapasitesi (milyon ton)	261.3
Bertaraf edilen tıbbi atık miktarı(1000 ton/yıl)	13
Bertaraf edilen belediye katı atık miktarı (milyon ton/yıl)	8.3
Kompost Tesisi Sayısı	3
Kompost Tesisi Kapasitesi (1000 ton/yıl)	299
Bertaraf edilen katı atık miktarı (1000 ton/yıl)	218
Yakma Tesisi Sayısı	3
Yakma Tesisi Kapasitesi (1000 ton/yıl)	44
Bertaraf edilen tıbbi atık miktarı (1000 ton/yıl)	11
Katı Atık Yönetmeliğini bilmeyen belediye sayısı	942
Maddi imkansızlıklara sahip belediye sayısı	1768

Türkiye'deki düzenli depolama yöntemleri yaygınlaştırılarak kullanılır ise, bu depolama bölgelerinden elde edilecek metan gazları toplanarak elektrik üretiminde kullanılması mümkündür. Dünyada, 1990 yılında, 240 adet düzenli depolama bölgesi, gaz toplama projesi mevcuttu. Bu depolama bölgelerinden elde edilen gazlarla elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu sayının %90'ı gelişmiş ülkelerde kurulmuştur. Bu sayının üçte biri Amerika'da bulunmaktadır [18]. Özellikle, en büyük düzenli çöp depolama alanlarından birisi olan ve New York'ta bulunan çöplükten, 150000 m³/gün gaz alınmaktadır [18]. Almanya'da bu sayı 70, İngiltere'de ise 35 adettir. İngiltere'deki düzenli çöp depolama alanlarından sadece bir kaçından elde edilen elektrik üretimi miktarı 400 000 ton/yıl kömüre eşdeğerdir [18].

Yenilenebilir enerji endüstrisinde uzman bir ekibin çalışmaları sonucunda, kentsel katı atık depo alanlarından enerji kazanma konusunda en avantajlı teknolojiyi Atina (Yunanistan)'da uygulanmıştır. Bu uygulama ile Mart 2001 yılında, ana yakıtı Ano Liosia Katı Atık Depo alanı metan gazı olan 13.8 MW kapasitesinde ve modüler tipte bir elektrik üretim santrali devreye alınmıştır, ve başarıyla çalışmıştır [24].

Teorik olarak metan 286 L/kg oranlarında kimyasal oksijen ihtiyacı dönüşmesi ile ortaya çıkar, fakat tam olarak oluşmasında bir çok çevresel etken mevcuttur. Saf metanın beklenen enerji içeriği ortalama 38-45 Btu/L'dir. Bütan ve bunun gibi içerikleri nedeniyle doğalgazda bu oran %10 daha fazladır. Ama, metana özgü karakteristikler bir yakıt olarak mükemmel kullanım sonuçları vermektedir.

Depo gazındaki metan oranı yerel şartlara göre çok değişmektedir. Örneğin sıcak ve nemli bölgelerde depo gazındaki metan oranı %60'a kadar çıkarken kuru ve soğuk yerlerde %35'e düşebilmektedir. Metan oranının %40'ın altına inmesi durumunda enerji elektrik üretimi ekonomik olmayabilir. Depo gazında ayrıca oran olarak az ancak paslanmaya yol açabilecek başka maddeler de bulunabilir.

Bir gazın enerji üretiminde kullanılabilmesi için metan numarası önemlidir.

Metan numarası: Bu değer gazın sıkıştırılabilirlik özelliğini temsil eder. Gazın metan sayısı yükseldikçe kendilinden ateşlemeden sıkıştırılma oranı artar, ve böylece gaz

motorundan daha fazla güç elde etmek mümkün olur. Metan numarasının sıvı yakıtlar için karşıtı oktan değeridir. Nitekim benzinin Oktan değerini arttırmak için (yani motor silindirinde benzin-hava karışımının daha fazla sıkıştırılabilmesini sağlamak, dolayısıyla motor gücünü arttırmak için) benzine eskiden kurşun katılırdı. Ancak havada kurşun oranının artmasının sağlığa zararı dolayısıyla bu uygulamadan birçok ülkede vazgeçilmiştir.

2.4.7.1 Depo Gazı Projelerinin Ekonomik Yararları

Depo gazı yenilenebilir enerji olarak giderek ucuzlayan bir kaynak haline gelmiştir. İngiltere’de ise şuanda en ucuz enerji kaynağı olup diğer konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet edebilir düzeye gelmiştir.

Enerji üretim tesislerinde temelde etkin olan üç ana değer vardır. Bunlar yatırım kapitali, işletme giderleri ve yakıt bedelidir. İşletme ve bakım giderleri de firmalarca bir dizi halinde topluca sağlandığında düşüş göstermektedir. İşçilik, makine parçaları, yağlayıcılar ve ayrıca finansmanın geri ödemeleri ve sigorta diğer üçüncül giderlerdir. Enerji üretim tesislerinin geliştirilmesinde önemli olan bazı kriterler aşağıda gösterilmiştir.

- Şehrin nüfusu ve katı atık hizmeti verilen alanın nüfusu,
- Katı atık yönetim sistemi,
- Yetkili kurumlar,
- Kişi başı atık üretimi ve günlük katı atık üretimi,
- Atık bileşimi ve yoğunluğu,
- Organik atık bileşimi,
- Depolama alanı ile ilgili bilgiler,
- Yıllık depolanan atık miktarı,
- Şimdiye kadar depolanan atık miktarı,
- Yıllara göre atık dağılımı,
- Tehlikeli atık kabulü, geçirimsiz taban özellikleri, iklim, vb,

- Enerji üretimi, elektriğin kW/saat başına fiyatı, yenilenebilir enerji için teşvikler, enerji satış sözleşmesinin maksimum süresi, elektrik satışı, enerji santralini şebekeye bağlanması, şebeke bağlantısına olan uzaklık, depolama alanının yaklaşık kirası, en yakın konuta olan uzaklık projelendirmede önemlidir.

Depo gazından elektrik enerjisi üretiminin diğer teknolojilere göre üstünlüklerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Depo sahasında gaz yayılmasını azalttığı için çevreye net etkisi pozitiftir.
- Depo sahasında oluşan gaz kullanıldığından yakıt maliyeti yoktur. Ayrıca doğalgazın tersine, yakıt için döviz giderine gerek olmaz [25].
- Depo sahasından gaz üretimi mevsimden mevsime çok değişmez. Kapasite faktörü (sene içinde işletme oranı) %90 civarındadır. Bağlandıkları şebekede stabilite problemleri yaratmazlar. Örneğin hidroelektrik santrallerinde üretim aydan aya değişirken kapasite oranı %40-80 arasındadır. Rüzgar santrallerinde ise üretim bir gün içinde saatten saate değişir, ve kapasite faktörü %30'dan küçüktür [25].
- Yakıt masrafının olmaması ve kapasite faktörü dolayısıyla, enerji maliyeti kilovat saat başına 4 cent'ten azdır, yani diğer teknolojilerin çoğundan daha ekonomiktir [25].
- Depo gazı santralleri şehirlerin birkaç kilometre dışındadır. Dolayısıyla şebeke bağlantıları kısadır, buda maliyeti ve enerji kayıplarını azaltır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 KEMERBURGAZ HASDAL DEPOLAMA SAHASININ TANITIMI

Kemerburgaz Hasdal depolama sahası İstanbul'un en büyük ve en eski katı atık depolama sahasıdır. Hasdal vahşi depo sahası 1974 yılında faaliyete girmiştir. 577.000 m²'lik bir yüzeye yayılmış olan sahanın denizden yüksekliği 100 m'dir. Bağlı nem oranı %50 civarındadır. Bölgede deniz iklimi görülmektedir. Ortalama hava sıcaklığı 15 °C'dir. Sahanın çevresi ormanlık ve yeşilliktir [26].

Daha önce vahşi çöp depolama alanı olan Hasdal depo sahası 1995 yılında kapatılmıştır, ve Türkiye'de ilk defa uygulanacak olan aktif gaz depolama sistemiyle gazların toplanarak arıtılması ve sonra metan gazı yakılarak elektrik enerjisi elde edilmesi için depo gazından elektrik enerjisi üretim tesisi kurulmuştur. Böylece kontrol dışı oluşan gazlar çevreye zarar vermeden ekonomik şartlarda bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi sağlanmıştır [26]. Ayrıca, depo sahasının rehabilitasyonu aşamasında öncelikle çöp kaymasına mani olmak için 2 adet sedde yapımı, çöp yüzeyinin örtülmesi, şev düzenlemesi gibi tedbirlerde gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Kemerburgaz Hasdal Depo Sahasında Varolan Gaz Toplama Sistemi

Kemerburgaz Hasdal depo sahasında 1999 yılında depo gazlarından elektrik üretimi için çalışmalar başlanmıştır. Proje kapsamında araştırma aşamasının bir parçası olarak üretilen gaz miktarını ve kalitesini ölçmek amacıyla Soiltec firması tarafından pompa testleri yapılmıştır [26].

Pompalama testleri Soiltec firması tarafından başlatılmış ve daha sonra dengeleme ve ölçümleme işlemleri Soiltec firmasının talimatıyla yapısal personeli tarafından yapılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına göre ortalama metan içeriği %52 ortalama debi 26 m³/sa ve %1,2 O₂ olarak tespit edilmiştir. Hasdal vahşi depolama tesisinde evsel,

endüstriyel ve ticari olmak üzere 5,6 milyon m³ kontrol dışı oluşan gaz bulunmaktadır. Katı atık hacmi ise 8,2 milyon m³'tür.

Sahada 180 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların etki yarıçapı 20 m'dir. Eski çöplük ve yeni çöplük 4 hücre ile ayrılmıştır; A,B,C ve D 3 hat ile gaz taşınmaktadır. 15 adet toplayıcı manifold mevcuttur. Gaz bu manifoldlar da toplandıktan sonra 3 ana kollektör ile gaz santraline taşınmaktadır. Gaz hareketinden dolayı oluşacak yoğuşma suyunu ve gaz oluşumu ile meydana gelecek çöp suyunu almak amacıyla su tutucular konulmuştur [26].

Hasdal depolama tesisindeki gaz toplama sisteminde, dikey kuyular, üstten 2 m deliksiz, diğer kısmı delikli YYPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) borular bulunmaktadır. Çöpün kot farkına göre 9-45 m arasında borulama yapılmıştır [26]. Boruların etrafı 60 cm dere çakılı ile doldurulmuş ve drenaj sağlanmıştır.

Taşıma sistemi 110-250-315-400 mm'lik borularla yapılmıştır. Bu borularla gaz, tesisin arıtma-soğutma bölümüne gelerek, partiküllerden arınıp, soğutulurak, Elektrik enerjisi üretimi için gaz motorlarına gelmektedir. arıza olması veya ihtiyaçtan fazla gaz olması durumunda tehlikeli ve çevre için riskli olan gazı, bertaraf edebilmek için 1500 m³/sa'lik yakma debisine sahip bir yakma bacası dizayn edilmiştir. Yanma sıcaklığı optimum, gazın içindeki zararlı bileşenleri yok etmek ve emisyon problemlerini azaltmak için 1020 °C'dir. Motorlar için gerekli olan maksimum volimetrik verimi sağlayabilmek için gazın belli bir sıcaklık değerini aşmaması gerekmektedir. Depolama sahasındaki bu proseste bu sıcaklık 40 °C 'dir [26].

Sistem mezofil kademede çalışmaktadır. Sahada anaerobik bir hareket bulunmaktadır. Proses de otomasyonla yönetilen 4 kademeli bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Bu soğutma sisteminde gaz sıcaklığı 40 °C'ye çıkarsa 1. kademe devreye girer, sistem iki dakika saydıktan sonra sıcaklık 40 °C'nin altına düşerse, sistem durmaktadır [26].

Sistemin çeşitli noktalarında alev tutucular mevcuttur. Gazın hareketinden dolayı oluşacak kıvılcımları tutarak, çöp sahasına geri besleme olmasını engeller. Gaz arıtma

soğutma sisteminde ayarlanabilir voltmetre, debi metreler, basınç switchleri mevcuttur [26].

Gaz motorları kojenerasyon (Atık ısının değerlendirilmesi) ile çalışmaktadır. Gücün yanında ısı enerjisi de elde edilmektedir. Gaz motorlarının elektrik verimi %38,6 ısı verimi ise %45-50 arasındadır. Kayıplar ise %10-20 arasında değişmektedir. Tesiste şuan kojenerasyon işlemi yapılmamaktadır. Sadece motorun ceket suyu sıcaklığı iç ısıtmada kullanılmaktadır. Egsoz dan çıkan ısı fizibil olmadığından dolayı kullanılmamaktadır. Motorlar 4 zamanlıdır, emme, sıkıştırma, ateşleme ve egsoz. Tesiste 20 silindirli V-70 tipi motorlar kullanılmıştır. 10006 kW'lık elektriksel çıkışları, 1250 kW ısı çıkışları, 250 kW kayıpları mevcuttur. Motorlar Leanox (Zayıf oksijen) prensibine göre çalışmaktadır. Az yakıtla daha çok güç elde edilmektedir. Gaz arıtılıp temizlendikten sonra 3 yollu vana vasıtasıyla hava ile birleştirilir ve elde edilen gaz –hava karışımı silindirlerde yakılmak suretiyle dönen bir alan oluşturulur. Krank mili jeneratörün miline aküple birebir bağlıdır. Krank mili hangi yöne dönerse jeneratör de o yönde döner, jeneratör uçlarında 400 volt elektrik enerjisi sağlanır ve bu elektrik enerjisi transmatörler de 34500 volta (34,5 kW) yükseltılarak ana şebekeye verilir [26]. Gaz santralinde üretilen elektriği TEDAŞ'ın dağıtım sistemine iletmek için oluşturulan şalt tesisine step-up trafolar monte edilmiştir. Ayrıca trafo ile TEDAŞ bağlantı noktası arasında havai elektrik dağıtım hattı çekilmiştir. Kemberburgaz hasdal depolama tesisin ekipman verileri tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Kemberburgaz depo sahası ekipman verileri [26]

Üretim Kapasitesi	6 MW
Gaz Emiş Kapasitesi (%20 toleransla)	4680 m ³ /saat
Gaz Kuyusu Sayısı	180 adet
Gaz Toplama Borusu Çapı	110 mm
Kollektör Merkezi Sayısı	15 adet
Kollektör Merkezinden Çıkan Boruların Çapı	250 mm
Ana Toplayıcı Borunun Çapı	400 mm
Blover Sayısı	3 adet
Jeneratör Sayısı ve Kapasitesi	4 adet/1 MW
Jeneratör Enerji Verimi	%38,8

Toplam çöp hacmi ve derinliklerine bağlı olarak ve gaz üretim potansiyeli depo gazı pompalama denemesinin sonuçlarına göre Kemberburgaz depo sahası metan gazından 6 MW elektrik enerjisi üretmek için elverişli olduğu saptanmıştır [26]. Tesisin gaz toplama sistemini gösteren harita ekler bölümünde verilmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesinin kurmuş olduğu bu tesiste, üretime başladığı tarih itibari ile 31.12.2003 tarihine kadar toplam 10.310.000 kW enerji üretilmiştir. Enerji üretim tesisin maliyeti 6,5 milyon dolardır. Şekil 3.1'de tesisin görünümü bulunmaktadır.



Şekil 3.1: Kemberburgaz hasdal enerji üretim tesisi [27]

Fizibilite raporlarına göre tesiste 2003 yılı içerisinde 7668 MW enerji üretilmiştir. Tesisten %27 verim elde edilmiştir. Verimin az olmasının sebebi işletmeden kaynaklanmayıp, sahada vahşi depolama yapılmasından kaynaklanmaktadır [26]. Sahada üretilen gaz miktarı tam olarak bilinmediği için üretilen gazın tamamı değerlendirilememektedir.

2004 yılı ocak ayı içerisinde, 496,2 MW/2004 ocak, şubat ayında ise 601 MW/ şubat enerji üretilmiştir. Tesis kurulduğu günden itibaren (2002 yılından beri) 01.03.2004 tarihine kadar üretilen toplam enerji miktarı 11.407.000 kW'tır. 2003 yılı içerisinde motorlar 9155 saat çalışmıştır [26].

3.1.2 Hasdal Enerji Üretim Tesisinin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Kemberburgaz Hasdal enerji üretim tesisinin yatırım maliyetlerini gösteren tablo aşağıda gösterildiği gibidir.

Tablo 3.2 : Tesisin toplam yatırım tablosu [26]

Gaz Toplama Sistemi	1.133.647 \$
Pompalam Deneyi	29.617 \$
Gaz Taşıma Sistemi	1.604.833 \$
Düşük Basınçlı Arıtma Sistemi	214.065 \$
Yakma Bacası	114.271 \$
Yüksek Basınçlı Arıtma	-
Motor Alternatör 4 adet	1.274.009 \$
Trafo ve Şalt Tesisi	485.127 \$
Trafo Binası	13.609.632.96 TL
Ofis ve İstasyon binası	50.775.889.040 TL
Yer altı Kablosu	37.285 \$
İşletmeye 1 yıl Nezaret	311.07 \$

Toplam : 5.203.935 usd ve 64.385.522.000 TL.

Yağ birim fiyatı 2,5 Euro/lt

İşletme Gelirler Toplamı :

Yıllık çalışma	: 8000 saat/yıl
Saatlik üretim enerjisi	: 4000 kWsa
Yıllık üretilen elektrik enerjisi	: 32.000.000 kWsa/yıl
Birim fiyat	: 0,08 USD/kWsa

Toplam enerji geliri = 2.560.000 usd/yıl dolar-Euro parite $1,2 \cdot 10^5$

Toplam enerji geliri = **2.150.000 Euro/yıl.**

Isı enerjisi = yok

İşletme Giderler Toplamı :

Yağ gideri = (0,2 gr/kWsa x planlanan yıllık elektrik üretim miktarı) + (motor çalışma saati/Yağ değişim periyodu) x (toplam yağ hacmi) x 4 adet motor + %5 kayıp

Yağ gideri = [(0,2 x 32.000.000) + (8000/1000 sa x540 L) x 4] + %5 = 23,68 L/yıl

Yağ bedeli gideri = yağ miktarı x yağın L. olarak birim fiyatı

Yağ bedeli = 1 t/yıl x 2,50 euro/L = **59.200 euro/lt**

Elektrik Tüketim Bedeli : Yaklaşık iç ihtiyaç 100 kW/sa

Yıllık ihtiyaç = (100 kW/sa x 8000 sa) x 0,08 usd/kWsa

Yıllık ihtiyaç = 64.000 euro/sa = 560.640.000 usd/yıl = **467.200.000 euro/yıl**

Personel Gideri : 10 kişi personel

Ortalama ücret 1.000 euro/kişi

10 x (12+4) x 1.000 euro =**16.000 euro/yıl**

Elektrik nakil gideri : Nakil fiyatı 0,007 euro/kWsa

Toplam yıllık nakil gideri = 32.000.000 x 0,007 = **224.000 euro/yıl**

Yıllık bakım gider : Tesiste 1000 saat bakım yapılmaktadır.

Yıllık ortalama 125.000 /3 = 40000 euro/yıl

Giderler Toplamı :

Yağ = 59.200 euro/yıl

Elektrik = 467.200.000 euro/yıl

Personel = 16.000 euro/yıl

Elektrik nakil gideri = 224.000 euro/yıl

Toplam = 782.400.000 euro/yıl

Gelirler toplamı = 2.150.000.000 euro/yıl

Yıllık fark yani yıllık kar = 2.150.000.000-782.400.000 =1.368.382.400 euro/yıl

Basit geri ödeme süresi = toplam yatırım bedeli/kar

Geri ödeme süresi = $5.203.935/1.368.382.400 = 4$ yıl.

Tesisin tam kapasite çalıştığı durumda yıllık kar 1.368.382.400 Euro/yıl olur %65 verimlilik sağlandığı durumda ise 889.448.560 Euro/yıl kar elde edilir. Tesisin ekonomik ömrünün 15- 20 yıl olarak göz önüne alındığında tesis kendini 3-4 yıl içerisinde maliyetlerini geri kazanabilecektir.

3.2. DEPO GAZLARINI MODELLEME ÇALIŞMALARI

3.2.1 Giriş

Katı atık düzenli depo sahalarından oluşacak gaz miktarının matematiksel olarak ifade edilmesi için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; genel kinetik parametrelerle basit amprik fonksiyonların kullanıldığı depo gazı oluşum hızı hesapları, ve biyolojik ayrışma sırasında meydana gelen fiziko-kimyasal reaksiyonlara dayanarak elde edilen kinetik parametrelerin kullanıldığı depo gazı oluşum hızı hesaplamalarıdır.

3.2.2 Kompleks Matematiksel Modeller

Bu modeller gaz oluşum hızını etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişkenlerin etkilerini kompleks matematiksel ifadelerle belirtmektedir. Bazı kompleks matematiksel modellerin esasları kısaca aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

3.2.2.1 Katı Atıkların 1. Derece Kinetiğe Göre Ayrışması

Bu modele göre katı atıkların ayrışma oranı atık içerisindeki ayrışabilen madde miktarıyla doğru orantılıdır [28].

$$\frac{dC(t)}{d(t)} = -k * C(t) \quad (3.1)$$

Burada k, ayrışma hızı sabitini (yıl^{-1}); C(t), t anında katı atık içerisinde bulunan biyolojik olarak ayrışabilen organik madde miktarını (kg/yıl); ve t, zamanı (yıl) göstermektedir. Bu eşitliğin entegrasyonu;

$$C(t) = C_0 * e^{-kt} \quad (3.2)$$

ifadesi bulunur. Burada C_0 , atık içerisinde başlangıçta bulunan, kuru, organik, biyolojik olarak ayrışabilen madde miktarıdır.

Depo gazı oluşum hızı α , ($m^3/ton/yıl$), katı atıkların ayrışma oranıyla doğru orantılıdır.

$$\alpha = -0.8 * C_0 * e^{-kt} \quad (3.3)$$

3.2.2.2 Palos Verdes Modeli

Palos Verdes modeli depo sahalarında gaz üretim kinetiğini ortaya koyan iki kademeli 1. derece matematiksel bir modeldir. Birinci kademedeki gaz oluşumu zamanla artmakta, ikinci kademedeki ise zamanla azalmaktadır [13].

İlk basamak aşağıdaki denklemle tanımlanır;

$$DG/dT = k_1 G \quad (3.4)$$

Burada t zaman; G t 'den önceki LFG üretimi ve k_1 de gaz üretim hızı sabitidir. Bu denklem, birinci basamak süresince gaz oluşum hızının üretilmiş olan gaz hacmi ile orantılı olduğunu gösterir. Bunun bir sonucu olarak gaz üretim hızı zamanla artar. İkinci basamak ise aşağıdaki denklem ile tanımlanmaktadır.

$$DL/dT = -k_2 L \quad (3.5)$$

Burada L , t sürede üretilen gaz hacmi, k_2 gaz üretim hızı sabitidir. Bu yüzden ikinci basamakta gaz üretim hızı zamana bağlı olarak azalır.

Maksimum gaz üretim hızı ve birinci basamaktan ikinci basamağa geçişin yarı zamanda meydana geldiği kabul edilir. Bu noktada, üretilen maksimum gaz miktarının yarısına ulaşır.

Organik substrat üç sınıfa ayrılır; yüksek hızla bio- ayrışabilir (yiyecek), orta hızda bio- ayrışabilir (kağıt, karton, tekstil ürünleri), dayanıklı organik atıklar (plastik, lastik). Her sınıf için model, t zamanda üretilen gaz hacminin hesaplanmasına izin verirken, türevler üretim hızını vermektedir. Toplam gaz hacmi üretimi her atık sınıfından olan üretimlerin toplamı olarak yaklaşık şekilde tanımlanabilir [2].

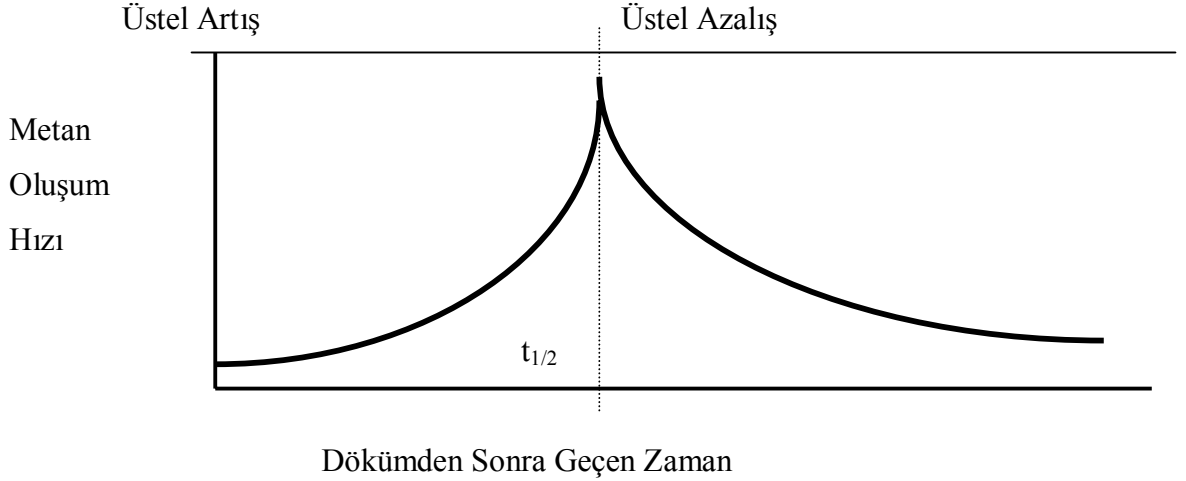
3.2.2.3 Sheldon Arleta Modeli

Sheldon Arleta modeli iki basamaklı birinci derece kinetiğine dayalı bir modeldir. Atık çamurunun LFG oluşturmak üzere anaerobik sindirimi için bir gaz üretim eğrisinin uygulanması ile türetilir.

Model, sürekli atık eklenmesi ile oluşan gaz üretiminin zamana bağlılığını tanımlayan boyutsuz bir eğri oluşturulur. Atıktaki küçük artımlara karşılık gelen üretimlerin toplamı, toplam biogaz miktarını verir. Bu modelde, atıklar kolay ayrışabilen ve zor ayrışabilen atıklar olarak iki gruba ayrılmıştır. Her grup için bir yarı zaman tanımlıdır ve toplam üretim zamanı aşağıdaki ifadeyle hesaplanır [13];

$$t_{\text{toplam}} = t_{1/2} \times 0,35 \quad (3.6)$$

Maksimum üretim hızına yarı zamanda ulaşılır [2].



Şekil 3.2 : Sheldon Arleta modeline örnek [13]

3.2.2.4 Scholl Canyon Modeli

Tek kademeli 1.derece kinetik bir modeldir. Bu model, anaerobik koşulların ve mikrobiyal popülasyonun oluşması için gerekli olan bir gecikme zamanından sonra biogaz oluşumunun maksimum hızla başladığını kabul etmektedir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$Q = 2 \times L_0 \times R \times (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (3.7)$$

Burada;

Q = Yıllık gaz oluşum miktarı $m^3/yıl$

L_0 = Depolanan atıktan oluşabilecek metan miktarı m^3 /ton

R = Depo sahasının aktif ömrü boyunca depolanan ortalama atık miktarı $ton/yıl$

k = Metan oluşum hız sabiti $m^3/yıl$

c = Depo sahası kapatıldıktan sonra geçen süre yıl

t = İlk depolamanın başlamasından sonra geçen süre yıl [2]

3.2.2.5 Emcon Modeli

Bu model, bir düzenli depodaki potansiyel biogaz oluşumunu öngörmektedir. Ana girdiler atık miktarı, bileşim ve nem içeriği, gecikme zamanı ve dönüşüm zamanıdır. Model, üç madde sınıfı kabul eder. Hızlı, orta, yavaş ayrışan maddeler. Her sınıf için

model bir metan oluşum eğrisi hesaplar. Model belirli bir ıslak atık ağırlığı için (i) bileşenden oluşabilecek maksimum metan hacminin belirlenmesinde kullanılır. Bu ifadeyi, matematiksel olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

$$C_i = k \times k' \times W_t \times P_i \times (1 - M_i) \times V_i \times E_i \quad (3.8)$$

Burada;

W_t = Toplam ıslak katı ağırlığı kg

P_i = i bileşenin toplam atık kütlesi içerisindeki miktarı kg ıslak i bileşeni/kg ıslak atık

M_i = i bileşenin nem muhtevası kg su /kg ıslak atık

V_i = i bileşenin uçucu katı madde muhtevası

E_i = i bileşenin biyolojik olarak ayrışabilen kuru uçucu katı madde muhtevası

C_i = i bileşenden oluşabilecek gaz hacmi

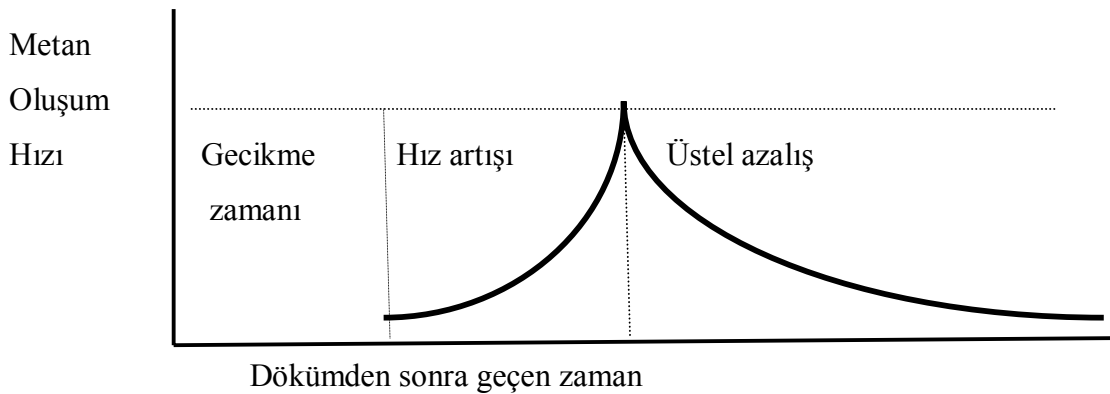
k = 351 CH₄/kg KOI

k' = 1,5 kg KOI/kg uçabilir katı

n adet bileşenden meydana gelen atıktan oluşabilecek toplam CH₄ miktarı;

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3.9)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.



Şekil 3.3 : Emcon Modeli [13]

3.2.2.6 P.G.E (Pasifik Gaz ve Elektrik) Kinetik Modeli

Pasifik gaz ve elektrik, depo gazı oluşumu için kinetik bir model geliştirmiştir. Bu modelde gaz oluşum oranlarının zamana karşı değişimi ve belirli bir zaman aralığında atığın gaza dönüşüm oranı belirlenmektedir. Hem parabolik hem de eksponansiyel formlar kullanılmış ve aktif depo sahaları için eksponansiyel ifadelerin daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Modelde, atık miktarı (birim zamanda depolanan atık), atık yüksekliği ve depolanan atığın yoğunluğu gibi veriler de kullanılmaktadır. Bu veriler kullanılarak atık içerisindeki her bir bileşen için gaz oluşumu zamana bağlı olarak hesaplanır ve bu değerler toplanarak toplam gaz oluşumu belirlenir [2].

3.2.3 EPA Depo Sahası Gazı Emisyonları (LANDGEM) Modeli

Depolama sahası gazı emisyonları modeli (LANDGEM) katı atık depolama sahaslarından gelen emisyonların miktarının otomatik belirlenmesi için geliştirilmiştir [21].

Model 1. derece bir bozunma reaksiyonuna dayanmaktadır. Modelde depo gazının yarı yarıya metan ve karbondioksitten oluştuğu ve bununla birlikte düşük konsantrasyonlarda diğer hava kirleticileri de içerdiği göz önüne alınmıştır. Katı atık, düzenli depolama sahasından kaynaklanan emisyonların tahmin edilebilmesi için aşağıdaki esaslara gerek duyulmaktadır [29].

- Depo sahası tasarım kapasitesi,
- Depo sahasında gömülü durumda bulunan atık miktarı ya da depolama sahasına yılda gelen atık miktarı,
- Metan üretim hızı (k),
- Potansiyel metan üretim kapasitesi (L_0),
- Depo sahasının kaç yıldır işletildiği,
- Depo sahasının tehlikeli atık bertarafı için kullanıp kullanılmadığı,

Modelde kullanılan temel bir birinci derece bozunma denklemidir.

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (3.10)$$

Burada;

Q_{CH_4} = t anındaki metan üretim hızı m³/yıl

L_0 = Potansiyel metan üretim kapasitesi m³ CH₄ /ton atık

R = Depolama ömrü boyunca yıllık bertaraf edilen atık ton/yıl

k = Metan üretim hız sabiti yıl⁻¹

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

t = Depolamanın ilk başladığı yıldan itibaren geçen süre (yıl)

Modelde depolama sahası emisyonları için CAA (Clean Air Act) yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır. Yeni depolama sahaları için NSPS (New Source Performance Standards) ve varolan depolama sahaları içinde emisyon değerleri esas alınmıştır. Modeldeki CAA değerleri beklenebilecek maksimum emisyon miktarını ortaya koyacaktır. Sahaya ait bilgilerin yeterli olmadığı hallerde modelde başka bir set değerler (AP-42) kullanılmaktadır. Modeldeki AP-42 değerleri *U.S EPA* örgütünün *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* alınan değerlere dayanmaktadır [29].

3.2.3.1 Depolama Emisyonları

Gaz emisyon modeli, depolamadaki atıkların ayrışması sonucunda oluşan emisyonların tahmininde kullanılmaktadır. Depo alanındaki katı atıkların anaerobik ayrışması sonucunda depo gazı emisyonları oluşmasına neden olur. Depo gazı atıktan geçerken, atığın bünyesindeki NMOC (metan dışı organik bileşikler) ve diğer hava kirleticilerini yüzeye taşımaktadır. Modelde katı atık depo sahasından kaynaklanan emisyonlar %50 CH₄ ve %50 CO₂ ve eser metan dışı organik bileşiklerden oluşmaktadır. Ayrıca, bu yüzdeleri değiştirmekte mümkündür. Gaz üretimi kararlı hale ulaştığı zaman depo gazı %40 CO₂, %55 CH₄, %5 azot ve diğer atmosfer gazları ile eser miktarda NMOC'dan (Metan dışı organik bileşik) oluşmaktadır [29].

Bu modelde birinci derece ayrışma kinetiği kullanılmaktadır. Toplam gaz emisyonları, metan üretimi hesaplanıp bu sayıyı ikiyle çarparak hesaplanmaktadır. (Gazın %50 metan ve %50 CO₂ oluştuğu kabul edilirse) metan üretimi iki parametre kullanılarak hesaplanılmaktadır: L_0 , Atığın potansiyel metan üretim kapasitesi ve k , metan üretim hızı. Metan üretim hızının depolama sahası kapatıldığında veya sahadaki son atık gömme işlemi yapıldığında maksimum değerine ulaştığı kabul edilmektedir. Model depolamaya ait verilerden yola çıkarak sahaya özgü L_0 ve k değerlerinin girmesine olanak vermektedir [30].

3.2.3.2 Metan ve Karbondioksit

NSPS (New Source Performance Standards) ve diğer gaz emisyonları sadece NMOC (metan dışı organik bileşikleri) emisyonlarının yaklaşımlarını sağlamaktadır. Bu model ise, depo gazındaki tüm bileşenlerin yaklaşımlarını sağlamaktadır. Bu modelde, karbondioksit emisyonlarının metan emisyonları ile aynı olduğunu ve depolama emisyonlarının metan emisyonunun iki katı olduğunu öngörmektedir. Depolamadan kaynaklanan metan iki değer fonksiyonudur : k , metan üretim hız sabiti ve L_0 , metan üretim potansiyeli, k sabiti, depolama sahasındaki her bir atık için metan üretim hızını göstermektedir. k 'nın yükselen değerleri metan üretim hızının zamanla daha hızlı yükselmesi ve düşmesini ifade etmektedir. k 'nın değeri aşağıdaki esasların bir fonksiyonudur;

1. Atığın nem içeriği
2. Nutrient içeriği
3. pH
4. Sıcaklık

NSPS (New Source Performance Standards) için toplanan datalardan elde edilen k değerlerinin 0,003 ile 0,21 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler, kullanılan alan deneme verilerinden elde edilmiştir.

Eğer kullanıcı tarafından sahaya ait bir k değeri girilmiyorsa, model hazır değerleri kullanmaktadır. Hazır olan iki k değeri bulunmaktadır: CAA seçeneği için 0,05 yıl⁻¹ ve AP-42 seçeneği için 0,04 yıl⁻¹ [30].

Atığın potansiyel metan üretim kapasitesi olan L_o değeri depo alanında bulunan atığının tipine bağlıdır. Atığın selüloz içeriği arttıkça, L_o değeri de artmaktadır. L_o değeri 6,2 ile 270 m³/ton arasında değişmektedir. Modelde, sahaya özgü bir L_o değeri girilmiyorsa, kullanılan iki hazır değer mevcuttur. Bunlar; CAA için 170 m³/ton ve AP-42 için 100 m³/ton [30].

3.2.3.3 Hava Kirleticileri

Depo gazı sızmalardan ve atığın ayrışmasından dolayı düşük konsantrasyonlarda bile hava kirleticilerini içermektedir. LANDGEM (Depo sahası gazı emisyonları modeli) modeli hava kirleticileri için belli konsantrasyonları vermekte ve eğer saha yapılmış olan özel testler varsa bu değerler değiştirilmektedir. Depo gazıyla birlikte açığa çıkması beklenen hava kirleticileri ve bunların konsantrasyonları AP-42 deki test verileri esas alınarak modelde hazır olarak bulundurulmaktadır [29].

Hava kirleticileri modelde tehlikeli hava kirleticisi (HAP) veya uçucu organik bileşik (VOC) olarak bulunmaktadır.

Modelde birlikte bertaraf (Tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların beraber bertarafı) ve ayrı ayrı bertaraf etme için iki seçenek bulunmaktadır. Bunun nedeni ise tehlikeli atık bertarafı yapılan sahalarda bazı hava kirleticilerinin nispeten daha fazla olmasıdır.

3.2.3.4 NMOC (Metan Dışı Organik Bileşik)

Depo gazındaki NMOC (Metan dışı organik bileşik) konsantrasyonu sahadaki atık tipine ve anaerobik ayrışma sonucunda açığa çıkan bileşiklerin reaksiyonuna bağlıdır. NMOC konsantrasyonları 240-14.300 ppmv arasında değişmektedir. Model üç değişik değer içermektedir. CAA değerleri için, hekzan için NMOC konsantrasyonu 4000 ppmv AP-42 seçeneğinde birlikte bertaraf durumunda 2420 ppmv ve ayrı bertaraf etme durumunda ise 595 ppmv değeri kullanılmaktadır [31].

4. BULGULAR

4.1 KEMERBURGAZ (ODAYERİ) DEPOLAMA SAHASININ DEPO GAZLARINI MODELLEME ÇALIŞMALARI

4.1.1 Kemberburgaz (Odayeri) Depolama Sahasının Tanıtılması

İstanbul'da Avrupa yakasının katı atıklarının depolandığı Odayeri katı atık depolama sahası, Kemberburgaz yakınlarında bulunmaktadır. Hafif eğimli bir vadide kurulmuştur. Saha kil, kum, çakıl ve kömür içeren tabakalarla kaplıdır.

Depolama sahası yüzey yapısı tahrip edilip tamamen terk edilmiş, eski bir maden ocağı alanıdır. Depo sahası 25 yıllık kullanıma göre projelendirilmiştir. Sahada 59 ha'lık bir alan öngörülmüş olup halen 25 ha'lık kısmı kullanılmaktadır [26]. Kemberburgaz düzenli depo tesisin bulunduğu yerde deniz iklimi gözlenmektedir. Ortalama hava sıcaklığı 15 °C'dir. [31].

İnşa sahasının öncelikle nebati toprağı temizlenip yeraltı suyu drenajı sağlanmaktadır. Bu drenaj kanalları aynı zamanda kontrol amaçlı kullanılmaktadır. Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınıp uygun eğime (taban $\geq 2\%$, kenarlar $\leq 1/3$) getirilen tabii zemin üzerine, iki ayrı kademede serilip sıkıştırılmış permeabilitesi 10^{-8} m/sn 'den küçük veya eşit olan 60 cm'lik kil tabakası serilmektedir. Kil tabakası üzerine bir dren tabakası serilmektedir. Bu dren tabakasından sonra saha 2 mm kalınlığında YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen) folye ile kaplanmaktadır. Folye üzerine koruyucu bir tabaka serildikten sonra sızıntı suyu drenaj tabakası oluşturulmaktadır. Drenaj tabakası, kalker içeriğı ve çapı uygun çakıl ve dren borularından oluşmaktadır. Burada kullanılan dren boruları YYPE olup özel et kalınlığına sahiptir. Oluşturulan geçirimsizlik tabaksından sonra sahaya düşey olarak etkili, yarıçapı 25-50 m olan gaz bacaları yerleştirilmektedir. Bu gaz bacaları 150 mm çapında YYPE delikli borulardan oluşturulmuştur [26].

Hazır sahaya serilen ilk çöp tabakası, takriben 1,5-2 m kalınlığında ve içersinde geçirimsizlik tabakasına hasar verecek malzeme bulunmayan çöpten teşkil edilmektedir. Depolama sahasında çöpler hücreleme metoduyla depolanmaktadır. Sahaya getirilen çöpler dozerlerle 1/3 eğimde teşkil edilen hücre yüzeyine 50-60 cm kalınlıkta serilerek kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır. Oluşturulan tabaka kalınlığı ise ortalama 5m'dir [26].

1995 yılından beri işletilen tesiste günde 6000 ton çöp depolanmaktadır. Alana depolanan bu atıkların ortalama yüksekliği ise 40 metredir. Sahada evsel nitelikli çöpler, tehlikeli olmayan endüstriyel çöpler, ambalaj atıkları ve yakılmış tıbbi atıklar depolanmaktadır [26].

4.1.2 EPA LANDGEM (Depo Sahası Gazı Emisyonları Modeli) Modelinin Odayeri Depo Sahasına Uygulanması

Modelin uygulama yöntemleri ile ilgili bilgi üçüncü bölümde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Modelde depolama sahasından kaynaklanan metan iki değer fonksiyonudur; k , metan üretim hız sabiti, ve L_0 , metan üretim potansiyelidir [30].

Modelde, birlikte bertaraf (tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların aynı yerde bertarafı) ve birlikte bertaraf etmeme (tehlikeli atıkların farklı bir yerde bertaraf edilmesi) için iki ayrı seçenek bulunmaktadır. Odayeri düzenli depolama sahasında evsel atıklarla birlikte, tehlikeli atıklar depolanmadığı için, birlikte bertaraf seçeneğinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Modelde sahaya özgü bir L_0 ve k değeri bilinmemektedir. Bu nedenle bu iki değer CAA ve AP-42 seçenekleri için modelde hazır olarak verilen ampirik değerler kullanılmıştır ve karşılaştırma yapma imkanı doğmuştur. k ve L_0 değerleri sahada yapılan gaz ölçümleri ile hesaplanabilir. Eğer sahada yapılmış herhangi bir ölçüm bulunmuyorsa, EPA tarafından bulunan sabit değerler ile modelleme yapılabilir. k ve L_0 değerleri aşağıda gösterildiği gibidir [30]:

CAA Ampirik Değerleri :

k : 0,05 yıl⁻¹

L₀ : 170 m³ /Mg atık [30]

AP-42 Ampirik Değerleri :

K : 0,04 yıl⁻¹

L₀ : 100 m³/Mg atık [30]

Landgem modeli bir bilgisayar programıdır. Programda depolama sahasının açılış ve kapanış yılının girilmesi gerekmektedir. Depolama sahasının açılış yılı 1995 olarak alınmıştır. Kemerburgaz depolama sahası 20 yıllık depolama yapılacak şekilde projelendirilmiş olup, bu kriter göz önüne alınarak sahanın kapanış yılı 2015 olarak kabul edilmiştir. Modelde depolamaya başlanılan 1995 yılından itibaren 2003 yılına kadar olan yıllık atık miktarları girilmiştir. Kemerburgaz düzenli depolama tesisinde depolanan yıllık atık miktarları tablo 4.1'de gösterilmiştir. Depo sahasının atık kapasitesi 16.885.250 ton olarak kabul edilerek, yıllara göre atık miktarları model üzerinde yazılarak, CAA ve AP-42 değerlerine göre oluşan metan gazının oluşum miktarı mikrogram ve metreküp/yıl olarak bulunmuştur. Model verilerinde emisyon hızı $4.454E+06$ m³/yıl olarak sembolize edilmiştir, bu değer açılımı $4,454 \times 10^6 = 4.454.000.000$ m³/yıl sayısına denk gelmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar Ek 1-2'de detaylı şekilde verilmiştir.

Tablo 4.1 : Kemerburgaz düzenli depo tesislerinde depolanan çöp miktarı [27]

Yıl	O yıl depolanan Çöp Miktarı ton	Toplam Depolanan Çöp Miktarı ton
1995	524013	524013
1996	1122443	1646456
1997	1521541	3167997
1998	1775983	4943980
1999	2220225	7164205
2000	2282265	9446470
2001	2205211	11651681
2002	2281219	13932900
2003	2952350	16885250

Depolama sahası gazı, saha kapatıldıktan sonrada üretilmeye devam etmektedir. bu nedenle modelde depo gazının kapatılana kadar ve kapatıldıktan sonraki değerleri de hesaplanmıştır. Modelde saha kapatıldıktan sonraki 200 yıl için hesap yapılmakta ve bu sayı değiştirilememektedir.

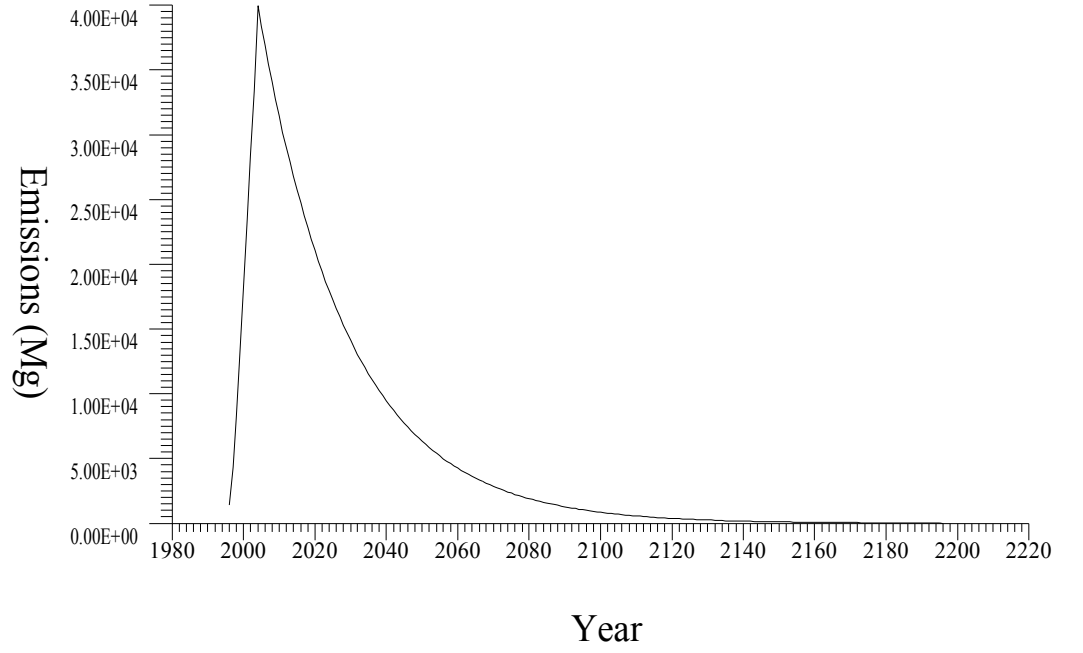
Model çalışmasında, yapılan hesaplamalar sonucunda Odayeri depolama sahasında 2209 yılına kadar toplam olarak CAA sabiti için 294.500.000 m³/yıl ve AP-42 Sabiti için 170.051.450 m³/yıl metan oluşacağı görülmüştür. Modelin başlangıcında depo gazının %50 metan ve %50 karbondioksitten oluştuğu kabul edilmiştir. Buna göre toplam olarak sahada CAA için 5.890.000.000 m³/yıl ve AP-42 için 3.401.020.900 m³/yıl depo gazı oluşacağı ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.2: Model sonuçlarının karşılaştırılması

	<i>Birim</i>	<i>CAA</i>	<i>AP-42</i>
Toplam Atık	Ton	16.885.250	16.885.250
Toplam Metan Oluşumu	m ³	294.50.000	170.500.450
Toplam Gaz oluşumu	m ³	5.890.000.000	3.401.020.900
Birim Gaz oluşumu	m ³ gaz/ton atık	349	201

Literatürde, 1 ton evsel atık başına oluşacak depo gazı 120-300 m³/ton aralığını vermektedir [25]. Odayeri için yapılan hesaplamalarda bu değer AP-42 için 201 m³/ton ve CAA için 349 m³/ton atık olarak hesaplanmıştır. Buradan AP-42 için yapılan hesaplamaların literatürdeki değerler arasında kaldığı, daha gerçekçi ve doğru bir sonuç verdiği görülmektedir. AP-42 ve CAA için hesaplanan gaz miktarları şematik olarak şekil 4.1 ve şekil 4.2'de gösterilmiştir.

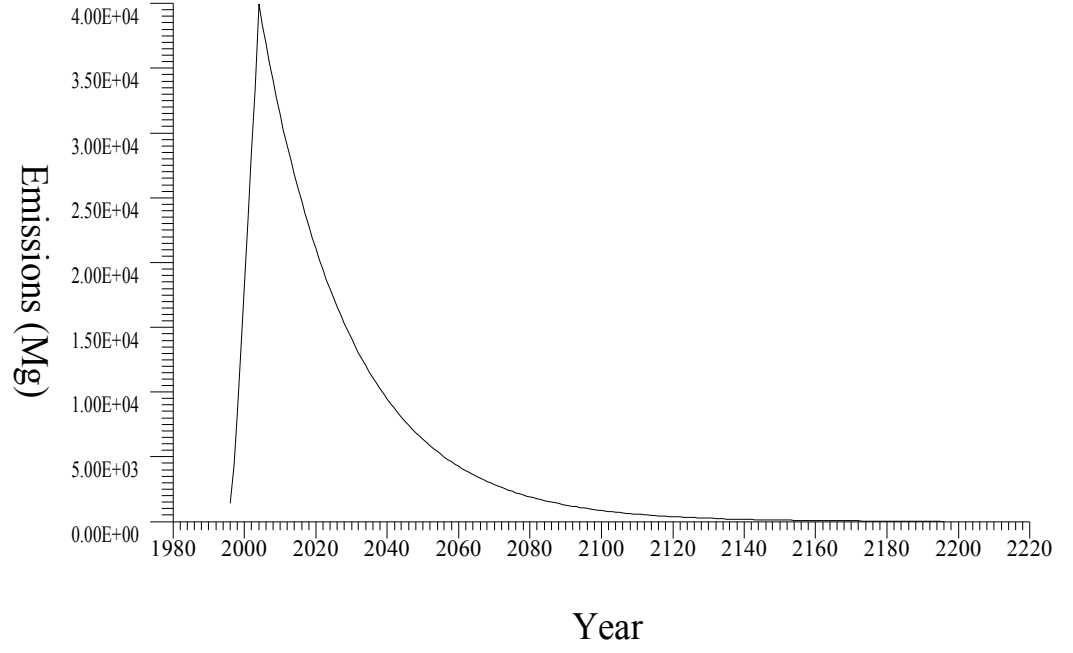
Projected Methane Emissions



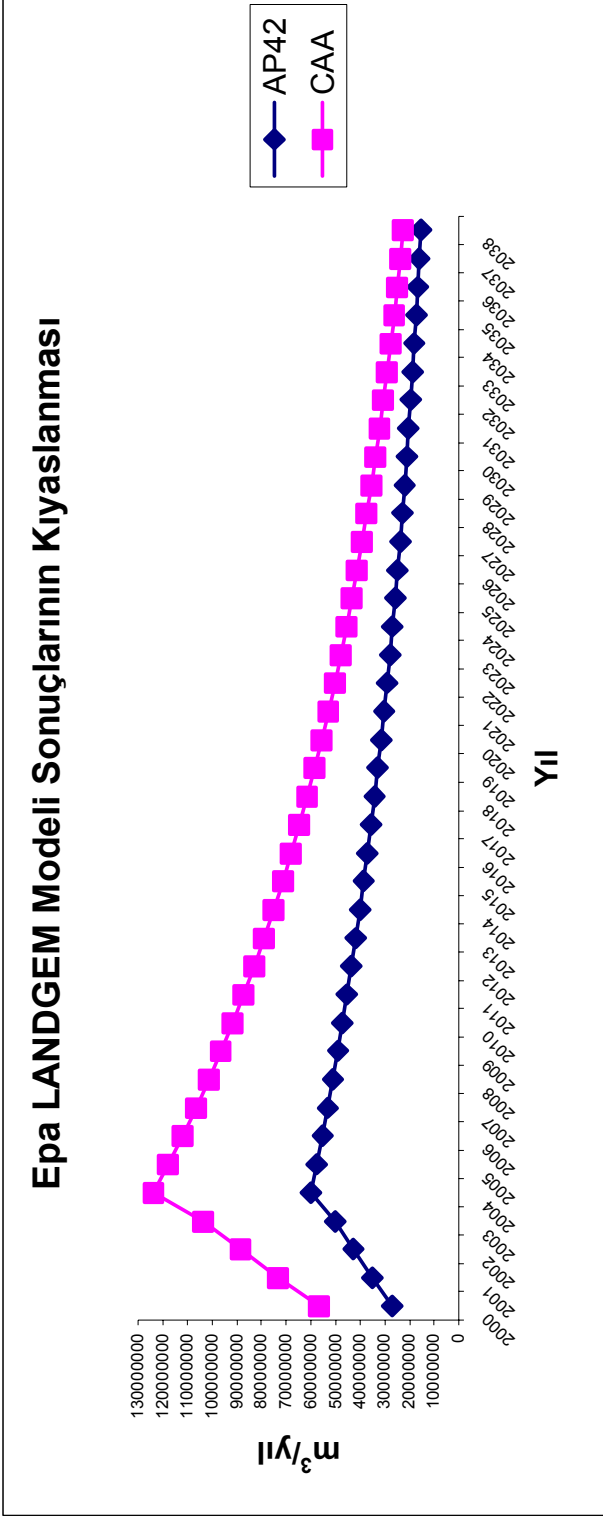
Şekil 4.1 : EPA modeli AP-42 Sonuçları

Elde edilen yıllık değerler toplandığında reaksiyonun hemen hemen tamamlandığı süre sonunda sahadan elde edilecek toplam metan miktarının 1 milyar m³ civarında olacağı görülmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, oluşacak metanın büyük bir kısmı sahanın işletmede olduğu son yıllarda ve bunu takip eden yaklaşık 30-40 yılda ortaya çıkmaktadır.

Projected Methane Emissions



Şekil 4.2 EPA modeli CAA sonuçları



Şekil 4.3 : Model Sonuçlarının kıyaslanması

4.1.3 Odayeri Depolama Sahasından Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi Ve Ekonomik Analiz

Avrupa yakasında yer alan Katı Atık Düzenli Depo Sahası'nın kapasitesi 20.000.000 ton olup günümüze kadar bu kapasitenin yaklaşık 17.000.000 tonluk kısmı kullanılmıştır. Landgem modeli sonucunda hesaplanan metan miktarları tablo 4.3'de yer almaktadır.

Tablo 4.3 : Odayeri katı atık düzenli depo sahalarından 2000-2040 yılları arasında oluşacak CH₄ miktarları

Yıllar	Oluşan Metan Miktarları (m ³)	Yıllar	Oluşan Metan Miktarları (m ³)
	Odayeri Depo Sahası		Odayeri Depo Sahası
2000	27.090.000	2021	30.350.000
2001	35.160.000	2022	29.160.000
2002	42.600.000	2023	28.010.000
2003	50.060.000	2024	26.920.000
2004	59.900.000	2025	25.860.000
2005	57.550.000	2026	24.850.000
2006	53.300.000	2027	23.870.000
2007	51.050.000	2028	22.940.000
2008	49.040.000	2029	22.040.000
2009	47.120.000	2030	21.170.000
2010	45.270.000	2031	20.340.000
2011	43.500.000	2032	19.550.000
2012	43.500.000	2033	18.780.000
2013	41.790.000	2034	18.040.000
2014	40.150.000	2035	17.330.000
2015	28.580.000	2036	16.660.000
2016	37.070.000	2037	16.000.000
2017	35.610.000	2038	15.370.000
2018	34.220.000	2039	14.770.000
2019	32.880.000	2040	14.190.000
2020	31.590.000	Toplam	1.334.860.000

Odayeri depolama sahasından oluşabilecek depo gazı ve bu gazın metan muhtevası çok yüksektir. Yapılan model çalışması sonucunda 2040 yılına kadar yaklaşık 1.334.860.000 m³ metan oluşacağı görülmektedir. Organik maddelerin anaerobik ortamda ayrışması sonucu ortaya çıkan bu gazın içerisindeki metanın değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması depo gazı içerisindeki diğer kirleticilerinde bertarafını sağlayacaktır.

Ortalama 1 ton'luk atık malzemeden (organik ve inorganik malzemeler karışık) senede yaklaşık 10 m³ depo gazı toplanabilir. Bu sayıları bir araya koyarak Avrupa yakasının nüfusunu 1 milyon olarak kabul edersek, 15 senelik bir depolama sahasından enerji üretimi için kullanılabilir gaz miktarını hesaplayabiliriz:

Gaz üretimi = 1 000 000 kişi x 0,5 ton/kişi/yıl x 15 sene x 10 m³ gaz/ton/yıl / 8760 saat/sene

$$= 8 600 \text{ m}^3/\text{saat gaz üretilebilir.}$$

Burada gaz üretilebilmesi için en yaygın teknoloji gaz motorlarıdır. Üretilen gaz miktarını 8 600 m³/saat ve ısı değerini 19 MJ/m³ olarak alırsak bir motorun gücünü hesaplayabiliriz;

$$P = 43000 \text{ m}^3/\text{saat} \times 19 \text{ MJ/m}^3 / 11,6 \text{ MJ/kW saat} = 14000 \text{ kW} = 14 \text{ MW}$$

Buna göre, depo gazından en az 5 x 14 = 70 MW'lık enerji üretilmesi gerekmektedir.

Odayeri Depolama Sahasının Elektrik Üretiminin Ekonomik Analizi :

Normal şartlarda, 5 MW'dan büyük santraller için gaz toplama ve yakma fırınları için gerekli yatırım yaklaşık \$0.4 milyon/MW, santral için \$1.0 milyon/MW civarındadır. Toplam maliyet \$1.4 milyon/MW olmaktadır. Senelik işletme ve bakım masrafları tahmini için de ilk yatırımın % 4'ünü alabiliriz [33].

Odayeri Depolama tesisi için, yaklaşık 5 MW'lık enerji üretimi için kW/saat başına toplam maliyeti hesaplayalım:

Kabuller;

Kapasite: 5 MW

Kapasite faktörü: %90

Yatırım maliyeti: \$7 milyon (\$1.4M/MW)

Amortisman süresi: 15 sene

İşletme ve bakım Yatırım maliyetinin %4'ü maliyeti:

Bu kabullere göre,

Senelik elektrik üretimi = 5 MW x 365 gün x 24 saat/gün x %90 = 39.500 MW/saat = 39.500.000 kW/saat

Senelik yatırım maliyeti = \$920 000 x \$100 cent/\$ / 39 500 000 kW/saat = 2.33 cent/kWsaat

(Burada \$920 000 değeri \$7 milyonluk yatırımın 15 senede amortisi için senelik \$ cinsinden yatırım masrafıdır, Yani \$7 milyonluk ve %10 faizli bir borcu her sene \$920 000 ödeyerek 15 senede tamamen ödenmiş olur. Eğer faiz örneğin %7 olsaydı, senelik \$770 000 ödemek gerekirdi. Bu ise senelik yatırım maliyetinde 0.4 cent/kWsaat azalma demektir) [32].

kW/saat başına işletme/bakım masrafı = (%4 x \$7 000 000 x 100 cent/\$) / 39 500 000 kWh = 0.71 cent/kWsaat

Toplam senelik maliyet: 0.71+2.33 = 3.04 cent/kWsaat

Senelik yatırım maliyeti kWsaat başına 2.46 cent'dir, yani 0.13 cent/kWsaat artış olacaktır. Toplam maliyet de 3.04+0.13=3.13 cent/kWsaat çıkar.

Eğer bir finans kuruluşundan kredi alınacaksa;

Özsermaye payı (E) : %30

Kredi Payı (D) : %70

Özsermaye Maliyeti (e) : %20

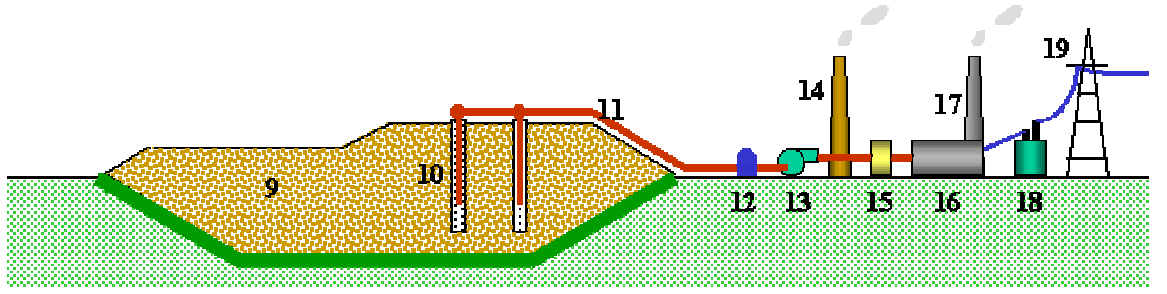
Kredi faizi (d) : %10

Vergi haddi (t) : %35

$W = [e \times E] + [(1-t) \times d \times D] = [%20 \times \%30] + [(1-\%35) \times \%10 \times \%70] = \%10,9$

Kredi verecek olan finans kuruluşları genelde öz sermayenin yatırıma katkıda bulunma zorunluluğu koyar, 10-20 senelik elektrik satın alma antlaşması yapılmıyorsa öz sermayenin artırılması zorunludur.

Sonuç olarak, kolayca diyebiliriz ki dikkatli bir planlama ile depo gazından elektrik üretimini ekonomik olarak gerçekleştirmek mümkündür. Kapasite faktörünün %90 gibi yüksek değerde olması, yakıt maliyeti olmaması, diğer yenilebilir teknolojilere kıyasla bu yöntemi daha ekonomik yapmaktadır. Şekil 4.4’de depolama sahasından elektrik enerjisi üretim şeması gösterilmektedir.



9. Çukluk, 10. Gaz toplama borusu, 11. Ana gaz toplama borusu, 12. Kaba filtre ve nem alıcı sistem,
13. Gaz pompası, 14. Gaz fırını, 15. Gaz işleme sistemi, 16. Motor ve jeneratör,
17. Motor bacası, 18. Trafo, 19. Dağıtım şebekesi

Şekil 4.4 : Elektrik üretim sisteminin başlıca elemanları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Enerji gereksinimi son yıllarda dünyanın ve ülkemizin en önemli konularından birisini teşkil etmektedir. Günümüzde, enerji gereksinimini karşılamak amacıyla özellikle petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanılmasıyla çevreye büyük zararlar verilmektedir. Ülkemiz açısından bakıldığında ise hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle (hayvan ve bitki atıkları, katı atıklar) biyogaz (metan v.s.) enerji kaynakları potansiyel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ülkemizin kalkınmasının temel parametresi enerjidir. Enerji konusunda atılacak her önemli adım, ülkemizin sanayileşmesi ve kalkınmasına doğrudan yansıtacaktır.

Model sonucunda CAA sabiti ile toplam metan oluşumu $349 \text{ m}^3\text{gaz/ton}$ atık bulunmuştur. AP-42 sabitine göre ise toplam metan oluşumu $201 \text{ m}^3\text{gaz/ton}$ olarak elde edilmiştir. Literatürde 1 ton evsel atık başına oluşacak depo gazı $120\text{-}300 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$ olarak verilmiştir. Buna göre AP-42 sabiti baz alınarak yapılan modelin ortaya koymuş olduğu $221 \text{ m}^3\text{/ton}$ atık olduğu görüşüne varılmıştır. Kemberburgaz Odayeri Depolama sahasından elde edilen metanın elektrik enerjisi olarak değerlendirilmesi ekonomik açıdan da uygundur.

Model sonuçlarının literatürde verilen değerler arasında çıkmış olmalarına rağmen, ileride yapılacak çalışmalarda, kurulacak modellerde parametrelerin seçiminde sahaya özgü deneylerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Mümkün olduğu durumlarda sahada pompa testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Böylece, sahadaki gaz üretim potansiyeli belirlenerek gelecek için daha sağlıklı ve gerçekçi olacaktır.

Depo gazından elektrik üretimi yenilenebilir teknolojiler arasında hidroelektrik santrallerden sonra ikinci ekonomik teknolojidir. Çevreye net etkisi pozitifdir. Yüksek kapasite faktörü ile güvenilir bir enerjidir. Kullanılan teknoloji denenmiş ve gelişmiş bir teknoloji olduğu için riski çok azdır. Depo gazı santralleri şehirlerin birkaç kilometre dışındadır. Dolayısıyla şebeke bağlantıları kısadır, buda maliyeti ve enerji kayıplarını azaltır. Bağlandıkları şebekede stabilite problemleri yaratmazlar. Yakıt masrafının

olmaması ve kapasite faktörü dolayısıyla, enerji maliyeti kilovat saat başına 4 cent'ten azdır, yani diğer teknolojilerin çoğundan daha ekonomiktir.

Kemberburgaz Hasdal enerji üretim tesisinde yapılan çalışmalar sonucunda tesisten 2003 yılı içerisinde 7668 MW enerji üretilmiştir. Aynı yıl içerisinde tesisten elde edilen verim %27'dir.

Bugün için, ülkemizin enerji kaynakları yeterli olmadığından enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını ithal etmek durumunda kalmaktadır. Enerji açığını kapatmak ve çöp sorununu çözmek için büyük kentlerimizde, çöplerden geri kazanım yapıldıktan sonra, geriye kalan ve depolanması gereken çöplerden elektrik enerjisi üretilmesi ekonomi bakımından çok önemlidir. Yap işlet devret veya yap işlet sat modelleri ile atıl durumdaki bu kaynakların değerlendirilmesi sonucu büyük bir kar elde edilecektir. Metan gazı geri kazanımında ilk amaç ekonomik karlılık olmasa da iyi tasarlanmış ve iyi işletilen tesisler 2-3 yıl gibi kısa bir sürede maliyetlerini geri kazanabilmektedirler.

KAYNAKLAR

1. BORAT, M. 2003, *Katı Atıkların Yönetimi Ders Notları*, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü İstanbul
2. GENDEBIEN, A., PAUWELS, M., CONSTANT, M., LEDRUT DAMANET, M.-J., NYNS, E.-J., WILLUMSEN, H.-C., BUTSON, J., FABRY, R., ve FRRERA, G.-L., 1992, *Landfill gas from environment to energy – final report*, Commission of the European Communities, office for Official Publications of the European Communities.
3. İSTAÇ, 2004
4. ŞEN, Z., KARAOSMANOĞLU, F., ŞAHİN, A.D., ÖZTOPAL, A., ÇETİNKAYA, M., 2002 *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 16-18 Ekim 2002. İstanbul : Su Vakfı Yayınları, 808-809.
5. DASKALOULOS, E., BADR, O., PRABERT, S.D., 1997 *Economic and Environmental evaluations of waste treatment and disposal technologies for municipal solid waste applied energy*, 58:4:209-255.
6. DEMİR, A., ÖZKAYA, B., BİLGİLİ, M.S., DEBİK, E., GÜNAY, A., KANAT, G., KARAASLAN, Y., 2001a *Odayeri düzenli katı atık depo sahasında sızıntı suyu ve depo gazı oluşumu*, Araştırma Projesi Nihai Raporu, Ekim 2001
7. MCBEAN, E.A., ROVERS, F.A. ve FARQUAR, G.J., 1995, *Solid waste engineering and design*, Prentice Hall PTR, New Jersey.
8. TCHBONOGLOUS, G., THEISEN, H. VE VIGIL, S.A., 1993 *Integrated solid waste management engineering principles and management issues*, McGraw Hill International Editions.
9. COOPER, C.D., 1992 *Landfill gas emissions*, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Report 92-2.
10. CRISTENSEN, 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.
11. Zanetti, M.C., Mana, L., and Genon, G., "Biogas Production Evaluation by Means of Balances" Proceeding Sardinia 1997.
12. POHLAN, F.G., HARPER, S.R., 1985, *Critical Review and Summary of Leachate and Gas Protection from Landfills*, U.S. EPA Cooperative Agreement.
13. TAMUMAN, N., BAYKARA, B., DEMİRCİ, G., YILDIRIMOĞLU, H., 1997, *Düzenli Depolama Alanlarında Sızıntı Suları , Depo Gazı Oluşumu ve Değerlendirilmesi*, Lisans Tezi İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü.
14. BİLGİLİ, M.S., 2002, *Katı Atık Depolama Alanından Elde Edilen Gazlardan Metanın Ayrıştırılması ve Geri Kazanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.U Çevre Mühendisliği Bölümü
15. MUTASEM, E.F., FINDIKAKIS, A.N., LECKİE, J.O., 1997, *Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling*, Journal of Environmental Management.
16. REINHART, D.R., 1994 *Beneficial use of landfill gas*, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Report 94-7.
17. RUTH, L.A., 1998, *Energy from municipal solid waste*, A Comparison with Coal Combustion Technology Program Energy Combustion Science.

18. BAKIŞ, R., BİLGİN, M. *Eskişehir Atıklarından Elektrik Enerjisi Üretim*, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı Cilt II, 807-817 26-28 Mayıs 2004 İstanbul.
19. Hürriyet Gazetesi, 2002, *Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanı Zeki Çakan'nın Ankara Sheraton Otelinde 4. Petrol Şuarasındaki Açıklamaları*. 24 Nisan Hürriyet Gazetesi, Ekonomi Sayfası Ankara, 2002.
20. ÖZTÜREL, N., ZILAN, R., VE ECEVİT, A. *Türkiyede Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin İzlenmesi Gereken Strateji, Planlama Politikaları Ve Bunların Sosyal Ve Siyasi Etkileri*, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı.28-32 18-20 Ocak 2001, İzmir.
21. DEMİRBAŞ, A. *Energy Balance Energy Sources, Energy Policy, Future Development And Investment İn Tukey*. Energy conversion 8 Managment 42, PP: 1239-1258, 2001.
22. ÇETİNKAYA, M., KARAOSMANOĞLU, F. *Biyogaz Türkiye ve Seçenekler*, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 26- 28 Mayıs 2004, İstanbul.
23. T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Resmi Web Sitesi, <http://www.die.gov.tr>
24. KOÇBAŞ, S. *Katı Atık Deponi alanlarındaki Metan Gazından Elektrik Enerjisi Üretimi*, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 26- 28 Mayıs 2004, İstanbul.
25. Depo gazlarından elektrik enerjisi elde edilmesi, [http:// www.turkelektrik.com](http://www.turkelektrik.com)
26. BİMTAŞ, 2004, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İşletmeler Müdürlüğü. Okmeydanı İstanbul
27. İSTAÇ, A.Ş. 2004 Okmeydanı İstanbul.
28. BİLGİLİ, S., 2002, *Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Oluşabilecek Metan Miktarının Tespiti*, Seminer Ders Notları, Y.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü.
29. THERNOLOE, S.A., 1998, *User's Manual Landfill Gas Emissions Model Version 2.0*, USEPA Control Technology Center and Office of Research and Development.
30. USEPA 1997, *Compilation of Air Polutant Emission Factors, AP-42, 5th ed., Supplement C*. Office of Air Planning and Standarts. Resarch Triangle Park, NC.U.S. Environmental Protection Agency.
31. EPA, 1991, *Ruguelatary Package for New Source Performance Standards and Guidelines for municipal Solid Waste Air Emissions*. Public Docket No: A-88-09 (Proposed May, 1991.) Resarch Triangle Park, NC.U.S. Environmental Protection Agency.
32. Bukni, R. *Kemerburgaz Düzenli Çöp Tesislerinde Depo Gazlarının Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi*. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2003.
33. Tabasaran, O. 1979. *Katı Atık Teknolojisindeki Gelişmeler*, İTÜ Matbaası İstanbul.