

**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DEPO GAZI OLUŞUM MODELLERİNİN**  
**KARŞILAŞTIRILMASI: ÇANAKKALE ÖRNEĞİ**

**Canan CAN YARIMTEPE**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Tezin Sunulduğu Tarih: 23.12.2011**

**Tez Danışmanı:**  
**Yrd. Doç. Dr. Akın ALTEN**

**ÇANAKKALE**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

CANAN CAN YARIMTEPE tarafından YRD. DOÇ. DR. AKIN ALTEN yönetiminde hazırlanan “DEPO GAZI OLUŞUM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: ÇANAKKALE ÖRNEĞİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Akın ALTEN

---

Danışman

Doç. Dr. Çetin KANTAR

---

Doç. Dr. Yonca YÜCEER

---

Juri Üyesi

Juri Üyesi

Sıra No:.....

Tez Savunma Tarihi: 23/12/2011

Prof. Dr. İsmet KAYA

---

Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

**Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.**

Canan CAN YARIMTEPE

## TEŐEKKÖRLER

Tezimin hazırlanması aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam, tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Akın ALTEN'e,

Her zaman yanımda olan desteklerini hiębir zaman esirgemeyen çok değerli; annem Funda CAN'a, babam Ümit CAN'a, kardeŐim Onur CAN'a ve eŐim Oęuz YARIMTEPE'ye sonsuz teŐekkÖrlerimi sunuyorum.

Canan CAN YARIMTEPE

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CH<sub>4</sub> : Metan gazı

CO<sub>2</sub> : Karbondioksit gazı

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

YTÜ : Yıldız Teknik Üniversitesi

O<sub>2</sub> : Oksijen gazı

N<sub>2</sub> : Azot gazı

H<sub>2</sub> : Hidrojen gazı

UYA : Uçucu yağ asitleri

KOİ : Kimyasal oksijen ihtiyacı

CaCO<sub>3</sub> : Kalsiyum karbonat

C : Karbon

N : Azot

P : Fosfor

H<sub>2</sub>S : Hidrojen sülfür gazı

CO : Karbonmonoksit gazı

LEL : En düşük patlayıcılık sınırı

USEPA : United States Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)

LandGEM : Landfill gas emissions model ( Depolama alanı gaz emisyonları modeli)

AB : Avrupa Birliği

YMÇYP : Yüksek yatırımlı çevre yatırımları planlaması

KATSİS : Katı atık yönetim sistemi

İSTAÇ : İstanbul Çöp A.Ş.

İTÜ : İstanbul Teknik Üniversitesi

ÇAKAB : Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği

ÇED : Çevresel Etki Değerlendirme

CAA : Clean air act (Temiz hava yasası)

AP-42 : USEPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors (Birleşik Devletler Çevre Koruma Kurumu Hava Kirleticileri Emisyon Faktörleri)

EİEİ : Elektrik işleri etüt idaresi

## ÖZET

### DEPO GAZI OLUŞUM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: ÇANAKKALE ÖRNEĞİ

Canan CAN YARIMTEPE

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Akın ALTEN

23.12.2011, 86

Katı atık depolama alanlarından kaynaklanan depo gazlarından metan ve karbondioksit küresel ısınmaya neden olan en önemli sera gazlarıdır. Metan gazı (CH<sub>4</sub>) yüksek bir enerji kapasitesine sahiptir ve bu kapasitesi son yıllarda bir enerji kaynağı olarak kullanılması ile ilgili çalışmaları arttırmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında; katı atık depolama alanlarında metan gazı oluşumunu etkileyen parametreler açıklanmış, oluşacak metan gazı miktarının tahmini için kullanılan mevcut modelleme teknikleri incelenmiştir. Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM modelleri kullanılarak; Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği'ne dahil yedi yerleşim yerinde oluşan katı atıkların depolandığı Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği düzenli depolama alanında oluşacak tahmini metan gazı miktarı hesaplanmıştır. Ülkemiz şartlarına en uygun model olarak seçilen Tabasaran – Rettenberger modeli ile elde edilen tahmini metan gazı miktarının enerji potansiyeli belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda; Ağustos 2009'da faaliyete açılan depolama alanının, toplamda 1.216.436 ton katı atık depolanarak, Eylül 2026'da kapasitesini dolduracağı belirlenmiştir. Uygulanan üç model arasında Çanakkale katı atık düzenli depolama alanı için en doğru sonucu verebilecek model olarak seçilen Tabasaran – Rettenberger modeli ile 50 yıllık süreç boyunca toplamda 151.665.810 m<sup>3</sup> metan gazı çıkışı olacağı hesaplanmıştır. Çanakkale katı atık düzenli depolama alanında; metan gazı toplama sistemi, hücreler tamamen dolduktan sonra inşa edileceğinden, oluşan tahmini metan gazının %18'ine denk gelen 25.471.943 m<sup>3</sup> metan gazının toplanamayarak, doğrudan atmosfere yayılacağı belirlenmiştir. Bununla beraber gaz toplama sistemleri inşa

edildikten sonra, oluşacak metan gazının %70'inin toplanabileceği kabulüyle; 90.035.408 m<sup>3</sup> metan gazının geri kazanılabileceği hesaplanmıştır. Oluşacak metan gazının kalorifik değeri 25 Mj/m<sup>3</sup> olarak kabul edildiğinde; 2017 - 2040 yılları arasında ortalama 5.150 Mj/saat, 2041 – 2059 yılları arasında ortalama 2.350 Mj/saat elektrik enerjisine eşdeğer enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Katı atık düzenli depolama alanı, depo gazı, metan gazı, enerji, metan gazı tahmin modelleri.

## ABSTRACT

### COMPARISON OF LANDFILL GAS GENERATION MODELS: A CASE STUDY FROM CANAKKALE

Canan CAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Chair for Environmental Engineering Thesis of Master of Science

Advisor: Assistant Professor Dr. Akin ALTEN

23.12.2011, 86

Methane and carbondioxyde, derived from solid waste landfill sites, are two of the most important greenhouse gases that cause the global warming. On the other hand, methane (CH<sub>4</sub>) has a very high energy potential. This potential recently increased the studies regarding utilization of methane as a source of energy.

Within the scope of this thesis study; the parameters that affect the production of methane in solid waste landfill sites and current modeling techniques used for prediction of methane gas are explained. The amount of methane gas that will be possibly produced in ÇAKAB landfill site, where solid wastes of seven residential areas (Members of Çanakkale Solid Waste Administrative Board) are disposed of, is calculated using Tabasaran-Rettenberger, Scholl Canyon and USEPA LandGEM models. The energy potential of estimated methane, acquired by Tabasaran-Rettenberg model which is chosen as the most appropriate model for our Country's conditions, is determined.

It is determined that the landfill site, opened in August 2009, will be filled by September 2026 after storing total of 1.216.436 tones of solid waste. With the Tabasaran-Rettenberger model that is chosen as the model that can give the most accurate result among the three models applied for ÇAKAB landfill site, it is calculated that for a period of 50 years the total methane emission will be 151.665.810 m<sup>3</sup>. It is determined that in ÇAKAB landfill site; since the methane collection system will be built after the cells will be completely filled, 25.471.943 m<sup>3</sup> methane equal to the %18 of produced methane could not be collected and will be directly released to the atmosphere. With the acceptance of %70 gas recovery, after construction of landfill collection system, it is calculated that 90.035.408 m<sup>3</sup> of methane will be recovered. If the calorific value of methane is accepted



as 25 Mj/m<sup>3</sup>; it is calculated that energy that 5.150 MJ/h and 2.350 MJ/h electrical energy can be derived for the years 2017 to 2040 and 2041 to 2059, respectively.

**Key words:** Solid waste landfill site, landfill gas, methane, energy, methane estimation models.

# İÇERİK

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜRLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	viii
BÖLÜM 1- GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2- KATI ATIKLARDAN GAZ OLUŞUMU... ..	3
2.1. Katı Atıklar.....	3
2.2. Düzenli Katı Atık Depolama Alanları.....	5
2.3. Düzenli Depolama Alanlarında Atıkların Anaerobik Ayrışması .....	7
2.3.1. Hidroliz.....	7
2.3.2. Asit Oluşumu .....	7
2.3.3. Metan Oluşumu .....	10
2.4. Düzenli Depolama Alanlarında Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler ....	11
2.4.1. Sıcaklık .....	11
2.4.2. pH ve Alkalinite .....	12
2.4.3. Besi Maddeleri .....	12
2.4.4. Toksikite.....	13
2.5. Depo Gazı.....	13
2.5.1. Depo Gazı Bileşenleri .....	14
2.5.2. Depo Gazı Oluşumu .....	15
2.5.3. Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Parametreler.....	16
2.6. Depo Gazı Miktarının Hesaplanması .....	17
2.7. Depo Gazı Oluşumunun Modellenmesi.....	18

2.7.1. Katı Atıkların 1. Derece Kinetiğe Göre Ayrışması .....	19
2.7.2. Palos Verdes Modeli .....	19
2.7.3. Sheldon Arleta Modeli .....	20
2.7.4. Scholl Canyon Modeli .....	21
2.7.5. Emcon Modeli .....	21
2.7.6. P.G.E (Pasifik Gaz ve Elektrik) Kinetik Modeli.....	22
2.7.7. Tabasaran – Rettenberger Modeli.....	22
2.7.8. United States Environmental Protection Agency (USEPA) LandGEM Modeli .....	23
2.8. Depo Gazının Kontrolü .....	24
<b>BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ.....</b>	<b>25</b>
3.1. Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi (Çanakkale KATSİS) Projesi .....	25
3.2. ÇAKAB Katı Atık Düzenli Depolama Alanı .....	26
3.3. Çanakkale Katı Atık Oluşumu ve Kompozisyonu .....	27
3.3.1. Hali hazırdaki Katı Atık Miktarı ve Kompozisyonu .....	27
3.3.2. Gelecekteki Katı Atık Miktarı ve Kompozisyonu .....	30
3.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depo Gazı Kontrolü .....	32
<b>BÖLÜM 4- ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>33</b>
<b>BÖLÜM 5- MATERYAL METOT.....</b>	<b>40</b>
5.1. Nüfus Tahmin Yöntemleri.....	40
5.1.1. İller Bankası Metodu.....	41
5.1.2. Üstel Fonksiyon Metodu .....	43
5.1.3. Proje Alanına Ait Geçmiş Nüfus Verileri.....	43
5.2. Katı Atık Miktarının Hesabı.....	43
5.3. Katı Atığın Organik Madde Miktarının Hesabı .....	44
5.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depolanacak Atık Miktarının Hesabı..	45

<b>5.5. ÇAKAB Düzenli Katı Atık Depolama Alanı .....</b>	<b>46</b>
<b>5.6. Oluşacak Depo Gazı Miktarının Hesabı .....</b>	<b>47</b>
<b>5.6.1. Tabasaran – Rettenberger Modeli .....</b>	<b>48</b>
<b>5.6.2. Scholl Canyon Modeli .....</b>	<b>50</b>
<b>5.6.3. USEPA LandGEM Modeli .....</b>	<b>52</b>
<b>5.7. Depo Gazının Toplanması ve Geri Kazanılması .....</b>	<b>53</b>
<b>BÖLÜM 6- ÖZGÜN HESAPLAMALAR .....</b>	<b>54</b>
<b>6.1. Nüfus Hesabı.....</b>	<b>54</b>
<b>6.2. Katı Atık Miktarının Hesabı.....</b>	<b>57</b>
<b>6.3. Katı Atığın Organik Madde Miktarının Hesabı .....</b>	<b>59</b>
<b>6.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depolanacak Atık Miktarı.....</b>	<b>61</b>
<b>6.5. Oluşacak Metan Gazı Miktarının Hesabı.....</b>	<b>65</b>
<b>6.5.1. Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Metan Gazı Hesabı .....</b>	<b>65</b>
<b>6.5.2. Scholl Canyon Modeli ile Metan Gazı Hesabı.....</b>	<b>67</b>
<b>6.5.3. USEPA LandGEM Modeli ile Metan Gazı Hesabı.....</b>	<b>69</b>
<b>6.6. Geri Kazanılabilecek Metan Gazı Miktarı .....</b>	<b>70</b>
<b>6.7. Model Sonuçlarının Karşılaştırılması .....</b>	<b>71</b>
<b>6.8. Geri Kazanılabilecek Metan Gazının Enerji Potansiyeli .....</b>	<b>73</b>
<b>BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>78</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ .....</b>	<b>I</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>	<b>III</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>IV</b>

**BÖLÜM 1****GİRİŞ**

1960'lı yıllarda başlayan çevre koruma bilinci ile birlikte Çevre Mühendisliği kavramı oluşmuştur. Çevrenin korunması ve atık yönetimi arasında günümüzde halen yeterli işbirliği sağlanamadığından insan sağlığını tehdit eden çevresel kirlilikler önlenememektedir. Bu çevresel kirliliklerden biri olan katı atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Katı atıkların düzenli depo sahalarında bertaraf edilmesi, kompostlaştırma ve yakma gibi diğer alternatif atık bertaraf yöntemlerine göre daha ekonomik olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Katı atık düzenli depolama alanlarında, katı atıkların içerisindeki organik maddeler kontrollü olarak stabilize olmuş maddelere dönüşürler. Bu dönüşüm ayrışabilir organik maddelerin, mikroorganizmalar yardımı ile biyokimyasal olarak ayrışması sayesinde gerçekleşir. Ayrışma prosesleri sonunda; depo gazları, yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip sızıntı suları ve stabilize olmuş atıklar oluşur.

Depo gazları, katı atık içerisindeki organik maddelerin anaerobik olarak ayrışması sonucu oluşan bir gaz karışımıdır. Depo gazları, hemen hemen eşit oranda metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşikten meydana gelmektedir. Katı atık depolama alanlarından kaynaklanan metan ve karbondioksit küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Metan (CH<sub>4</sub>) gazı karbondioksite (CO<sub>2</sub>) göre güneş ışığını 25 kat daha fazla absorbe edebilmektedir (MacCarty ve ark., 2008). Ayrıca, kapalı ortamda metan (CH<sub>4</sub>) hava ile % 5-15 oranlarında karıştığında patlayıcılık özelliğine sahiptir. Depo gazlarının diğer bileşenleri ise insan ve çevre sağlığı üzerinde hava kirliliği ve istenmeyen kokular gibi çeşitli etkilere sebep olurlar. Bütün bu nedenlerden ötürü depo gazlarının doğru yönetilmesi büyük önem teşkil etmektedir.

Depo gazının en önemli bileşenlerinden biri olan metan gazı (CH<sub>4</sub>) yüksek bir enerji kapasitesine sahiptir. Bu nedenle depo gazlarının enerji kaynağı olarak kullanılması yönündeki çalışmalar artmaktadır. Son yıllarda depo gazının elektrik üretiminde kullanılması, araçlarda yakıt olarak kullanılması ve doğal gaza dönüştürülmesi gibi çeşitli alternatifler geliştirilmektedir.

Bu çalışmada; nüfusun artması ve sanayinin gelişmesi sonucunda yerleşim yerlerindeki en önemli çevresel sorunlardan biri haline gelen katı atıklar ile ilgili genel bilgiler verilmiş, katı atıklardan gaz oluşumu ve bu oluşumu etkileyen parametreler açıklanmıştır.

Katı atık düzenli depolama alanlarından kaynaklanan metan gazının miktarının tahmin edilebilmesi için literatürde sıklıkla kullanılan Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA (United States Environmental Protection Agency) Landgem depo gazı (metan gazı) oluşum modelleri ve bunların ihtiyaç duyduğu parametreler belirlenmiştir.

Proje Bölgesi; Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği (ÇAKAB) 'ne dahil Çanakkale Merkez, Lapseki, Umurbey, Çardak, Kumkale ve İntepe (yeni adı Erenköy) beldelerinden toplanan atıkların depolandığı katı atık düzenli depolama alanıdır. Her bir model belirlenen parametreleri ile çalıştırılmış ve proje bölgesinde 2009–2059 yılları arasında oluşabilecek metan gazı miktarları hesaplanmıştır.

ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı için en doğru sonucu verebilecek model olarak seçilen Tabasaran–Rettenberger modeli verilerine göre; geri kazanılacak metan gazı miktarı ve enerjiye dönüşümü halinde elde edilecek enerji miktarı yorumlanmıştır.

**BÖLÜM 2****KATI ATIKLARDAN GAZ OLUŞUMU**

Günümüzün önemli çevresel sorunlarından biri olan katı atıkların, çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu bertaraf yöntemlerinden biri olan düzenli depolama sonucunda; katı atığın içeriğindeki organik maddeler anaerobik ortamda mikroorganizmalar aracılığı ile ayrışmakta ve depo gazı oluşmaktadır.

**2.1. Katı Atıklar**

14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ve son olarak 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmi Gazete’de değişiklik yapılan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre katı atıklar; üreticisi tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı madde ve arıtma çamurlarının tümü olarak tanımlanmıştır (Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991).

Katı atıklar genel olarak; evsel atıklar, iri ve hurda çöpler, bahçe atıkları, cadde süprüntüleri, sanayi atıkları, mezbaha ve ahır atıkları, enkaz ve toprak olmak üzere yediye ayrılmıştır. Bu atıklar da organik ve inorganik kısımlar olarak ikiye ayrılmıştır (Karpuzcu, 1996).

Nüfusun artması ve sanayinin gelişmesi sonucunda yerleşim yerlerindeki en önemli çevresel sorunlardan biri de evsel ve endüstriyel katı atıklar olmuştur. Tüm belediyelere uygulanan 2008 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 3.225 belediyenin 3.129’unda atık hizmeti verildiği tespit edilmiştir. Atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerden 2008 yılında toplanan 24,36 milyon ton atığın, %41,3’ü belediye çöplüğünde, %9,3’ü büyükşehir belediyesi çöplüğünde, %1,4’ü başka belediye çöplüğünde, %1’i açıkta yakılarak, %0,4’ü gömülerek, %0,2’si dereye ve göle dökülerek bertaraf edilmiş; %44,9’u düzenli depolama alanlarına, %1,1’i ise kompost tesislerine götürülmüştür. Aynı çalışmada ülkemizde günde kişi başına yaz mevsiminde 1,16 kg; kış mevsiminde 1,13 kg olmak üzere ortalama 1,15 kg katı atık oluştuğu tespit edilmiştir (TUİK, 2008).

Katı atıkların miktar ve bileşimi; ülkeden ülkeye ve hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullara, mevsimlere ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değişim insanların sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili olmakla beraber, en çok gelir seviyesi ile tüketim alışkanlıklarına bağlıdır. Tüketim alışkanlıklarında meydana gelen değişiklikler sonucu katı atıkların yapısında oluşan değişimlerin sürekli olarak izlenmesi ve bunun için de sürekli örnekleme yapılması gerekmektedir (Buenrostro ve ark., 2001). Bununla beraber yönetimlerin atık azaltımı ve geri kazanma programlarındaki gelişmelere bağlı olarak da atık bileşimi ve depo edilecek atık miktarı değişmektedir.

Tipik bir evsel katı atığın ağırlıkça yaklaşık %50'sini organik atıklar, % 25'ini geri dönüşüme uygun maddeler ve % 25'lik kısmını değerlendirilemez atıklar oluşturmaktadır (Çelik ve ark., 2004).

Ülkemizde katı atık bileşimiyle ilgili günümüze kadar genel bir envanter çalışması yapılmamıştır. Ancak; özellikle büyükşehirlerde atık yönetimi kapsamında atık kompozisyonunun belirlenebilmesi için bir takım çalışmalar yapılmıştır. İstanbul ili için 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nce yapılan atık karakterizasyon çalışmasının sonuçları Çizelge 2.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. İstanbul ili katı atık özellikleri, (% yaş ağırlık olarak), (Bilgili, 2006)

Madde	% Yaş ağırlık
Kül	7,0
Organik Madde	53,8
Kağıt	7,5
Plastik*	14,4
Cam	4,3
Tekstil	4,4
Metal	1,7
Çocuk Bezi	6,9

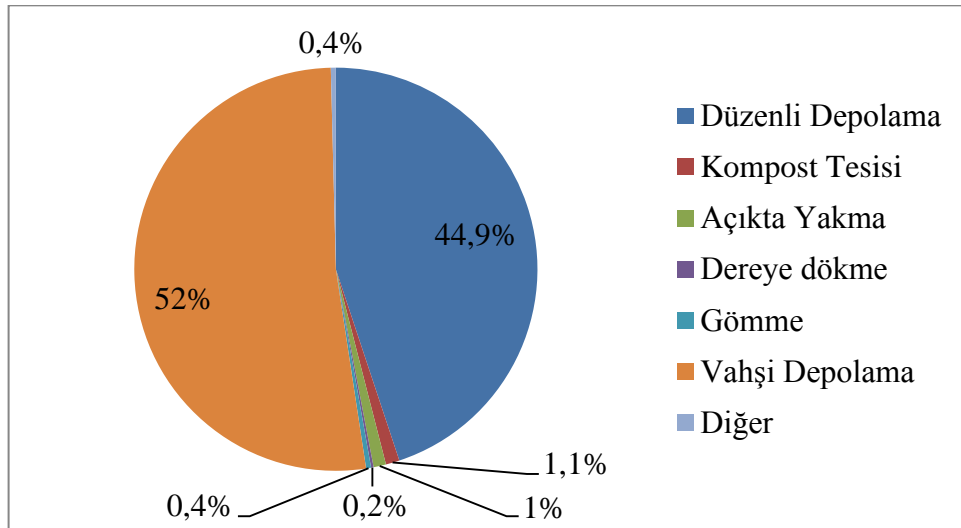
\* Poşet, plastik ve tetrapak toplamı olarak verilmiştir.



## 2.2. Düzenli Katı Atık Depolama Alanları

Atık yönetimi kapsamında, atıklar insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmelidir. Atıkların kontrolsüz (vahşi) depolanması hem su hem hava hem de toprakta giderilmesi güç zararlar oluşturmaktadır. Bu alanlarda katı atık sızıntı suları yer altı sularına karışarak su kaynaklarımızı kullanılamaz hale getirebilmekte, depo gazları doğrudan atmosfere karışarak küresel ısınmaya sebep olabilmekte ve toprak katmanında oluşan kirlilik flora ve faunayı etkilemektedir.

Katı atık oluşumu ve bertarafı üzerine gelişmiş ülkelerde yapılan bir araştırmada, bu ülkelerde katı atıkların % 73'ünün düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edildiği ortaya çıkmıştır (Leao ve ark., 2001). Katı atık yönetiminin olmazsa olmazı olan düzenli depolama ülkemizde en yaygın kullanılan bertaraf tekniğidir. Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık bertaraf yüzdeleri Şekil 2.1'de verilmiştir. Tüm belediyelere uygulanan 2008 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 3.225 belediyenin 37 tanesinde düzenli depo alanı olduğu tespit edilmiştir. Bu 37 adet düzenli depolama tesisinin toplam kapasitesinin 390 milyon ton olduğu ve tesislere 2008 yılında 11.656.827 ton atık geldiği belirlenmiştir. Gelen atığın %93,9'u evsel atıkları, %6,1'i ise diğer sektörler tarafından getirilen atıkları ve kompost tesisinden aktarılan atıkları kapsamaktadır. Gelen atıkların; 10.037.123 tonu düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmiş, 1.619.704 tonu ise satılmış ya da hibe edilmiştir (TUİK, 2008).



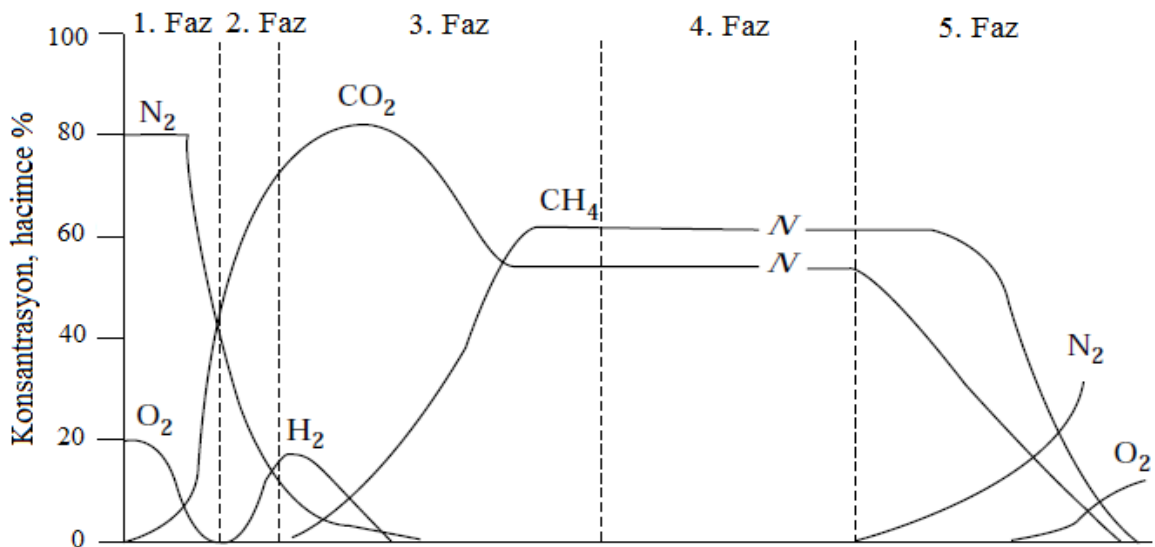
Şekil 2.1. Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık bertaraf yüzdeleri, (TUİK, 2008).

Atıkların depolanması sonucu oluşan depo gazları ve sızıntı suyu problemleri tamamen çözülemediği halde, düzenli depolama çevresel açıdan kabul edilebilir bir yöntem olarak benimsenmiştir (Öztürk,2008).

Düzenli depolama alanlarına depolanan katı atıkların içerisindeki organik maddeler başlangıçta ortamda oksijen bulunduğundan dolayı mikroorganizmalar tarafından aerobik olarak ayrıştırılır. Depo gövdesi içerisinde bulunan  $O_2$  aerobik mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilir ve bunun sonucunda aerobik safhaya nispeten daha uzun süren ve depo gazlarının oluştuğu safha olan anaerobik ayrışma safhası başlar.

Yapılan çalışmalarda gaz bileşiminde zamanla meydana gelen değişimler 5 faz olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar; aerobik faz, anaerobik metanojenik olmayan faz, anaerobik metanojenik kararsız faz, metanojenik kararlı faz ve aerobik şartlara geçiş fazı olarak sayılabilir (Öztürk, 2008). Bu aşamalar her zaman aynı sırayla gerçekleşmeyebilmektedir. Depolanan atığın bileşenlerine bağlı olarak; bazı fazlar gerçekleşmezken, bazıları aynı anda meydana gelebilmekte, bir veya iki aşama baskın hale gelebilmektedir. Bununla beraber atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda depolama alanının farklı bölgelerinde farklı prosesler de meydana gelebilmektedir.

Depolama alanlarında meydana gelen ayrışma proseslerinin hızı; sıcaklık, pH v.b. gibi pek çok faktöre bağlı olarak 20-30 yıl boyunca devam etmektedir (Tchobanoglous, 1993). Düzenli depolama süresince oluşan gazların değişimi Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Depolama sürecinde metan gazı değişimi (Manning, 2000).

### **2.3. Düzenli Depolama Alanlarında Atıkların Anaerobik Ayrışması**

Depolama alanlarında, katı atıkların organik kısımları mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oksijen tükenene kadar aerobik olarak, daha sonra anaerobik olarak ayrışmakta ve bu ayrışma sonucunda önemli miktarda CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> içeren depo gazı oluşmaktadır. Ayrışma sonunda, geriye sadece çok yavaş şekilde ayrışabilen stabilize olmuş artık bir madde kalmaktadır. Optimum şartlar altında atık stabilizasyonu 10-20 yılda tamamlanmaktadır (Cooper ve ark., 1992).

Anaerobik ayrışma, katı atık içerisindeki organik maddelerin birden çok biyokimyasal reaksiyon sonucunda oksijensiz ortamda anaerobik mikroorganizmalar tarafından parçalandığı ve metan gazı çıkışının meydana geldiği biyolojik bir süreçtir (Verma, 2002). Anaerobik ayrışma birbirini izleyen dört ana kademedен oluşmaktadır. Bunlar; hidroliz, asit oluşumu, asetat oluşumu ve metan oluşumudur (Park ve ark., 2005).

#### **2.3.1. Hidroliz**

Hidroliz bir çok kimyasal reaksiyonun ilk basamağıdır. Kompleks organik bileşiklerin fermantasyon bakterileriyle hidroliz edilip çözünebilir bileşiklere, daha sonra basit yapılu moleküllere dönüştürülmesi prosesine hidroliz adı verilmektedir (Verma, 2002). Hidroliz safhası anaerobik ayrışma proseslerinde çok önemli bir aşamadır. Anaerobik parçalanmanın ilk adımı olan hidroliz aşamasında; metan gazı oluşumu gözlenmemektedir. Bu safhada; polisakkaritler, yağlar ve proteinler; daha düşük molekül yapılu şekerler, yağlar ve uzun zincirli asitlere dönüştürülmekte ve atık içerisindeki organik bileşenlerin bir kısmı da stabilize olmaktadır. (Solera ve ark., 2002).

Hidroliz, hidroliz bakterileri tarafından üretilen hücre dışı enzimlerce gerçekleştirilen oldukça yavaş bir süreç olduğundan dolayı anaerobik ayrışmada hız belirleyici basamaktır (Torres ve ark., 2007).

#### **2.3.2. Asit Oluşumu**

Anaerobik ayrışmanın ikinci basamağı olan asit oluşumu safhasında; uzun zincirli yağ asitleri ve aminoasitler, anaerobik oksitleyiciler ve fermantatif mikroorganizmalar tarafından substrat olarak kullanılmaktadır (Dewil ve ark., 2007). Bunun sonucunda aminoasitler, şekerler ve bazı yağ asitleri parçalanarak fermentasyonun son ürünleri olan

asetat, hidrojen (H<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), proporat ve bütirata dönüştürülmektedirler. Oluşan son ürünler metan gazı oluşumunun habercileridir (Ostrem, 2004).

Asit oluşumu safhası; asit oluşumunun gerçekleştiği asitojen ve asetat oluşumunun gerçekleştiği asetojen aşaması olmak üzere iki basamakta ele alınmaktadır.

### **2.3.2.1. Asitojen Fazı**

Asitojen fazı; aminoasitlerin, şekerlerin ve yağ asitlerinin asidojenik bakteriler tarafından organik asitlere ve alkollere dönüştürüldüğü aşamadır (Juanga, 2005).

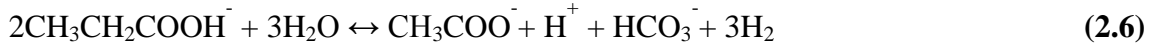
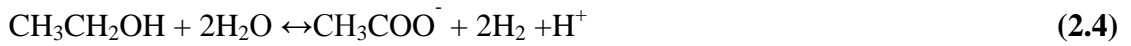
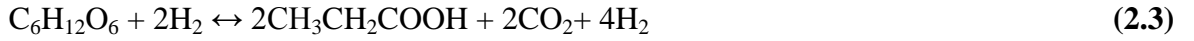
Bu fazda, hidroliz fazında meydana gelen daha basit ara ürünlerin fermantasyonu sonucu başta uçucu yağ asitleri (UYA) olmak üzere alkoller, CO<sub>2</sub> ve hidrojen (H<sub>2</sub>) oluşmaktadır. Asit üretim aşamasında meydana gelen glikozun; etanol ve propiyanata dönüşüm reaksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir (Ostrem, 2004).



Asitojen fazının sonunda, sızıntı suyunun KOİ'si ve UYA'leri ortamda bulunabilmektedir (Reinhart ve Al-Yousfi, 1996). Bu fazda da, organik maddenin büyük bir kısmının yapısı değişir ve sadece küçük bir kısmı stabilize olur ya da metanojenik olmayan mikroorganizmalar için birincil enerji kaynağı olarak tüketilir (Speece, 1996). CO<sub>2</sub>'in ulaşabileceği maksimum değer hacimce % 70 - 90 arasında değişmektedir. Bu değerlere çevre koşullarına ve depolama şartlarına bağlı olarak atık depolandıktan 11 ila 40 gün sonrasında ulaşılabilir. Hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı konsantrasyonu ise hacimce %20 civarlarında olmaktadır (Öztürk, 2008). Asitojen safhasında fermantasyon çoğunlukla zorunlu anaerobik bakteriler ile gerçekleşmektedir. Bazı fakültatif bakteriler de oksidatif yolla organik maddeleri metabolize edebilmektedirler (Van Haandel ve Lettiga, 1994). Biyogaz sistemleri gibi karmaşık organik maddelerin anaerobik çürütülmesi sırasında metan gazı üretiminde asetat ara anahtar konumundadır (Schmidt ve ark., 2000).

**2.3.2.2. Asetojen Fazı**

Asetojen fazında; daha karmaşık bir yapıya sahip olan alkoller ve daha uzun zincirli organik asitler (yağ asitleri) asetojenik bakteriler tarafından asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e dönüştürmektedirler (Juanga, 2005). Bu fazdaki önemli kimyasal reaksiyonlar, glikozun ve etanolün dönüşümü ve bikarbonatın ve propiyanatın asetata dönüşümüdür (Ostrem, 2004).



Asetojen safhada; organik polimerlerin hidrolizinde ve sonucunda oluşan ürünlerin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde asitojenik bakteriler görev almaktadırlar. Bununla beraber asetojen fazda çok miktarda H<sub>2</sub> üretildiğinden ortamda H<sub>2</sub> tüketen bir grup bakterilerinde bulunması gerekmektedir. Aksi bir durumda ortamda yağ asitleri birikmeye başlayacak ve pH değeri düşecek bunun sonucunda da bir sonraki basamak olan metan gazı oluşum safhası inhibasyona uğramış olacaktır (Bilgili, 2006).

Asit oluşturucu bakteriler anaerobiktirler ve asidik şartlarda büyümektedirler. Bu bakteriler çoğalmaları için gereken enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e fermantasyonu sonucu meydana gelen enerjiden sağlamaktadırlar. Asit oluşturucu bakteriler, metan oluşturucu bakteriler için anaerobik şartlar oluşturmaktadırlar (Sorensen, 2004).

Asit oluşumu evresi genellikle hızlıdır (Björnsson, 2000). Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olmaktadır. Bu da metan bakterileri için inhibasyon etkisi yapmaktadır (Gökçay ve ark, 2001). Uçucu yağ asitlerinin aşırı üretimi organik asitlerin fermantasyonuna toksik etki yapabilmektedir (Elango ve ark., 2007).

Çözünmüş organik madde konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak asit üretiminin artması, sistemde asit birikimine yol açabilmektedir. Bu durum, metan üretimi safhasında inhibasyona neden olabilmektedir. Anaerobik ayrışmada çözünmüş oksijen metanojenler gibi zorunlu anaerobik mikroorganizmalara toksik etki yapabilmektedir (Haandel ve Lettiga, 1994).

### **2.3.3. Metan Oluşumu**

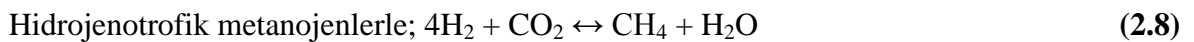
Metan oluşumu fazı katı atığın içerisindeki organik maddelerin stabilizasyonunun son basamağıdır. Bu fazda metanojenik bakteriler tarafından metan gazı oluşturulmaktadır (Zaher ve ark., 2007).

Metan oluşumu fazında oluşan depo gazının bileşenleri hemen hemen sabit olup % 40 - 70 CH<sub>4</sub> ve % 30 - 60 CO<sub>2</sub>'den oluşmaktadır (Öztürk, 2008). En yüksek CH<sub>4</sub> konsantrasyonun görüldüğü bu fazda gaz oluşum hızı zamanla azalarak ortalama 10 - 20 yılda tamamlanmaktadır (Williams, 2005). Bu safhanın bu kadar uzun olmasının ana sebebi, atık içindeki katı fazdaki organik maddelerin sıvı faza dönüşmesinin çok uzun zaman almasıdır.

Metan oluşturan bakteriler, zorunlu anaerobiktirler ve çok düşük miktardaki oksijen konsantrasyonları bile bu bakteriler için toksik olabilmektedir (Öztürk, 2008).

Metan oluşturan bakterilerin kullanabilecekleri besin maddeleri; asetik asit, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve tek karbonlu bileşiklerdir ile sınırlıdır (Öztürk, 2005). Metanojenler sıcaklık değişimlerine duyarlıdır ve pH 6,8 – 7,4'de optimum faaliyet göstermektedirler (Elango ve ark., 2006).

Metan oluşturan bakteriler ihtiyaç duydukları enerjiyi iki temel reaksiyona dayanarak elde etmektedirler. Bu nedenle fizyolojik olarak iki grupta toplanabilmektedirler (Pohland ve Kim, 2000). Birinci grup asetotrofik metanojenler olarak adlandırılmaktadır. Bu metanojen bakteriler asetati, metan ve karbondioksit ayırmaktadırlar. İkinci grup metanojenler ise hidrojenotrofik metanojenlerdir. Bunlar ise hidrojeni elektron verici, karbondioksiti ise elektron alıcı olarak kullanarak metan üretmektedirler.



Anaerobik ayrışmada üretilen metanın çoğu asetik asitten oluştuğu için hidrojen kullanan metanojenler ikincil önem arz etmektedirler (Metcalf&Eddy, 2003). Hidrojen atık arıtımında kontrol parametresidir. Hidrojen kullanan metanojenler anaerobik ayrışma proseslerinde en hızlı büyüyen mikroorganizmalardır (Björnsson, 2000).

#### **2.4. Düzenli Depolama Alanlarında Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler**

Anaerobik ayrışmayı etkileyen temel faktörler; sıcaklık, pH ve alkalinite, nutrientler ve toksisitedir. Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve metan oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, nutrientler, inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası gibi abiyotik faktörlerden oldukça fazla etkilenmektedir. Bu faktörlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

##### **2.4.1. Sıcaklık**

Sıcaklık mikrobiyolojik proseslerde çok önemli bir parametredir. Biyolojik ayrışmanın ilk safhasında sıcaklık 70 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Ancak; anaerobik ayrışma başladığında sıcaklık 30 - 35 °C civarına inmektedir (Öztürk, 2008). Sıcaklıktaki ani değişimler mikroorganizma faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle metan oluşturan bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassas olduklarından sıcaklık değişimleri biyokimyasal reaksiyonu yavaşlatmaktadır (Yadvika ve ark., 2004). Bu bakterilerin metan üretimi için optimum şartları mezofilik ve termofilik şartlardır. Mezofilik sıcaklık aralığı 30 °C – 40 °C, termofilik sıcaklık aralığı 50 °C – 60 °C 'dir (El-Mashad ve ark., 2004). Biyokimyasal reaksiyonlarda metan üretim hızı sıcaklık ile arttığından dolayı depolama alanında sıcaklık yükselmesi, genellikle gaz üretiminde artış olduğuna işaret etmektedir. Biyolojik ayrışma ile sıcaklık arasındaki ampirik ifadeye göre, sıcaklık arttıkça biyolojik ayrışma da logaritmik olarak artmaktadır. Bundan dolayı; termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleştiğinden metan üretim hızı da artmaktadır (Öztürk, 2008). Hartz ve Ham (1982), çeşitli depo sahalarında metan oluşumuna sıcaklığın etkisini araştırmışlar ve metan oluşumunun 41 °C'de optimum düzeyde olduğunu, 48 °C ve üzerinde ise reaksiyonun durduğunu tespit etmişlerdir. Bununla beraber yüksek sıcaklıklarda serbest amonyak miktarının sıcaklık artışı ile artabileceği ve gaz oluşumunu olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir (Öztürk, 2005).

### **2.4.2. pH ve Alkalinite**

Katı atıkların anaerobik ayrışmasında pH kontrolü, mikroorganizma faaliyetleri açısından önemli bir parametredir. Anaerobik ayrışma için optimum pH aralığı 6,8 – 7,2 arasındadır (Yadvika ve ark., 2004). Yapılan çalışmalarda pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir (Christensen ve ark., 1998). Metan oluşturan bakteriler asit oluşturan bakterilere göre pH değerlerine karşı daha duyarlıdır. Bu nedenle anaerobik ayrışmada metan oluşturan bakteriler baskındır (Van Haandel ve Lettinga, 1994). Metan oluşturan bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda daha aktif olmaktadır. 6,3'den düşük veya 7,8'den büyük pH değerleri bu bakterilerin faaliyetlerini azaltmaktadır (Bilgili, 2006).

Anaerobik ayrışmada asit oluşumu safhasında oluşan organik asitler ve de ortaya çıkan CO<sub>2</sub>'den ötürü pH değeri 5 - 6 seviyelerine düşerken; proses ilerledikçe 8 - 8,5 seviyesine kadar ulaşabilmektedir (Öztürk, 2008). Metan oluşumu safhasında ortamdaki amonyak konsantrasyonu artmakta ve pH değeri 8'in üzerine çıkabilmektedir (Verma, 2002). Bununla beraber, anaerobik ayrışmada uçucu yağ asitlerinin birikmesi pH 'ın azalmasına sebep olabilmektedir.

Anaerobik ayrışma için uygun olan pH değerinin kontrol edilmesi için yeterli alkalinitenin sağlanması gerekmektedir. Düşük alkalinite değerlerinde anaerobik ayrışma sonucu oluşan asitler pH değerinin düşmesine neden olabilmektedir. Yüksek alkalinite değerleri düzensiz pH değişimlerini engelleyebilmektedir (Öztürk, 2008). Anaerobik ayrışma sonucu oluşan depo gazının yaklaşık % 30 - 40 'ı karbondioksittir (Filibeli, 2000). Ortamın bikarbonat alkalinitesi 1000 - 5000 mg CaCO<sub>3</sub>/L değerleri arasında olup, ortalama 3000 mg CaCO<sub>3</sub> / L olmaktadır (Filibeli, 2000).

### **2.4.3. Besi Maddeleri**

Anaerobik ayrışmanın verimliliği için anaerobik mikroorganizmaların ihtiyacı olan nütrientlerin sistemde bulunmaları gerekmektedir. Bu nütrientler; başlıca karbon, azot ve fosfordur. Bunların dışında; sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden, selenyum v.b. iz elementler de çok düşük miktarlarda gerekmektedir. Hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları gibi katı atıklar belli oranlarda nütrientleri içerdiğinden genel olarak tüm depolama alanlarında yeterli besi maddeleri mevcuttur.



Ancak; verimli bir ayrışma için daha yüksek karbon, azot ve fosfor konsantrasyonları gerekmektedir. Bu nedenle anaerobik ayrışmada fosfor ve azot sınırlayıcı nütrientler olmaktadır (Öztürk, 2008). Anaerobik ayrışma için en iyi C/N/P oranı 100/28/6'dır (Björnsson, 2000).

#### **2.4.4. Toksikite**

Anaerobik ayrışmada ağır metaller, oksijen, hidrojen, mineral iyonlar, sülfid, kısa zincirli organik asitler ve diğer organik asitler mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yapabilmektedirler (Björnsson, 2000). Anaerobik ayrışmada birçok madde düşük konsantrasyonlarda ayrışmayı olumlu yönde etkilerken; yüksek konsantrasyonlarda toksik etki göstermektedir. Örneğin; çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metaller düşük konsantrasyonlarda mikrobiyal aktiviteyi artırırken, yüksek konsantrasyonlarda ise toksiktirler (Elango ve ark., 2007). Anaerobik ayrışmaya etki eden birçok çözülmüş zehirleyici, yavaşlatıcı, engelleyici organik ve inorganik maddeler vardır (Mignone, 2005). Anaerobik ayrışmada, uçucu yağ asitlerinin toplam konsantrasyonunun 2000 mg/L'yi geçmesi durumunda toksik etki meydana geldiği 1960'lı yıllardan beri bilinmektedir (Hwu ve ark., 1997). Serbest amonyak seviyesi 150 mg/L'de zehirli olabilmektedir (Björnsson, 2000). Anaerobik ayrışmada oksijen ve sülfid de toksik etki gösterebilmektedir. Sülfidin yüksek konsantrasyonlarda bulunması (>50 mg/L) toksik etki gösterebilmektedir (Van Haandel ve Lettinga, 1994). Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, organik çözücüler bakterilerin metan üretim kapasitesini düşürmektedirler (Zaher ve ark., 2007).

#### **2.5. Depo Gazı**

Katı atıkların içerdiği organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından anaerobik ayrışması sonucunda oluşan gaza depo gazı denmektedir. Katı atıkların arıtımında, çamurların stabilizasyonunda ve organik substratların anaerobik parçalanmasında kullanılan eski bir proses olan anaerobik ayrışmanın ürünü olan depo gazına biyogaz da denilmektedir (Yadvika, 2004). Depo gazları genel olarak; % 50–80 metan, % 20–50 karbondioksit, % 0–0,4 hidrojen ve az miktarda hidrojen sülfür ve azottan oluşmaktadır (Elango ve ark., 2006). Düzenli depolama alanlarında oluşan depo gazının içeriğindeki

birçok gaz insan ve çevre sağlığı açısından zararlıdır. Bu nedenle depo gazlarının kontrol edilmesi daha da önemlisi değerlendirilmesi gerekmektedir. Biyogaz, evsel organik atıklardan elde edilen çevre dostu bir enerji kaynağıdır olup; elektrik üretiminde ve ısıtmada kullanılabilir (Krzystek ve ark., 2001).

### 2.5.1. Depo Gazı Bileşenleri

Yapılan çalışmalarda depo gazının büyük bir kısmının metan ( $CH_4$ ) ve karbon dioksit ( $CO_2$ )'ten oluştuğu ancak bunların dışında 170'den fazla da iz bileşiklerin bulunduğu belirlenmiştir (Öztürk, 2008). Anaerobik faz süresinde depo gazı bileşenleri ve hacimce yüzdeleri Çizelge 2.2. 'de gösterilmektedir. İçeriğinde 100'ün üzerinde eser miktarda birleşik bulunan depo gazının en önemli bileşenleri metan ve karbondioksittir. (Demir, 2006).

Kokusuz ve renksiz bir hidrokarbon olan metan ( $CH_4$ ), depo gazının hacimce yüzde 45 - 65'ini oluşturmaktadır (Tchobanoglous ve ark., 1993). Metan gazının yoğunluğu depolama alanının sıcaklığıyla bağlantılı olmak üzere 0,6 - 0,7  $kg/m^3$  arasında değişmektedir. Metan gazı, yoğunluğunun atmosferdeki havanın yoğunluğundan çok küçük olması sebebiyle gaz toplama sistemiyle tutulamayan ve iyi kontrol edilemeyen depolama alanlarında kolaylıkla atmosfere yayılabilir.

Çizelge 2.2. Anaerobik faz süresinde depo gazı bileşenleri ve hacimce yüzdeleri (Tchobanoglous ve ark., 1993)

Bileşen	Hacimsel yüzde, %
Metan, ( $CH_4$ )	45 - 65
Karbondioksit, ( $CO_2$ )	35 - 55
Azot, $N_2$	0 - 10
Hidrojen, $H_2$	0 - 1
Hidrojen sülfür, $H_2S$	0,001 - 0,01
Oksijen, $O_2$	0 - 2
Karbonmonoksit, $CO$	0,001 - 0,01

CH<sub>4</sub>, % 5 - 15 arasındaki molar konsantrasyonlarda olduğunda ortamda yeterli O<sub>2</sub> gazı mevcut ise patlayabilmektedir (Bilgili, 2006). Metan gazının havadaki molar konsantrasyonun %5 olması en düşük patlayıcılık sınırı (LEL) olarak adlandırılmaktadır. LEL seviyesinin aşılması durumunda patlama gerçekleşmesi muhtemeldir.

CO<sub>2</sub> ve su buharından sonra kızılötesi ışınları tutan üçüncü önemli gaz metandır. Her bir CH<sub>4</sub> molekülü, bir CO<sub>2</sub> molekülünün absorblayabileceği kızılötesi fotonlarının 25 kat daha fazlasını absorblayabilmektedir. Ancak, atmosferde karbondioksit nazarın daha az miktarda bulunduğundan, sera etkisi CO<sub>2</sub>'nin sebep olduğu sera etkisinin %25'i kadardır (Bilgili, 2006).

CO<sub>2</sub> patlayıcı veya toksik bir gaz olmamasına karşın sera etkisinden dolayı küresel ısınmaya sebep olabileceği için özellikle son yıllarda büyük önem kazanmış bir gazdır. CO<sub>2</sub>, depo gazının %35 - 55 kadarını oluşturmaktadır. Karbondioksit, yoğunluğu havadan ve metan gazından daha büyük olduğu için depolama alanlarının alt kısımlarına inme eğilimindedir. Özellikle inversiyonlu günlerde ve sabahın erken saatlerinde depo gazı dağılmadan depo yüzeyinde bir sis tabakası oluşturarak saatlerce kalabilmektedir (Öztürk, 2008). Karbondioksit su ile temas ettiğinde çözülebileceği için büyük bir kısmı sıvı faza geçebilmektedir. Bunun sonucunda ortamın pH'sı düşebilmektedir.

### **2.5.2. Depo Gazı Oluşumu**

Düzenli katı atık depolama alanlarında gaz oluşumu anaerobik ayrışma sırasında gerçekleşmektedir. Başlangıçta, oksijen aerobik mikroorganizmalar tarafından tamamen tüketilmektedir. Bunu takiben CO<sub>2</sub>'nin oluşmaya başlamasıyla birlikte azot miktarı azalmakta ve metan oluşumu görülmektedir. Metan oluşum safhası 200 - 500 gün arasında tamamlanmaktadır (Öztürk, 2008). Sistem kararlı hale geldikten sonra oluşan metan gazı miktarı yavaş yavaş azalmakta ve ortalama 10 - 20 yılda gaz oluşumu tamamlanmaktadır (Cooper ve ark., 1992).

Katı atık düzenli depolama alanlarında metan oluşumu atığın biyolojik ayrışma için uygun olan organik madde miktarına ve su muhtevası, yoğunluk, sıcaklık, pH vb. gibi çevresel faktörlere bağlıdır (Nopharatana ve ark., 1998).

### **2.5.3. Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Parametreler**

Düzenli katı atık depolama alanlarında oluşabilecek depo gazı miktarı etkileyen en önemli parametre depolanan atığın ayrışabilir organik madde miktarıdır. Bununla beraber; metan oluşumu oksijen, hidrojen, su muhtevası ve atığın dane boyutu ile de ilişkilidir.

#### **2.5.3.1. Oksijen**

Depolama alanlarında depo gazı oluşumu anaerobik ayrışma esnasında meydana geldiğinden prosesinin gerçekleşebilmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Metan oluşturan bakteriler oksijene karşı çok hassastırlar. Depolama alanları atmosfere açık olduğundan oksijen atık içerisine kolaylıkla girebilmektedir. Ancak; aerobik bakteriler bu oksijeni kullanmaktadırlar. Depolama alanlarında uygun sıkıştırma ve yeterli günlük örtü işlemleri yapılmadığı durumlarda oksijen atığın daha derinlerine nüfuz ederek, aerobik faaliyetleri hızlandırabilmektedir. Böyle durumlarda anaerobik ayrışma olumsuz etkilenmekte ve metan oluşum verimi azalmaktadır (Öztürk, 2008).

#### **2.5.3.2. Hidrojen**

Depolama alanlarında hidrojen fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilmektedir.  $H_2$ 'in basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkilemektedir. Fermantasyon bakterileri,  $H_2$  basıncı düşük olduğunda  $H_2$ ,  $CO_2$  ve asetik asit üretirken, yüksek olduğunda ise  $H_2$  ve  $CO_2$  üretmektedirler.  $H_2$ , metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilmektedir.  $10^{-5}$  atmosferden düşük basınçlar,  $H_2$  ve  $CO_2$ 'den  $CH_4$  oluşumu için uygundur (Öztürk, 2008).

#### **2.5.3.3. Su Miktarı**

Düzenli depolama alanındaki su miktarı, depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. Ayrışma prosesinin devam edebilmesi için nem içeriğinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Katı atıklar depolama alanlarına getirildiklerinde % 30 - 40 arasında nem muhtevasına sahiptirler (Demir, 2006). Organik maddelerin bozunmasının hızlanması ve buna bağlı olarak oluşacak metan gazı miktarının artabilmesi için ortamda yeterli oranda nem bulunması gerekmektedir. Bu değer yaklaşık olarak

%50'dir (Öztürk, 2008). Düzenli depolama alanında atıklar sıkıştırıldıkları için içeriklerinde bulunan nem miktarı azalabilmektedir. Bununla beraber ayrışma proseslerinin ilk aşaması olan hidroliz sırasında da bir miktar su kullanılmaktadır. Bütün bunlardan dolayı nem içeriğinin yetersiz olduğu durumlarda; organik maddelerin ayrışmasının devam edebilmesi ve metan gazının oluşumu için; düzenli depolama alanına sızıntı suyu geri devrettirilebilmektedir. Sızıntı suyunun geri devrettirilmesi ile; hem gerekli olan nem içeriği sağlanabilmekte, hem de sızıntı suyu ile kaybedilen organik maddelerinde yeniden prosese kazanımı sağlanabilmektedir.

#### **2.5.3.4. Atığın Dane Boyutu**

Katı atığın dane boyutunun azalması ile; katı atıklar daha homojen hale gelmekte ve de mikroorganizmaların organik maddelerle etkileşime giren yüzey alanları büyümektedir. Bu durum, biyokimyasal reaksiyon hızını ve gaz üretim miktarını arttırmaktadır. Yapılan çalışmalarda partikül çapının 250 mm.'den 10 mm.'e düşürülmesi ile gaz üretim hızının 4,4 kat arttığı belirlenmiştir (Nastev, 1998).

#### **2.6. Depo Gazı Miktarının Hesaplanması**

1990'ların başından beri küresel ısınmaya olan etkilerinden ötürü sera gazları ve özellikle metan gazı emisyonlarının tahminine odaklanılmıştır. Herhangi bir katı atık düzenli depolama alanından oluşabilecek emisyonların tahmin edilebilmesi için;

- Depolama alanının dizayn kapasitesi (depolama alanında bertaraf edilebilecek toplam katı atık miktarı),
- Depolama alanında günümüze kadar depolanmış atık miktarı veya alanın ortalama yıllık atık depolama kapasitesi,
- Metan oluşum hızı,
- Potansiyel metan üretim kapasitesi,
- Depolama alanının kaç yıldır kullanıldığı ve
- Evsel katı atıklarla birlikte tehlikeli atıkların da alanda depolanıp depolanmadığı

gibi bilgilere ihtiyaç vardır.

### 2.7. Depo Gazı Oluşumunun Modellenmesi

Katı atık düzenli depolama alanlarında oluşacak gaz miktarının matematiksel olarak ifade edilmesi için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; genel kinetik parametrelerle basit empirik 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. Literatürde en fazla karşılaşılan modeller kinetik parametrelerin kullanıldığı modellerdir. Bu modellerde başlangıçta metan gazı oluşumu çok az veya hiç yoktur. Sonrasında metan gazı oluşumu lineer ya da eksponansiyel olarak gerçekleşir. Bu tür basit modellerin çoğunda biyolojik ayrışma prosesleri için geliştirilen ve Monod eşitliği olarak bilinen formül kullanılmaktadır (Metcalf & Eddy, 2003).

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K * X * C}{K_c + C}$$

(2.9)

Burada;

C : t anındaki substrat konsantrasyonu

X : Mikroorganizma konsantrasyonu, kg mikroorganizma/m<sup>3</sup> atık

K : 1 kg mikroorganizmanın kullanabileceği maksimum substrat miktarı

K<sub>c</sub>: Substrat kullanımının maksimum değerinin yarısına eşit olduğu atık konsantrasyonu

olarak kabul edilmektedir.

Literatürde kullanılan bir diğer modelleme türü de kompleks matematiksel modellerdir. Bu modeller gaz oluşum hızını etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişkenlerin etkilerini kompleks matematiksel ifadelerle belirtmektedir. Bu değişkenlerin depolama alanlarındaki ayrışma prosesleri üzerine etkisinin belirlenmesi için çok detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bazı kompleks matematiksel modellerin esasları kısaca aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir.

**2.7.1. Katı Atıkların 1. Derece Kinetiğe Göre Ayrışması**

Bu modele göre katı atıkların ayrışma oranı atık içerisindeki ayrışabilen madde miktarıyla doğru orantılıdır (Bilgili, 2006).

$$\frac{dC(t)}{d(t)} = -k \cdot C(t) \quad (2.10)$$

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

$$C_{(t)} = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2.11)$$

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

Depo gazı oluşum hızı  $\alpha$ , ( $\text{m}^3/\text{ton/yıl}$ ), katı atıkların ayrışma oranıyla doğru orantılıdır.

$$\alpha = -0,8 \cdot C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2.12)$$

Burada 0,8; 1 kg kuru organik maddeden oluşacak depo gazı hacmidir.

**2.7.2. Palos Verdes Modeli**

Palos Verdes modeli depolama alanlarında gaz üretim kinetiğini ortaya koyan iki kademeli 1. derece matematiksel bir modeldir. Birinci kademede gaz oluşumu zamanla artmakta, ikinci kademede ise zamanla azalmaktadır. İlk basamak aşağıdaki denklemlerle tanımlanmaktadır (Spokas ve ark., 2006).

$$DG/dt = k_1 \cdot G \quad (2.13)$$

Burada t zaman; G t'den önceki depo gazı üretimi ve  $k_1$  de gaz üretim hız 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.

$$DL/dt = -k_2 * L \quad (2.14)$$

Burada L, t sürede üretilen gaz hacmi,  $k_2$  gaz üretim hız 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.

Modelde organik atıklar; yüksek hızla biyo ayrışabilir (yiyecek), orta hızda biyo ayrışabilir (kağıt, karton, tekstil ürünleri) ve dayanıklı organik atıklar (plastik, lastik) olarak üçe ayrılmaktadır. 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 tanımlanabilmektedir.

### **2.7.3. Sheldon Arleta Modeli**

Sheldon Arleta modeli iki basamaklı birinci derece kinetiğine dayalı bir modeldir. Model, sürekli atık eklenmesi ile oluşan gaz üretiminin zamana bağlılığını tanımlayan boyutsuz bir eğri oluşturmaktadır. Atıktaki küçük artımlara karşılık gelen üretimlerin toplamı, toplam biyogaz miktarını vermektedir. 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 hesaplanmaktadır (Palanankumar, 1999).

$$t_{\text{toplam}} = t_{1/2} \cdot 0,35 \quad (2.15)$$



**2.7.4. 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 biyogaz oluşumunun maksimum hızla başladığını kabul etmektedir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Thompson ve ark., 2009).

$$Q = 2 \cdot L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.16)$$

Burada;

Q : Yıllık metan gazı oluşum miktarı, m<sup>3</sup>/yıl

L<sub>0</sub>: Depolanan atıktan oluşabilecek metan miktarı, m<sup>3</sup> /ton

R : Depolama alanının aktif ömrü boyunca depolanan ortalama atık miktarı, ton/yıl

k : Metan oluşum hız sabiti, m<sup>3</sup>/yıl

c : Depolama alanı kapatıldıktan sonra geçen süre, yıl

t : İlk depolamanın başlamasından sonra geçen süre, yıl

olarak kabul edilmektedir.

**2.7.5. Emcon Modeli**

Bu modelde ana girdiler; atık miktarı, bileşim ve nem içeriği, gecikme zamanı ve dönüşüm zamanıdır. Model, üç madde sınıfı kabul etmektedir. Bunlar; hızlı, orta ve yavaş ayrışan maddelerdir. Her sınıf için model bir metan oluşum eğrisi hesaplamaktadır. Model belirli bir ıslak atık ağırlığı için (i) bileşenden oluşabilecek maksimum metan hacminin belirlenmesinde aşağıdaki matematiksel formülü kullanmaktadır (Bilgili, 2006).

$$C_i = k \cdot k' \cdot W_t \cdot P_i \cdot (1 - M_i) \cdot V_i \cdot E_i \quad (2.17)$$

Burada;

W<sub>t</sub>: Toplam ıslak katı ağırlığı, kg

P<sub>i</sub>: i bileşenin toplam atık kütlesi içerisindeki miktarı, kg ıslak i bileşeni/kg ıslak atık

M<sub>i</sub>: 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 bileşeninden oluşabilecek gaz hacmi

$K$ : 351 CH<sub>4</sub>/kg KOİ

$k'$ : 1,5 kg KOİ/kg uçabilir katı

olarak kabul edilmektedir.

n adet bileşenden meydana gelen atıktan oluşabilecek toplam CH<sub>4</sub> miktarı;

$$Ct = \sum_{i=1}^n Ci \quad (2.18)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

#### **2.7.6. 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 depolama alanları 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 hesaplanmakta ve bu değerler toplanarak toplam gaz oluşumu belirlenmektedir (Bilgili, 2006).

#### **2.7.7. Tabasaran – Rettenberger Modeli**

Tabasaran – Rettenberger depo gazı oluşumu tahmin modelinde katı atık içerisindeki organik maddenin biyolojik olarak ayrışabilen kısmı temel alınmıştır.

$$G_t = 1,868 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot T + 0,28) \cdot (1-10^{-kt}) \quad (2.19)$$

Yıl içinde oluşan gaz miktarı aşağıdaki formül ile bulunmaktadır.

$$G_t(n) = G_t(n) - G_t(n-1) \quad (2.20)$$

$G_t$  : t zamanına kadar 1 ton başına oluşan gaz miktarı, m<sup>3</sup>/ton

$T$  : Sıcaklık, °C ( Düzenli depolama alanı içindeki ortalama sıcaklık )

$C_o$  : 1 ton atık içerisinde ayrışabilir organik karbon içeriği, kg/ton-atık

$K$  : İndirgeme sabiti, yıl<sup>-1</sup>

$t$  : Zaman, yıl

1,868 :1 kg organik karbonun standart şartlardaki biyogaz üretim potansiyeli, m<sup>3</sup>

olarak kabul edilmektedir.

### **2.7.8. United States Environmental Protection Agency (USEPA) LandGEM Modeli**

Depolama alanı gaz emisyonları modeli (LandGEM) katı atık depolama alanlarından gelen emisyonların miktarının otomatik belirlenmesi için geliştirilmiştir. 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. Modelde kullanılan temel birinci derece bozunma denklemi şöyledir;

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.21)$$

Burada;

$Q_{CH_4}$ : t anındaki metan üretim hızı, m<sup>3</sup>/yıl

$L_0$  : Potansiyel metan üretim kapasitesi, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /ton atık

$R$  : Depolama ömrü boyunca yıllık bertaraf edilen atık, ton/yıl

$k$  : Metan üretim hız sabiti, yıl<sup>-1</sup>

$c$  : Depolama alanı kapatıldıktan sonra geçen süre, yıl (depolama devam ediyorsa c=0)

$t$  : Depolamanın ilk başladığı yıldan itibaren geçen süre, yıl

olarak kabul edilmektedir.

### **2.8. Depo Gazının Kontrolü**

Depolama alanlarında oluşan depo gazlarının doğrudan atmosfere yayılması insan ve çevre sağlığı açısından çok büyük problemler ortaya çıkarabilmektedir. Bununla beraber depo gazının büyük bir kısmını oluşturan metan gazının enerji eldesine yönelik kullanım imkanı vardır. Depo gazının, hem çevreye yayılıp tehlike oluşturmasını önlemek ve hem de toplanan gazı değerlendirebilmek için bir gaz toplama sistemi ile bu gazların toplanması gerekmektedir. Toplanan bu gazlar değerlendirilmeyecek ise kontrollü olarak yakılarak atmosfere verilmelidirler. Depo gazı toplama sistemleri pasif ve aktif olarak ikiye ayrılabilir (Spokas ve ark, 2006). Pasif gaz toplama sistemlerinde depo gazının difüzyon ile hareket etmesi kontrol edilmektedir. Pasif sistemlere nazaran daha verimli olan aktif sistemlerde ise; gaz emme pompası yardımı ile toplanmaktadır (Tsai, 2005).

## **BÖLÜM 3**

### **ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ**

Ülkemizin Avrupa Birliği'ne (AB) uyum sürecinde, çevre alanındaki mevzuatların uyumlaştırılması ve uygulamadaki yükümlülüklerin karşılanabilmesi amacıyla AB tarafından “Yüksek Maliyetli Çevresel Yatırımların Planlanması” projesi finanse edilmiştir. Proje, eski adı ile T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, yeni adı ile T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda ilgili tüm kurum/kuruluşların katılımı ve katkısı ile sürdürülmektedir. Projenin yürütücülüğünü, yerli ve yabancı sekiz kuruluştan oluşan Envest Planners Konsorsiyumu üstlenmiştir.

Söz konusu projenin genel hedefi, Türkiye'nin AB çevre direktiflerine uyumunu sağlayarak yüksek seviyede çevre korumasıdır. Bu amaç ile su, katı atık, hava ve endüstriyel kirlenme kontrolü gibi öncelikli çevre alanlarında projeler belirleyerek, AB'ye katılım için gereken çevresel altyapı gereksinimlerini ve finansmanlarını belirlemektir.

Proje kapsamında, gelecek projelere örnek teşkil edebilecek, Çevresel Etki Değerlendirme Raporları ile birlikte uygulamaya hazır altı adet yatırım proje paketi geliştirilmesi planlanmıştır. AB tarafından finanse edilen Yüksek Maliyetli Çevresel Yatırımların Planlanması Projesi'nin altı yatırım paketinden biri de Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi (Çanakkale KATSİS) projesidir.

#### **3.1. Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi (Çanakkale KATSİS) Projesi**

Çanakkale KATSİS Projesi, kentsel katı atıkların AB standartlarına uygun yöntemlerle toplanması, taşınması, geri kazanılması, biyolojik olarak arıtılması, düzenli depolanması, sızıntı sularının arıtılması ve depo gazlarının değerlendirilmesi bileşenleri içeren bütünlük bir katı atık yönetim sistemidir. Proje; kaynağında ayırma sistemi, atık kumbaraları, atık toplama merkezleri, ayrı toplama sistemi, maddesel geri kazanma merkezleri ve tesisleri, kompost tesisi, düzenli depolama tesisi, sızıntı suyu arıtma tesisi, biyogaz toplama ve enerji üretimi tesisinden oluşmaktadır (Envest, 2005).

Çanakkale KATSİS katı atık yönetim projesinin inşaatına 2004 yılında başlanmış ve 2009 yılında tamamlanmıştır. İnşaatın tamamlanmasının ardından Ağustos 2009'da faaliyete geçirilen projenin ömrü yirmi yıl olarak planlanmıştır.

## **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

Projenin başlamasıyla yeni atık toplama ve taşıma sistemi devreye girmiştir. Proje kapsamında kurulan atık kumbaraları, atık toplama merkezleri ve düzenli depolama tesisi 2009 yılında işletmeye alınmıştır.

Park ve bahçe atıklarının kompostlaştırılması çalışmaları kapsamında; 2015 yılında pilot kompost tesisin, 2020 yılında ise tam kapasiteli kompost tesisinin ve maddesel geri kazanma tesisinin devreye girmesi planlanmaktadır. Proje 2029 yılında düzenli depolama tesisinin kapatılması ile sona erecek ancak; gaz ve sızıntı suyu toplanmasına devam edilecektir.

### **3.2. ÇAKAB Katı Atık Düzenli Depolama Alanı**

ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı; şehrin kuzeydoğusunda, merkeze 17 km uzaklıkta, Çanakkale – Lapseki tali karayolu üzerinde, Kemel Köyü yakınlarındadır. Katı atık depolama alanı olarak seçilen bölge, AKÇANSA Çimento Fabrikası'nın taş üretimi yaptığı eski bir taşocağı bölgesidir. Depolama alanına en yakın yerleşim yerleri olan Kemel Köyü ve Musaköy kuş uçuşu olarak 3 ve 1,8 km uzaklıktadır.

Düzenli depolama alanı önceden taş ocağı olarak kullanıldığı için doğal dokusu tahrip edilmiş bir bölgedir. Alanın zemini içerisinde su dolaşımına izin vermeyen geçirimsiz, gözeneksiz bir kayadan oluşmaktadır. Proje kapsamında yapılan sondajlarda da yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra taşkın ve su koruma alanlarının dışındadır. Çanakkale 1. derece deprem bölgesi olup, depolama alanı ve çevresinde daha önce birçok deprem yaşanmış olmasına rağmen alan herhangi bir aktif fay üzerinde bulunmamaktadır. Depolama alanının Çanakkale Havaalanına uzaklığı 10 km olup bu mesafe önerilen asgari mesafenin dışındadır.

ÇAKAB düzenli depolama alanı 35 hektardır. Alanın 7,85 hektarlık bölümü katı atık depolama alanı olarak, geri kalan kısmı ise tesisin diğer bileşenleri (işletme binaları, maddesel geri kazanma tesisi, sızıntı suyu arıtma tesisi) için kullanılmaktadır. Depolama işlemi için kullanılacak 7,85 hektarlık bölge 3,99; 1,61 ve 2,25 hektarlık alana sahip üç ayrı hücre olarak tasarlanmıştır.

ÇAKAB düzenli depolama alanı; Çanakkale Merkez İlçe, Lapseki İlçesi, Umurbey Bucağı, İntepe (Yeni adı Erenköy) Bucağı, Çardak, Kepez ve Kumkale Belediyeleri nüfuslarına hizmet vermektedir. Depolama alanında, bu bölgelerde oluşan evsel katı atıklar ile endüstri ve ticarethanelerden oluşan evsel nitelikli atıklar depolanmaktadır. Tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, inşaat ve hafriyat atıklarının depolanması yasaktır.

## **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

### **3.3. Çanakkale Katı Atık Oluşumu ve Kompozisyonu**

Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi projesi; evsel atıklar ile ticari ve endüstriyel tesislerden ve kurumlardan kaynaklanan evsel nitelikli atıkları kapsamaktadır. Toplam kentsel katı atık miktarının ağırlıkça %75'ini evlerden kaynaklanan atıkların, %20'sini ticari ve kurumsal tesislerden kaynaklanan evsel nitelikli katı atıkların ve %5'ini de endüstri tesislerinden kaynaklanan evsel nitelikli katı atıkların oluşturduğu kabul edilmektedir (Envest, 2005).

#### **3.3.1. Hali hazırdaki Katı Atık Miktarı ve Kompozisyonu**

Atık üretimi hesaplamalarında en önemli parametre kişi başına üretilen katı atık miktarıdır. Çanakkale KATSİS projesi kapsamında kişi başına oluşan katı atık miktarının belirlenmesi için üç farklı yaklaşım kullanılmıştır. İlk yaklaşımda, birlik belediyelerinden anket yoluyla toplanan veriler değerlendirilmiştir. İkinci yaklaşımda, CH2M – Hill tarafından 1992 yılında yapılan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Yönetimi planındaki kişi başına oluşan atık miktarı verileri değerlendirilmiştir. Son olarak Envest Planners konsorsiyumu tarafından, “Yüksek maliyetli çevre yatırımları planlaması” başlıklı proje temel alınarak proje alanı için kişi başına oluşan atık miktarı tespiti yapılmıştır. Çizelge 3.1.'de Envest Planners Konsorsiyumu tarafından birlik belediyelerinde yapılan anketler sonucu belirlenen günde kişi başına oluşan katı atık miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Proje alanında kişi başına oluşan katı atık miktarları (Envest, 2005)

Belediye	Kış, kg/kişi-gün	Yaz, kg/kişi-gün	Ortalama, kg/kişi-gün
Merkez	1,00	1,00	1,00
Lapseki	1,20	0,85	1,11
Çardak	0,90	0,55	0,81
Umurbey	0,95	1,45	1,08
Kepez	0,75	0,55	0,70
İntepe	0,60	0,75	0,64
Kumkale	0,90	0,85	0,89

Çizelge 3.1.'de görüldüğü üzere, birlik belediyelerinde yapılan anketler sonucunda proje alanı için günde kişi başına oluşan atık miktarı ağırlıkça ortalama 0,89 kg/kişi-gün olarak belirlenmiştir.

### **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

İstanbul Çöp A.Ş., 1996 – 2003 yılları arasında İstanbul için katı atık miktarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Türkiye'nin nüfus yoğunluğu bakımından en büyük ili olan İstanbul için, 2003 yılında günde kişi başına oluşan katı atık miktarı 0,9 kg/kişi-gün olarak hesaplanmıştır (İSTAÇ, 2004). İstanbul için 1996 – 2003 yılları arasında günde kişi başına oluşan katı atık miktarları Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. İstanbul için kişi başına oluşan katı atık miktarları (İSTAÇ, 2004)

Yıl	Kişi başına oluşan atık miktarı, kg/kişi-gün
1996	0,53
1997	0,68
1998	0,77
1999	0,89
2000	0,90
2001	0,86
2002	0,86
2003	0,90

Son olarak; Envest planners konsorsiyumu tarafından “Yüksek maliyetli çevre yatırımları planlanması” başlıklı proje temel alınarak proje alanı için kişi başına oluşan atık miktarları kırsal bölgeler için 0,64 kg/kişi-gün, kentsel bölgeler için 0,71 kg/kişi-gün olarak belirlenmiştir. Kırsal bölgelerde oluşan atık miktarının daha düşük olması sosyo - kültürel hayatın farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu bölgelerde organik atıkların çoğunluğu hayvan yemi olarak kullanılmakta, bir kısmı da sobalarda yakılmaktadır. Bu durum oluşan katı atık miktarının azalmasına sebep olmaktadır.

Elde edilen verilere ve yapılan gözlemlere göre, proje alanı için, kişi başına oluşan katı atık miktarı güvenli olması açısından 0,90 kg/kişi-gün alınmıştır.

Çanakkale katı atık kompozisyonunun belirlenmesi amacı ile İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından 2004 yılı haziran ayı içerisinde katı atık madde grubu analizi yapılmıştır. İl merkezinde farklı gelir gruplarını temsil eden katı atık numuneleri ile yapılan analizin sonuçları Çizelge 3.3.'te gösterilmektedir. Analiz haziran ayı içerisinde yapıldığından yaz dönemini temsil etmektedir. Aynı analizin kış dönemi için de yapılması katı atık karakteristiği açısından daha sağlıklı veriler elde edilmesinde çok önemli olduğu düşünülmektedir.



### **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

Çizelge 3.3. Proje alanı için madde grubu analizi (Envest, 2005)

Atık Bileşeni	Yüksek gelir grubu	Orta gelir grubu	Düşük gelir grubu	Ticari ve Endüstriyel	Ortalama, %
	kg/gün				
Organik Atık	108	161	135	87	69,9
Kağıt	13	4	6	9	4,3
Karton	4	1	3	2	1,3
İri karton	0	0	0	4	0,5
Plastik	18	19	18	13	9,6
Cam	8	4	9	5	3,2
Metal	2	3	4	3	1,6
İri Metal	1	2	0	1	0,7
Elektronik atık	2	0	2	1	0,6
Tehlikeli atık	1	1	1	1	0,6
Diğer yanıcı atıklar	14	9	24	7	6,4
Diğer iri yanıcı atıklar	1	1	0	3	0,7
Diğerleri	1	0	1	3	0,6
Toplam	173	205	203	139	100

Çizelge 3.3.'ten görüleceği üzere, proje alanında oluşan katı atığının yaklaşık % 70'i organik maddedir. Organik madde miktarının yüksek olmasına karşın geri kazanılabilir atık miktarının az olduğu görülebilmektedir. Bu durum geri kazanılabilir atıkların çöp toplayıcılar tarafından toplanmasından kaynaklanabilmektedir.

Çizelge 3.4.'te Türkiye'de katı atık yönetiminin mevcut durumunun belirlenmesi amacı ile yine Envest Planners konsorsiyumu tarafından 2005 yılında hazırlanmış olan Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (YMÇYP) AB Projesi'nde Çanakkale için verilen karakterizasyon verileri dikkate alınarak 2004 yılı için oluşturulan daha genel bir katı atık karakterizasyonu gösterilmektedir.

### **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

Çizelge 3.4. Proje alanı atık karakterizasyonu (Envest, 2005)

Atık Bileşeni	Kentsel tek katlı evler	Kentsel çok katlı evler	Kırsal evler
		%	
Organik Atık	57	49	57
Kağıt	5	8	5
Karton	3	4	2
İri karton	0,5	0,5	0,5
Plastik	7	11	7
Cam	4	7	4
Metal	2	3	2
İri Metal	0,5	0,5	0,5
Elektronik atık	0,5	0,5	0,5
Tehlikeli atık	0,5	0,5	0,5
Bahçe atıkları	3	2	1
Diğer yanmayan atık	9	6	12
Diğer yanıcı atıklar	4	4	4
Diğer iri yanıcı atıklar	2	2	2

#### **3.3.2. Gelecekteki Katı Atık Miktarı ve Kompozisyonu**

Daha önce de belirtildiği gibi günde kişi başına oluşan katı atık miktarını, ailelerin ekonomik şartları ve tüketici alışkanlıkları başta olmak üzere birçok faktör etkilenmektedir. Yüksek maliyetli çevre yatırımları planında; Türkiye için makro ekonomik projeksiyonlarda, 2000–2005 yılları arasında nüfus artış oranı yıllık % 1,57; 2025–2030 yılları arasında ise artarak yılda % 3 olarak varsayılmıştır. Bu artış oranlarının kişi başına düşen milli geliri yıllık % 3 oranında arttıracığı beklenmektedir (Envest, 2004).

Hiç şüphesiz ki, nüfustaki ve kişi başına düşen milli gelirdeki artış oluşan katı miktarının da artmasına sebep olacaktır. Nüfusun iki katına çıkması ile günde kişi başına oluşacak atık miktarı iki katına çıkmamakla beraber bir miktar artacak ve de atığın kompozisyonunda bazı değişiklikler görülecektir. Bu öngörü diğer ülkelerde yapılmış analizlere dayanmaktadır. Bunların yanı sıra değişen yönetmelikler, gelişen

### **BÖLÜM 3- ÇANAKKALE ATIK YÖNETİM SİSTEMİ Canan CAN YARIMTEPE**

atık yönetim sistemleri ve ekonomik büyüme sonucunda atık miktarlarının ve kompozisyonlarının değişmesi beklenebilecek bir durumdur.

EHCIP “Directive – Specific Implementation Plan of the Solid Waste Sector” başlıklı projede gelecekteki atık miktarları ve kompozisyonları ile ilgili tahmini veriler bulunmaktadır. ÇAKAB düzenli katı atık depolama alanı projesinde de bu planda verilen veriler kullanılmıştır. Projede verilen 2005 – 2025 yılları arasında kişi başına oluşan atık miktarları ve yıllık değişimleri Çizelge 3.5.’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Proje alanı için gelecekteki katı atık oluşum oranları (EHCIP, 2005)

Yıl	Kişi başına oluşan atık miktarı, kg/kişi-gün	Ortalama yıllık artış, %
2005	1,07	
2010	1,18	2,01
2015	1,3	2,08
2020	1,45	2,15
2025	1,62	2,25

Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi (Çanakkale KATSİS) projesinin yürütücülüğünü üstlenen Envest Planners Konsorsiyumu’nun danışmanları tarafından kabul edilen gelecekteki atık kompozisyonu Çizelge 3.6.’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Proje alanı için gelecekteki atık kompozisyonu (Envest, 2005)

Atık	2005	2010	2015	2020	2025
			%		
Biyolojik olarak ayrışabilen evsel atıklar	70,6	68,8	66,4	64,8	63,0
Ambalaj atıkları	14,9	15,8	17,0	17,8	18,7
Geri dönüşümlü atıklar	28,3	30,0	32,3	33,9	35,6
Diğer evsel atıklar	11,3	12,0	13,0	13,6	14,3

Gelecekteki atık kompozisyonuna bakıldığında, atıkların toplam yüzdelerinin % 100 olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi bazı atıkların (kağıt gibi) birden fazla kategoriye dahil olmasıdır.

Çizelge 3.6.’dan görüldüğü üzere; gelecek yıllarda biyolojik olarak ayrışabilen atık miktarının azalacağı, buna karşın kağıt, karton ve diğer atıkların miktarlarının artacağı tahmin edilmektedir.

### **3.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depo Gazı Kontrolü**

ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesi planlanmaktadır. Bu nedenle; depo gazının aktif toplama sistemiyle toplanmasına ve içerisindeki metan gazının gaz motoru ile yakılmasına karar verilmiştir (Envest, 2005).

ÇAKAB Düzenli depolama alanında oluşacak depo gazı, düşey kuyulardan oluşan aktif gaz toplama sistemi ile toplanacaktır. Çapları 100 – 200 mm olacak gaz toplama bacaları; ilk hücrenin tamamen doldurulup, üzerinin örtülmesi işlemlerinden sonra kurulacaktır. Depolama alanındaki atık yüksekliği 2 metreye ulaştığında bacalar yükseltilecektir. Oluşan depo gazı, gaz toplama boruları ile etki çapı en az 10 m olacak toplama kuyularına iletilecektir. Gaz toplama kuyularında toplanan depo gazı kompresörler aracılığı ile enerji geri kazanım tesisine yönlendirilecektir. Depo gazından enerji geri kazanım tesisine yatay toplama boruları ile gelen depo gazı, soğutulduktan sonra silindirli motora yakıt olarak verilecektir. Depo gazının jeneratörü harekete geçirmesiyle elektrik enerjisi elde edilecektir. (Envest, 2005).

**BÖLÜM 4****ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Katı atıkların anaerobik olarak ayrışması sonucu oluşan depo gazı hemen hemen eşit oranda metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşik içermektedir. Katı atık depolama alanlarından kaynaklanan metan ve karbondioksit küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Bunun yanı sıra; metan gazı yüksek bir enerji potansiyeline sahiptir. Bu nedenle; son yıllarda katı atık düzenli depolama alanlarından oluşan metan gazı miktarları ve enerji potansiyellerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Zamorano ve ark. (2007), İspanya'nın kuzeyindeki Granada ili kentsel düzenli depolama alanının enerji potansiyelini araştırmıştır. Çalışmanın yapıldığı düzenli depolama alanı 300.000 nüfuslu ilin 2 km kuzeyinde olup yaklaşık 46,54 hektarlık bir alan üzerine kurulmuştur. Düzenli depolama alanı 1984–1999 yılları arasında aktif olarak kullanılmış 1999 yılı itibariyle kapatılarak enerji elde edilmesi planlanmıştır. Aktif olarak kullanıldığı yıllarda toplamda 1.420.000 ton atık depolanmıştır. Depolanan atığın içeriği Çizelge 4.1.'de gösterilmektedir. Ayrışma denklemleri kullanılarak elde edilen 40 yıllık ayrışma periyoduna göre ton başına oluşan tahmini biyogaz miktarı, metan miktarı ve hacmi Çizelge 4.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Granada (İspanya) ili atık kompozisyonu (Zamorano ve ark., 2007)

Atığın bileşimi	Ağırlık, %	Nem İçeriği, %
Organik madde	30,5	75,00
Yaş kağıt / karton	24,0	20,00
Ahşap / bahçe atıkları	1,5	35,00
Tekstil atıkları	1,0	20,00
Plastik	21,0	1,00
Metal	5,0	1,00
Cam	12,0	1,00
Diğer ve inert maddeler	5,0	1,00
Toplam	100,0	28,83

Çizelge 4.2. Granada (İspanya) ili tahmini biyogaz ve metan konsantrasyonu (Zamorano ve ark., 2007)

Metan oluşumu, m <sup>3</sup> /ton	Biyogaz Oluşumu, m <sup>3</sup> /ton	Metan Konsantrasyonu, % Hacim
82,43	160,21	51,39

Çalışmada Tabasaran – Rettenberger kinetik modeli kullanılarak düzenli depolama alanında oluşan metan gazı miktarının iki farklı senaryo için tahmini yapılmıştır. En iyi senaryoda hızlı ayrışan katı atığın organik içeriği % 34, yavaş ayrışan katı atığın organik içeriği % 23; en kötü senaryoda hızlı ayrışan katı atığın organik içeriği % 31, yavaş ayrışan katı atığın organik içeriği % 21 kabul edilmiştir. İki farklı senaryo sonucunda ton başına oluşan biyogaz miktarı 115,92 m<sup>3</sup> ile 172,43 m<sup>3</sup> arasında değişmiştir.

Düzenli depolama alanlarında oluşan biyogaz 3.600 ila 4.000 kcal/Nm<sup>3</sup> arasında değişen alt kalorifik değeri ile yanıcı bir gazdır (Zamorano ve ark., 2007). Bu çalışmada da oluşan biyogazın alt kalorifik değeri 3.861 kcal/Nm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu durum biyogazın yüksek bir enerji içeriğine sahip olduğu anlamına gelmektedir ve böylece elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilirliği belirtilmektedir.

Wanichpongpan ve Gheewala (2007), Tayland için depo gazından enerji elde edilmesi projelerinin verimliliğini araştırmışlardır. Çalışmada 172.400 nüfuslu bir ve 40.000 nüfuslu iki şehir olmak üzere üç şehre ait düzenli depolama alanları üzerinde çalışılmıştır. 172.400 kişi nüfuslu şehirde günde 200 ton katı atığın, 40.000 kişi nüfuslu şehirlerde günde 80 ton atığın düzenli depolandığı ve de üç düzenli depolama alanında da birbirine benzer şekilde biyolojik olarak ayrışabilir maddelerin katı atığın yaklaşık %65 ini oluşturduğu belirtilmiştir. Çalışmada hem 172.400 kişi nüfuslu şehir için hem de 40.000 kişi nüfuslu şehirler için USEPA LandGEM modeli kullanılarak oluşacak metan gazı miktarı tahmini yapılmıştır. Modelde yerel özellikler göz önünde bulundurularak metan üretim hız sabiti (k) sıcak ve yağış alan bölgeler için kullanılan 0,15 yıl<sup>-1</sup> seçilmiştir. Potansiyel metan üretim kapasitesi (L<sub>0</sub>) ise Tayland'daki birçok katı atık depolama alanından alınan katı atık numunelerinde yapılan analizler sonucu bulunan ve kullanılması önerilen 60 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton atık olarak kabul edilmiştir. Model uygulamasında düzenli depolama alanına atık kabulüne başladıktan 20 yıl sonra en yüksek metan gazı oluşumu gözlenmiştir. Her ne kadar metan gazı çıkışı atık kabulü durduktan yaklaşık 40 yıl sonra kadar devam etse de metan oluşum miktarının ilk 20 yıldan sonra hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Buradan yola çıkarak depolamanın başlangıcından itibaren ilk 30 yılın metan

gazından enerji elde edilmesi için verimli olduğu belirtilmiştir. İki senaryo için de 30 yılda toplamda elde edilecek metan gazı miktarı yaklaşık 73.462.100 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Meraz ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada USEPA modelini kullanarak Mexico City düzenli depo alanından oluşacak metan gazı miktarını hesaplamış ve gaz üretim hızı sabiti k değerinin oluşan metan gazı miktarına olan etkisini incelemiştir. Çalışmalarında evsel katı atıkları biyo ayrışabilirliklerine göre hızlı, normal, yavaş ve inert olmak üzere dört gruba ayırmışlardır. Mexico City evsel katı atıklarının tipik bileşimi ve su içeriği Çizelge 3.3.'de gösterilmektedir.

Mexico City düzenli depolama alanında 9 yılda toplam 7.500.000 ton evsel katı atık depolandığı, buradan yola çıkarak yılda ortalama 833.330 ton atığın depolandığı belirtilmektedir. Çizelge 4.3.'de Mexico City şehrinde oluşan evsel katı atığın kompozisyonu gösterilmektedir.

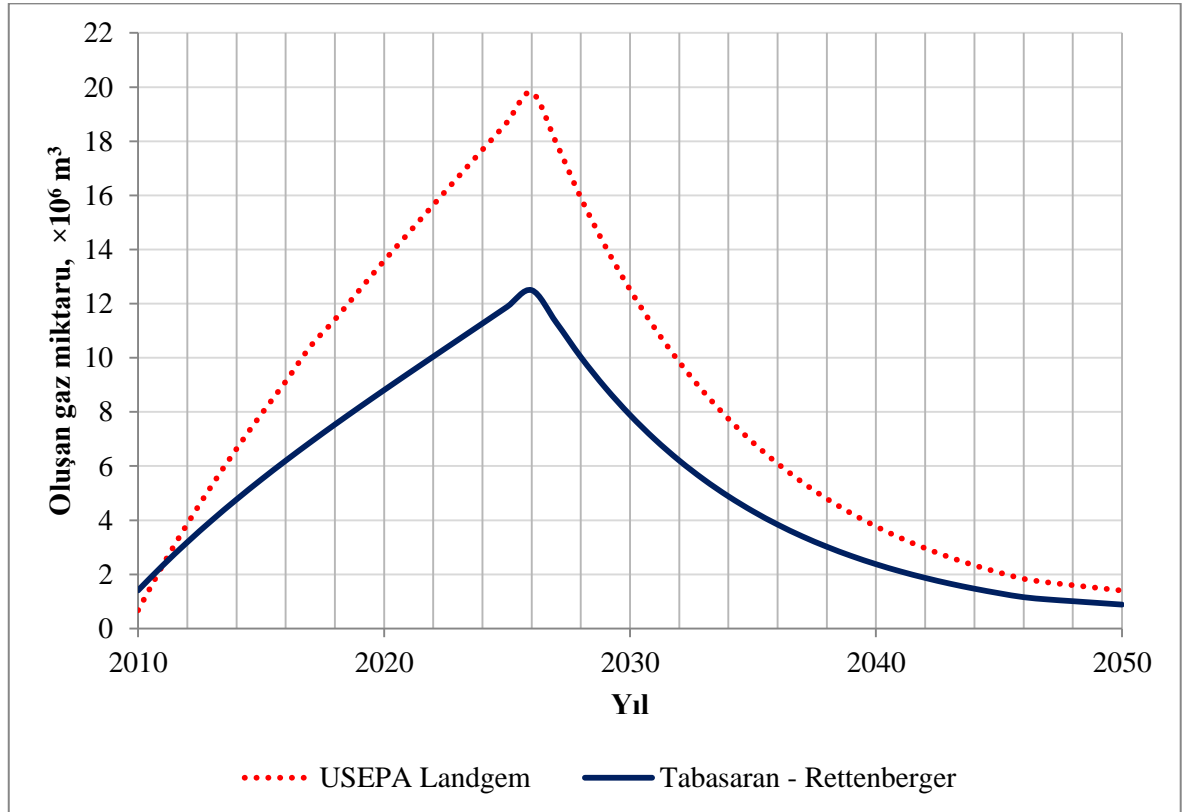
Çizelge 4.3. Mexico City (Meksika) şehri evsel katı atıklarının tipik bileşimi ve su içeriği (Marez ve ark., 2004)

Atığın bileşimi	Ağırlık, %	Su içeriği, %	Bioayrışabilirliği
Mutfak atıkları	39	70	Hızlı
Kağıt	22	6	Yavaş
Plastik	6	2	İnert
Tekstil atıkları	2	10	Yavaş
Ahşap	1	20	Yavaş
Bahçe atıkları	6	60	Normal
Cam	8	2	İnert
Metaller	4	3	İnert
Kül v.b.	12	8	İnert

Çalışmada bir ton atık başına üretilen metan gazı miktarı, L<sub>0</sub> 126 m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Gaz üretim hızı sabiti k değeri ise ılıman iklimler için kullanılan 0,02 yıl<sup>-1</sup>, 0,03 yıl<sup>-1</sup> ve tropikal iklimler için kullanılan 0,04 yıl<sup>-1</sup> olarak alınarak üç k değeri için de oluşacak metan gazı miktarı hesabı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; daha büyük k değerleri ile oluşan metan gazı miktarının arttığı belirlenmiştir. Bununla beraber ilk 10 yılda metan gazı oluşumunun hızlı ve normal biyolojik olarak ayrışabilir atıklar tarafından sağlandığı belirtilmiştir. Literatürde metan gazı çıkışının depolama alanı kapandıktan 90

yıl sonrasına kadar devam ettiği kabul edilse de tropikal bölgelerde depolama alanı kapandıktan 50 yıl sonra metan gazı çıkışının büyük ölçüde tamamlanmış olduğu belirtilmiştir.

Öztürk (2010), çalışmasında USEPA ve Tabasaran – Rettenberger modellerini kullanarak metan oluşum miktarlarını hesaplamış ve iki modeli karşılaştırmıştır. Modeller 100.000 nüfuslu bir şehir için çalıştırılmıştır. Yapılan çalışmada depolama alanının 2010 yılından itibaren 20 yıl boyunca işletileceği, toplamda 1.213.000 ton atığın depolanacağı ve 2030 yılında kapanacağı varsayılmıştır. Çalışmada, USEPA LandGEM modeli için gaz üretim hızı sabiti,  $k$  0,12 yıl<sup>-1</sup> ve bir ton atık başına üretilen metan gazı miktarı,  $L_0$  180 m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir. Tabasaran – Rettenberger modeli için bir ton atıkta bulunan organik karbon miktarı  $C_{org}$  180 kg,  $k$  sabiti 0,04 yıl<sup>-1</sup> ve depo sahası sıcaklığı  $T$  35°C alınmıştır. Kabul edilen model girdileri sonucu depolama alanı açıldıktan sonraki 40 yıl boyunca oluşacak metan gazı miktarı hesaplanmıştır. İki modelin karşılaştırılması Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Tabasaran – Rettenberger ve USEPA LandGEM modellerinin karşılaştırılması (Öztürk, 2010).



İki modelde de elde edilen değerler birbirine paralel olmakla beraber, USEPA modeli ile yapılan tahminde daha fazla miktarda metan gazı oluşacağı hesaplanmıştır.

Karapidakis ve ark. (2010), katı atık düzenli depolama alanlarından kaynaklanan biyogazın çevresel etkileri ve enerji verimliliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Yunanistan'ın Volos ve Heraklion şehirlerinin düzenli depolama alanlarında oluşacak metan gazı miktarını USEPA modelini kullanarak hesaplamışlardır.

Yunanistan'ın merkezinde bulunan Volos kentindeki düzenli depolama alanının 1982'den 2002 yılına kadar işletildiği ve toplamda 1.680.000 ton atığın depolandığı belirtilmiştir. Düzenli depolama alanında yıllık depolanan atık miktarı ise 70.000 ton olarak belirtilmiştir. Çalışmada metan üretim hız sabiti k değeri  $0,05 \text{ yıl}^{-1}$  ve bir ton atık başına oluşacak metan gazı miktarı  $170 \text{ m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda; maksimum metan gazı çıkışının  $927 \text{ m}^3/\text{saat}$  miktarı ile 2003 yılında (depolama başladıktan 22 yıl sonra) meydana geleceği belirtilmiştir.

USEPA modeli uygulanan diğer şehir olan Heraklion'daki depolama alanının 1985 yılından beri işletildiği ve de depolama alanında depolanan yıllık katı atık miktarının 100.000 ton olduğu belirtilmektedir. Çalışmada metan üretim hız sabiti k değeri  $0,05 \text{ yıl}^{-1}$  ve bir ton atık başına oluşacak metan gazı miktarı  $170 \text{ m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma sonucunda da; maksimum metan gazı çıkışının  $200 \text{ m}^3/\text{saat}$  değeri ile 2006 yılında meydana geldiği belirtilmiştir.

Bilgili (2002), İstanbul şehri Odayeri katı atık düzenli depolama alanında teşkil edilen test hücrelerindeki atıkların anaerobik ayrışması ve gaz oluşum faktörlerini araştırmıştır. Bu amaç ile depolama alanı içerisinde  $25 \times 50 \times 5 \text{ m}$  boyutlarında 2 adet test hücresi teşkil edilmiştir. Depo edilen katı atık miktarları her bir hücre için yaklaşık olarak birbirine eşit olup, hücrelerde toplam 11.000 ton katı atık depolanmıştır. Odayeri düzenli depolama alanına Yenibosna, Halkalı ve Baruthane aktarma istasyonundan getirilen katı atıkların depolandığı belirtilmiştir. Çizelge 4.4'de Odayeri katı atık düzenli depolama alanına gelen atıklar üzerinde yapılan madde grubu analizi sonuçları gösterilmektedir.

Su muhtevasının katı atıkların biyolojik ayrışması üzerine etkisi de incelendiğinden, test hücrelerinden biri yaklaşık 30 ton sızıntı suyu ile nemlendirilmiştir. Her iki hücrede bulunan 4 adet gaz bacasından toplanan depo gazları emisyon ölçümleri Landfill Monitoring System Version 4.17 ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.4. İstanbul Avrupa yakası katı atık bileşenleri (Bilgili, 2002)

Madde grubu	Yenibosna, %	Halkalı, %	Baruthane, %
Kağıt	2,5	10,6	10,2
Cam	9,1	5,4	4,1
Metal	8,0	2,7	6,7
Plastik	8,5	1,7	4,1
Tekstil	4,7	5,4	6,1
Naylon	6,9	12,4	6,7
Organik Madde	45,3	40,6	43,0
Çocuk Bezi	9,0	12,3	7,0
Kül ve diğerleri	6,0	8,9	12,1
Toplam	100,0	100	100,0

Katı atıklardan oluşabilecek metan gazı miktarının belirlenmesi amacı ile depolama alanına gelen atıklar üzerinde gerçekleştirilen biyokimyasal metan potansiyeli deneyi ile Baruthane, Halkalı ve Yenibosna aktarma istasyonlarından gelen atıklardan oluşabilecek metan gazı miktarlarının 1 gr kuru organik atık için sırasıyla 257, 331 ve 372 ml, ortalama metan potansiyeli ise 320 ml CH<sub>4</sub>/gr kuru organik madde olarak tespit edilmiştir. Odayeri katı atık depolama alanına gelen atıkların ortalama organik madde muhtevasının % 43 ve organik maddenin su muhtevasının % 75 olduğu kabul edilerek, İstanbul şehrinin Avrupa yakasında oluşan katı atıkların metan potansiyeli yaklaşık 34,5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton yaş atık olarak hesaplanmıştır.

Wang-Yao ve ark. (2004), Tayland'ın Samutprakan şehri Rachathewa düzenli depolama alanı için USEPA Landgem modelini kullanarak oluşacak tahmini metan gazı miktarını hesaplamışlardır. Rachathewa düzenli depolama alanı 2000 ile 2003 yılları arasında üç yıl boyunca çalıştırılmıştır. Depolama alanına üç yıl boyunca depolanan katı atık miktarının 1.902.380, ortalama yıllık depolanan katı atık miktarının ise 475.595 ton olduğu belirtilmiştir. Depolanan atığın %42,6'sının hızla biyolojik olarak ayrışabilir, %5,14'ünün normal biyolojik olarak ayrışabilir ve %18,13'ünün yavaş biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerden oluştuğu belirtilmiştir.

Çalışmada metan üretim hız sabiti k değeri 0,32 yıl<sup>-1</sup>, bir ton atık başına oluşacak metan gazı miktarı 110 m<sup>3</sup> ve geri kazanılan biyogaz yüzdesi %70 olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen parametrelere göre; 20 yıl boyunca toplamda 237.180.622 m<sup>3</sup> metan gazı

çıkışı olacağı ve toplamda 166.032.740 m<sup>3</sup> metan gazının geri kazanılabileceği hesaplanmıştır.

Thompson ve ark. (2009), Kanada'daki 5 farklı şehirde bulunan (Alberta, British Columbia, Ontario, Nova Scotia ve Quebec) 35 düzenli depolama alanına ait verileri kullanarak USEPA Landgem ve Scholl Canyon modelleri ile geri kazanılacak tahmini metan gazı miktarlarını karşılaştırmışlardır. Depolama alanları için, bir ton katı atık başına üretilen metan gazı miktarının (L<sub>0</sub>), 1990'lı yıllarda 165 kg iken; 1990'lardan sonra geri kazanım ve kompostlaştırma işlemlerinin artmasıyla 117 kg'lara düştüğü belirtilmiştir. Beş farklı ilin düzenli depolama alanlarına ait L<sub>0</sub> (ton katı atık başına üretilen metan gazı değeri) Çizelge 4.5. gösterilmektedir. Beş farklı şehir için metan üretim hız sabiti (k) ortalama yağış miktarına göre seçilmiştir ve Çizelge 4.6. gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Bir ton atık başına üretilen metan gazı miktarları (Thompson ve ark., 2009)

Şehirler	L <sub>0</sub> (geri kazanım öncesi), kg/ton	L <sub>0</sub> (geri kazanım sonrası), kg/ton
Ontario	105	90
Nova Scotia	105	90
Quebec	145	128
Alberta	117	100
British Columbia	134	109

Çizelge 4.6. Metan üretim hız sabiti (Thompson ve ark., 2009)

Şehirler	Metan üretim hız sabiti, yıl <sup>-1</sup>
Ontario	0,048
Nova Scotia	0,023
Quebec	0,037
Alberta	0,042
British Columbia	0,056

Çalışma sonucunda, School Canyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini geri kazanılan metan miktarının, USEPA Landgem modeli kullanılarak elde edilen metan miktarından yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber modeller arasında %92 ile iyi bir korelasyon olduğu belirtilmiştir.

## **BÖLÜM 5**

### **MATERYAL ve METOT**

Katı atık depolama alanlarından kaynaklanan metan gazının miktarının tahmin edilebilmesi için öncelikli olarak depo gazı oluşum modellerinin iyi incelenmesi ve modellerin ihtiyaç duyduğu parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla; literatürde sıklıkla kullanılan Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA (United States Environmental Protection Agency) Landgem depo gazı (metan gazı) oluşum modelleri ve bunların ihtiyaç duyduğu parametreler belirlenmiştir. Depo gazı oluşum modelleri farklı coğrafi ve fiziksel şartlara hassasiyet gösterdiği için her model için önem teşkil eden parametreler tespit edilmiştir. Modellerin uygun parametreler ile çalıştırılması sonucunda Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği (ÇAKAB)'ne dahil Çanakkale Merkez, Lapseki, Umurbey, Çardak, Kumkale ve İntepe (yeni adı Erenköy) beldelerinden toplanan atıkların depolandığı katı atık depolama alanında oluşacak gaz potansiyeli hesaplanmıştır.

Ülkemizde özellikle katı atık depolama alanları için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirme Raporları kapsamında, depo gazı miktarının tespiti önemli bir başlıktır. Ayrıca depo gazından enerji elde edilmesinin söz konusu olduğu durumlarda gaz potansiyelinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle ülkemiz koşullarına en uygun depo gazı oluşum modelinin seçilebilmesi amacıyla, Çanakkale katı atık organik madde içeriği, nem içeriği, ortam sıcaklığı gibi ayrışma ve gaz oluşum hızına etki eden parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Depo gazı oluşumu uzun yıllar devam eden bir proses olduğundan, yıllar boyunca değişen nüfusun, oluşan atık miktarlarının ve kompozisyonlarının da bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

#### **5.1. Nüfus Tahmin Yöntemleri**

ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı 2009 yılında işletmeye alınmış olup, 20 yıl süresince hizmet vermek üzere planlanmıştır. 20 yıllık süreç içinde oluşacak ve depolanacak atık miktarının belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri de nüfustaki değişimdir. Bu nedenle 2009 yılından 2029 yılına kadar oluşacak atık miktarının belirlenebilmesi için bu yıllar arasındaki nüfusun da bilinmesi gerekmektedir. Gelecekteki nüfusun tahmin edilebilmesi için nüfus projeksiyon yöntemleri geliştirilmiştir. Nüfus projeksiyonu; geçmişteki durumlara ait koşulları dikkate alarak oluşturulan ve çeşitli varsayımlarla gelecekle ilgili nüfus tahmininde bulunma yöntemidir. Nüfus

projeksiyonları, küçük beldelerden büyük şehirlere, ülkelere kadar değişik nüfus büyüklüklerine sahip bölgeler için yapılabilmektedir. Nüfus tahmin yöntemlerini kullanılan verilerin ve varsayımların farklılığına göre ana hatlarıyla üç grupta toplamak mümkündür (Kocaman, 2002). Bunlar; matematiksel yöntemler yardımıyla yapılan nüfus tahminleri, demografik unsurlara göre yapılan nüfus tahminleri ve ekonomik yöntemler yardımıyla yapılan nüfus tahminleridir.

Bu çalışmada; Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği (ÇAKAB)'ne dahil Çanakkale Merkez, Lapseki Merkez, Umurbey, Çardak, Kumkale ve İtepe (yeni adı Erenköy) beldeleri için yapılan nüfus projeksiyonunda İller Bankası metodu; Kepez beldesi için yapılan nüfus projeksiyonunda ise Üstel Fonksiyon metodu kullanılmıştır.

Gelecek nüfus hesaplamaları; bölgeye ait önceki yıllardaki nüfus artışları dikkate alınarak, olağanüstü bir durum olmayacağı kabul edilerek yapılmaktadır. Ancak; doğal afetler, sanayileşmenin artması, üniversite kurulması gibi önceden tahmin edilemeyen ve nüfus miktarında önemli değişikliklere neden olabilecek durumların meydana gelmesi sonucunda, yapılan nüfus projeksiyonu hatalı olabilmektedir. Buna örnek olarak; proje alanımız olan Çanakkale'de kıtalar arası bir köprü yapılması gösterilebilmektedir. Yapılması planlanan köprü ile Çanakkale'nin nüfusun artabileceği tahmin edilmektedir. Ancak; köprünün proje ve inşaa süresi göz önüne alındığında, projeksiyonumuzun son yılı olan 2029 yılına kadar köprünün faaliyete geçirilemeyeceği ve bu nedenle hesaplarımızı etkilemeyeceği düşünülmektedir.

### 5.1.1. İller Bankası Metodu

Bu metot İller Bankası tarafından projelerde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, geometrik artış esasına göre artışın sınırlandırıldığı bir metottur. Metotta artış hızı çoğalma katsayısı ile ifade edilmektedir.  $\text{Ç}$  ile gösterilen çoğalma katsayısı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Ç} = \left[ \left( \left( \frac{N_{\text{son}}}{N_i} \right)^{\frac{1}{(t_{\text{son}} - t_i)}} - 1 \right) \right] \times 100 \quad (5.1)$$

Burada;

$\text{Ç}$  : Çoğalma katsayısı,

$N_{\text{son}}$  : Son nüfus değeri,

$N_i$  : İlk nüfus değeri,

$t_{son}$  :  $N_{son}$  nüfusunun belirlendiği yıl,

$t_i$  :  $N_i$  nüfusunun belirlendiği yıl

olarak kabul edilmektedir.

Gelecek nüfusu tahmin edilecek şehir veya belde için geçmişte yapılmış nüfus sayımlarında elde edilen nüfus bilgilerine göre beşer yıllık periyotlar arasında çoğalma katsayısı elde edilmektedir. Elde edilen çoğalma katsayılarının aritmetik ortalaması aşağıda gösterilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$C_{ort} = \frac{C_1 + \dots + C_n}{n} \quad (5.2)$$

$C_{ort} < 1$  olduğu durumlarda çoğalma katsayısı 1,

$1 \leq C_{ort} \leq 3$  olduğu durumlarda çoğalma katsayısı  $C_{hesaplanan}$ ,

$C_{ort} > 3$  olduğu durumlarda çoğalma katsayısı 3 olarak kabul edilmektedir.

Bazı istisnai durumlarda; hesaplanan  $C_{ort}$  değeri 3'ten büyük olduğu halde yerleşim yerinin doygunluk değerleri göz önünde bulundurularak çoğalma katsayısı hesaplanan  $C_{ort}$  olarak kabul edilebilmektedir (Akdemir, 2008).

Çoğalma katsayısı belirlendikten sonra, gelecekteki bir yıla ait nüfus tahmini aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$N_{gelecek} = N_{son} \times \left(1 + \frac{C_{ort}}{100}\right)^n \quad (5.3)$$

Burada;

$N_{gelecek}$  : Hesaplanacak gelecek nüfusu,

$N_{son}$  : Son sayım nüfusu,

$t_{son}$  :  $N_{son}$  nüfusunun belirlendiği yıl,

$t_{gelecek}$  :  $N_{gelecek}$  nüfusunun belirleneceği yıl,

$n$  : İki nüfus sayımı arasında geçen süre ( $t_{gelecek} - t_{son}$ ) yıl

olarak kabul edilmektedir.

**5.1.2. Üstel Fonksiyon Metodu**

Üstel Fonksiyon metodunda, yıllara karşılık nüfus değerleri grafiğe dökülmektedir. Elde edilen grafiğin üstel eğim çizgisinin korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 1'e ne kadar yakın olursa, yapılan nüfus projeksiyonu da o kadar güvenilir olmaktadır. Eğim çizgisinin fonksiyonunda; x yerine gelecekteki nüfusun hesaplanması düşünülen yıl değeri konulduğunda, y değeri o yıla ait nüfus sayısını vermektedir.

**5.1.3. Proje Alanına Ait Geçmiş Nüfus Verileri**

Genel nüfus sayımı, Türkiye'de istatistik işlerini yürütmekle görevli olan Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından periyodik olarak yapılmaktadır. 1990 yılına kadar her beş sene bir yapılan nüfus sayımları, 1990 yılından itibaren her on sene bir yapılmaya başlanmıştır. 2007 yılından itibaren adrese dayalı nüfus kayıt sistemine geçilmiştir (TÜİK, 2008).

Proje alanını oluşturan; Çanakkale merkez, Lapseki, Umurbey, Çardak, Kepez, Kumkale ve İntepe beldeleri için 1965 – 2010 yılları arasında yapılan nüfus sayımları sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Proje alanına ait geçmiş nüfus verileri (TÜİK, 2010)

Yıllar	Çanakkale Merkez	Lapseki	Umurbey	Çardak	Kepez	Kumkale	İntepe
1965	22.789	3.264	2.536	2.410	725	1.816	1.284
1970	27.042	3.341	2.334	2.479	948	1.654	1.568
1975	30.788	3.727	2.754	2.505	1.439	1.752	1.588
1980	39.979	4.407	2.661	2.761	2.491	1.638	1.816
1985	48.059	5.057	2.803	2.854	3.404	1.979	1.574
1990	53.995	5.789	2.845	2.954	4.282	2.308	2.409
2000	75.810	8.489	3.078	3.253	7.918	2.162	1.697
2010	106.116	10.889	2.065	3.234	11.744	1.387	1.776

**5.2. Katı Atık Miktarının Hesabı**

Ülkemizde günde kişi başına yaz mevsiminde 1,16 kg; kış mevsiminde 1,13 kg olmak üzere ortalama 1,15 kg katı atık oluşmaktadır (TÜİK, 2008). Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi projesi kapsamında Envest Planners Konsorsiyumu tarafından yapılan çalışmalarda; Çanakkale merkez, Lapseki ve Kepez kentsel yerleşim alanları; Çardak, Umurbey, Kumkale ve İntepe kırsal yerleşim alanları olarak kabul edilmiş olup, kişi başına

oluşan katı atık miktarı kırsal yerleşim alanları için 0,64 kg/kişi-gün, kentsel yerleşim alanları için 0,90 kg/kişi-gün olarak hesaplanmıştır (Envest, 2005). Elde edilen bu veriler Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi projesinin fizibilite kısmında hesaplandığı için güvenilir güncel bir bilgi verememektedir. Düzenli depolama alanı işletilmeye başlandıktan sonra alınan tartım sonuçları kesin ve güncel bilgileri vermektedir. ÇAKAB düzenli depolama alanını işleten Çanakkale Katı Atık Birliği'nden (ÇAKAB) 2009 ve 2010 yılları boyunca depolanan katı atık miktarları elde edilmiştir. 2009 yılına ait veriler ağustos ayından itibaren elde edildiğinden tüm yılı yansıtmamaktadır. 2010 yılına ait veriler bir yıl boyunca takip edilen tartım sonuçlarından elde edildiği için daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu veriler ışığında kırsal ve kentsel yerleşim alanları için 2009 ve 2010 yılına ait tartım sonuçları ile elde edilmiş günlük kişi başına oluşan katı miktarları Çizelge 5.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. Proje alanına ait 2009-2010 yılı günlük kişi başına oluşan atık miktarları (A. Kavcar, kişisel iletişim, ÇAKAB, 5 Mart 2011)

Yıllar	Yerleşim alanı	Nüfus, kişi	Oluşan katı atık miktarı, kg/gün	Günlük kişi başına oluşan atık miktarı, kg/kişi-gün
2009	Kentsel	117.983	148.730	1,26
	Kırsal	9.490	13.470	1,42
2010	Kentsel	128.749	146.750	1,14
	Kırsal	8.462	12.370	1,46

ÇAKAB düzenli depolama alanının projelendirilmesinde görevli olan Envest Planners Kongsorsiyumu tarafından yapılan çalışmada Çanakkale için günlük kişi başına oluşan atık miktarının yılda % 6 oranında artacağı belirtilmiştir (Envest, 2005). Bunun yanı sıra Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Atık Yönetimi Eylem Planında 2010 – 2025 yılları arasında günlük kişi başına oluşacak atık miktarlarının % 2,01 - 2,25 arasında artacağı kabul edilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

### 5.3. Katı Atığın Organik Madde Miktarının Hesabı

ÇAKAB hizmet alanının katı atık kompozisyonunun belirlenmesi amacı ile İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından 2004 yılı haziran ayı içerisinde katı atık madde grubu analizi yapılmıştır. İl merkezinde farklı gelir gruplarını temsil eden katı atık numuneleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre oluşan katı atığın ortalama % 69,9'unun biyolojik olarak



ayırışabilir organik maddeden oluştuğu belirlenmiştir (Envest, 2005). Yaz ve kış dönemlerinde bu yüzdenin değişebileceği düşünülmektedir.

2005 yılında Envest Planners Konsorsiyumu tarafından hazırlanmış olan Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (YMÇYP) AB Projesi'nde Çanakkale'de 2005 yılında oluşan katı atığın ortalama % 70,6'sının biyolojik olarak ayırışabilir organik maddeden oluştuğu belirlenmiştir (Envest, 2005).

Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği'nden alınan güncel verilerde 2010 yılı boyunca depolanan katı atığın % 44,5'inin organik maddeden oluştuğu belirtilmiştir (İ. Sevim, kişisel iletişim, ÇAKAB, 28 Mart 2011).

Envest Planners Konsorsiyumu tarafından, 2010 – 2025 yılları arasında katı atığın organik madde yüzdesinin yıllık % 5 – % 5,5 arasında azalacağı öngörülmüştür. Bu azalışın sebebi olarak kişi başına düşen milli gelirin artması ile gıda harcamalarına ayrılan payın azalacağı gösterilmiştir. Avrupa ülkelerinde gıda harcamalarının toplam harcamaların % 20'sinden az olduğu; proje alanı için ise bu değer % 27,5 olduğu belirtilmiştir (Envest, 2005).

#### **5.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depolanacak Atık Miktarının Hesabı**

Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği tarafından depolama alanının faaliyete geçirildiği 2009 yılından itibaren ambalaj atıklarının geri kazanımına yönelik bir çalışma da başlatılmıştır. Ambalaj atıklarının katı atık içerisindeki oranı, sosyo ekonomik seviye ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Örneğin; bu oran Amerika ve İrlanda'da % 50'nin üstünde, Almanya, Norveç, Finlandiya ve Yeni Zelanda'da % 33 - 50 arasında, ülkemizde ise yaklaşık % 25 civarındadır (Gönüllü, 2008). Projenin başlangıcı olan 2009 yılında Çanakkale şehrindeki geri kazanılabilir atık miktarının toplam atık miktarının % 32'si kadar olduğu belirtilmiştir (İ. Sevim, kişisel iletişim, ÇAKAB, 28 Mart 2011). Çanakkale'de 2010 yılı itibariyle başlatılan ambalaj atıklarının geri kazanılması projesi kapsamında ambalaj atıklarının % 20'si geri kazanılmıştır (İ. Sevim, kişisel iletişim, ÇAKAB, 28 Mart 2011). Gelecek yıllarda bu yüzdenin daha da artacağı ve Türkiye ortalaması olan % 35'lere (Metin ve ark., 2003) ulaşacağı düşünülmektedir. 24.06.2007 tarih ve 26562 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nde hedeflenen geri kazanım miktarları Çizelge 5.3.'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Yıllara göre ambalaj atıklarının hedeflenen geri kazanım oranları (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2007)

Yıllar	Geri kazanım hedefi, %
2009	36
2010	37
2011	38
2012	40
2013	42
2014	44
2015	48
2016	52
2017	54
2018	56
2019	58
2020	60

### **5.5. ÇAKAB Düzenli Katı Atık Depolama Alanı**

ÇAKAB düzenli depolama alanı 35 hektardır. Bu alanın 7,85 hektarlık bölümü katı atık depolama alanı olarak, geri kalan kısmı ise tesisin diğer bileşenleri (işletme binaları, sızıntı suyu arıtma tesisi) için kullanılmaktadır (Envest, 2005). Depolama işlemi için kullanılacak 7,85 hektarlık bölge 3,99; 1,61 ve 2,25 hektarlık alana sahip üç ayrı hücre olarak tasarlanmış ve her bir hücre için depolama kapasitesi hesabı yapılmıştır. Depolama kapasitesi hesabında, alanın % 7,5'lik kısmının örtü toprağı ile doldurulacağı kabul edilmiştir (Envest, 2005). Bu veriler ışığında her bir hücre için öngörülen atık depolama kapasiteleri ve hizmet süreleri Çizelge 5.4.'te gösterilmektedir. Düzenli depolama alanlarında, depolama başladıktan bir süre sonra atıkların ayrışması sonucu boşluklar oluşabilmekte ve artan katı atık yükü ile birlikte depolama alanında çökmeler olabilmektedir. Bu çökmeler genellikle depolama alanının toplam hacminin %10'u kadar olup depolama kapasitesini de aynı oranda arttırabilmektedirler (Leonard ve Floom, 2000).

Çizelge 5.4. Depolama alanı hücreleri için öngörülen depolama kapasiteleri ve kullanım süreleri (Envest, 2005)

Hücre no	Alan, ha	Depolama kapasitesi, m <sup>3</sup>	Hizmet süresi, yıl
1	3,99	481.500	6,0
2	1,61	276.300	4,3
3	2,25	543.200	9,7

### 5.6. Oluşacak Depo Gazı Miktarının Hesabı

Katı atık depolama alanlarında oluşacak depo gazı miktarı doğrudan mikroorganizma faaliyetlerine bağlı olduğundan birçok çevresel faktöre göre farklılıklar göstermektedir. Buna karşın yapılan çalışmalar sonucunda teorik olarak 1 ton katı atığın ayrışması neticesinde %55 metan içeren 40-200 m<sup>3</sup> depo gazı oluşacağı kabul edilmektedir (Themelis ve Ulloa, 2007).

Bir katı atık düzenli depolama alanı için depo gazı geri kazanım veya bertaraf projesi yapılmadan önce, mevcut ve gelecekteki potansiyel depo gazı miktarının bilinmesi gerekmektedir. Oluşacak depo gazının miktarı; depolanan atık miktarı, atığın kompozisyonu, gaz toplama sisteminin türü ve verimi gibi işletmeye yönelik faktörler ile beraber depolama alanının bulunduğu bölgenin sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi çevresel faktörlerine de bağlıdır.

Katı atık düzenli depolama alanlarında oluşacak depo gazı miktarının hesaplanmasında genel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; test kuyuları açmak ve matematiksel modeller yardımıyla projeksiyonlarda bulunmaktır (Palanathakumar, 1999). Test kuyuları açılarak bu kuyularda toplanan gaz ölçülebilmektedir. Test kuyuları belirli zamanlarda depolama alanındaki gaz üretim hızlarına dair gerçek veriler sağlamasına karşın uygulamadaki zorluklarından ötürü pahalı bir yöntemdir (Akpınar, 2006).

Matematiksel modeller yardımıyla yapılan projeksiyonlarda; düzenli depolama alanlarında hem depolama devam ederken, hem de depolama işlemi bitip alan kapatıldıktan sonra oluşacak depo gazı miktarı tahmin edilmektedir. Bu modellerin çalıştırabilmesi için genel olarak depolama süresi, depolanan atığın miktarı ve kompozisyonu gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Katı atık depolama alanlarında oluşan depo gazı miktarının belirlenmesine yönelik birçok model geliştirilmiştir. Bu çalışmada; Türkiye şartlarında en uygun sonuçları verebilecek ve literatürde sıklıkla kullanılan Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM modelleri ile ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak tahmini depo gazı miktarı hesaplanmıştır.

ÇAKAB düzenli depolama alanı 2009 yılında işletmeye alınmış olup, 20 yıl süre ile kullanılması planlanmıştır. Yapılan tahminlerin doğru olması durumunda 2029 yılı sonunda depolama alanına atık alımının sona ereceği ve depolama alanının üzerinin nihai olarak kapatılacağı beklenmektedir. Düzenli depolamanın başlangıcında katı atıkların üzerinin açık olması ve atık yüksekliğinin az olması nedeniyle boşluklarda oksijen bulunabilmektedir. Bu durum biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin aerobik şartlar altında ayrışmasına sebep olmaktadır. Depo alanı içinde oksijen azalmaya başladığında ortam anaerobikleşmekte ve depo gazı çıkışı başlamaktadır. Depo gazı çıkışı depolama başladıktan 1 ila 2 yıl içinde görülmektedir (Themelis ve Ulloa, 2006). Depolama alanına atık alımı sona erdikten sonraki yıllarda da depo gazı çıkışı devam etmektedir. Bu nedenle oluşacak tahmini depo gazı miktarı 2011 – 2059 yılları için hesaplanmıştır.

#### **5.6.1. Tabasaran – Rettenberger Modeli**

Depolama alanlarında oluşacak depo gazı miktarının hesabı için kullanılan modellerden biri Tabasaran ve Rettenberger tarafından geliştirilen matematiksel modeldir. Modelin çıkış noktası ideal gazlar kanuna göre 1 kg organik karbon tamamen gaz haline dönüştüğünde 1,868 m<sup>3</sup> gaz elde edildiği kabulüdür. Buradan yola çıkarak toplam gaz potansiyeli aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$G_n = 1,868 \cdot C_o \cdot [(0,014 \cdot T) + 0,28] \quad (5.4)$$

Burada;

$G_n$  : Depolama süresi boyunca 1 ton atık başına oluşacak toplam gaz miktarı, m<sup>3</sup>/ton

$T$  : Sıcaklık, °C (Düzenli depolama alanı içindeki ortalama sıcaklık)

$C_o$  : 1 ton atık içerisinde ayrışabilir organik karbon içeriği, kg/ton-atık

1,868 : 1 kg organik karbonun standart şartlardaki biyogaz üretim potansiyeli, m<sup>3</sup> olarak kabul edilmektedir.

Belirli bir t zamanda oluşacak metan gazı miktarının hesaplanması için, 5.4. nolu denkleme t zaman faktörü eklenmektedir. Bu durumda oluşan formül aşağıdaki hali almaktadır.

$$G_t = G_n \cdot (1 - 10^{-kt}) \quad (5.5)$$

Burada;

$G_t$  : t zamanına kadar 1 ton atık başına oluşan gaz miktarı, m<sup>3</sup>/ton

$G_n$  : Depolama süresi boyunca 1 ton atık başına oluşacak toplam gaz miktarı, m<sup>3</sup>/ton

$k$  : ayrışma sabiti, yıl<sup>-1</sup>

$t$  : zaman, yıl

olarak kabul edilmektedir.

Yukarıda verilen 5.4. ve 5.5. nolu denklemler birleştirilerek depolama alanında oluşacak depo gazı miktarı tahmin edilebilmektedir. Elde edilen denklem aşağıda gösterilmektedir.

$$G_t = 1,868 \cdot C_0 \cdot [(0,014 \cdot T) + 0,28] \cdot (1 - 10^{-kt}) \quad (5.6)$$

Burada;

$G_t$  : t zamanına kadar 1 ton başına oluşan gaz miktarı, m<sup>3</sup>/ton,

$T$  : Sıcaklık, °C ( Düzenli depolama alanı içindeki ortalama sıcaklık ),

$C_0$  : 1 ton atık içerisinde ayrışabilir organik karbon içeriği, kg/ton-atık,

$k$  : Ayrışma sabiti, yıl<sup>-1</sup>,

$t$  : Zaman, yıl,

1,868 : 1 kg organik karbonun standart şartlardaki biyogaz üretim potansiyeli, m<sup>3</sup>

olarak kabul edilmektedir.

Modelde; T sıcaklık 25-40°C arasında değişmektedir (Tabasaran ve Rettenberger, 1987).  $C_0$  1 ton atık içerisindeki organik karbon içeriği evsel atıklar için 170 – 220 kg/ton-atık arasında olup, atığın karbon içeriğine göre değişmektedir (Tabasaran – Rettenberger, 1987).  $k$  ayrışma sabitinin 0,025-0,05 yıl<sup>-1</sup> alınması önerilmektedir (Öztürk, 2010). ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı için bu değer 25-35°C arasında değiştiği ve ortalama 30°C civarında olduğu belirtilmektedir (A. Kavcar, kişisel iletişim, ÇAKAB, 5 Mart 2011).

Depolama alanlarının sıcaklığı doğrudan bölgenin iklim koşullarına bağlıdır. Bunun yanında depolama alanının üzerinin örtülmesi ya da daha sık örtü toprağı örtülmesi gibi işlemlerle depolama alanı iç sıcaklığı artabilmektedir.

Modelin doğruya yakın sonuçlar vermesinde en etkili parametre 1 ton atık içerisindeki organik karbon miktarıdır. Bu parametre depolama alanının bulunduğu bölgenin sosyo ekonomik durumundan, katı atık yönetimi stratejilerine kadar birçok faktörün etkisindedir. Sosyo ekonomik durumun daha iyi olduğu bölgelerde atığın organik karbon içeriğinin daha düşük olması beklenmektedir. Türkiye’de yapılan çalışmalarda bu değer 180–200 kg/ton-atık olarak kabul edilmektedir (Öztürk, 2010). Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında bu değer 140 kg/ton-atık olarak hesaplanmıştır (Seyfert, 2009).

k ayrışma sabiti depolama alanının iç sıcaklığıyla bağlantılıdır. Sıcaklık arttıkça k ayrışma sabiti büyümekte atığın içerisindeki organik maddelerin ayrışması için gereken süre azalmaktadır. 12–20 yıllık dolgu süresi boyunca %75 organik madde indirgenmesi için k indirgeme sabiti 0,025-0,05 arasında seçilmektedir (Erdin, 2005). Almanya’da organik maddelerin %80’inin 12 ila 15 yılda ayrıştığı kabulü ile k indirgeme sabitinin 0,035–0,04 arasında değiştiği kabul edilmektedir (Akpınar, 2006). Kahramanmaraş Belediyesi ve çevre belediyeler (MARAŞÇEBBİR) katı atık düzenli depolama alanı için hazırlanan ÇED raporunda k indirgenme sabiti  $0,03 \text{ yıl}^{-1}$  olarak kabul edilmiştir (ÇEDFEM, 2011). Orta Edirne Katı Atık Yönetim Birliği tarafından yaptırılan Orta Edirne katı atık düzenli depolama alanı için hazırlanan ÇED Raporunda ise k indirgenme sabiti  $0,035 \text{ yıl}^{-1}$  olarak kabul edilmiştir (NETÇED, 2008). Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında bölgenin iklimsel koşullarına bağlı olarak organik atıkların yarılanma ömürlerinin beş yıl olduğu hesaplanmıştır (Seyfert, 2009).

### **5.6.2. Scholl Canyon Modeli**

Birinci derece kinetik modellerden biri olan Scholl Canyon modeli, USEPA’nın LandGEM modeline temel oluşturmuş bir modeldir. Bu modelde birim zamanda depolanan atık içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilen organik madde miktarına bağlı olarak tahmini metan gazı miktarı hesaplanmaktadır. Modelde, anaerobik koşulların ve mikrobiyal popülasyonun oluşması için gerekli olan 1–2 yıllık süreden sonra biyogaz oluşumunun maksimum hızla başladığı ve herhangi bir kısıtlayıcı faktörün olmadığı kabul edilmektedir (McBean ve ark., 2007). Model matematiksel olarak denklem 5.8.’de verildiği gibidir.

$$Q=k \cdot L_0 \cdot R \cdot e^{-kt} \quad (5.7)$$

Burada;

Q : Yıllık oluşan metan gazı miktarı, m<sup>3</sup>/yıl

L<sub>0</sub> : Depolanan atıktan oluşabilecek metan miktarı, m<sup>3</sup> /ton

R : Yılda depolanan atık miktarı, ton/yıl

k : Metan oluşum hız sabiti, yıl<sup>-1</sup>

t : Depolanan atığın depolama alanında kalış süresi, yıl

olarak kabul edilmektedir.

Scholl Canyon modeli ile depolama alanında oluşacak metan gazı miktarı hesaplanabilmektedir. Modelde; depolama alanlarında oluşan depo gazının %50'sinin metan; %50'sinin karbondioksitten meydana geldiği kabul edilmektedir (Conestoga-Rovers & Associates, 2004). Depolama alanında oluşacak depo gazı miktarı hesabında; formül ile elde edilen metan gazı miktarının iki ile çarpılması gerekmektedir.

Modeldeki en önemli iki parametre; metan oluşum hız sabiti ve potansiyel metan oluşum kapasitesi değeridir. k metan oluşum hız sabiti atığın nem içeriği, besi maddesi, pH değeri ve sıcaklığına bağlı olarak değişebilmektedir. k sabiti; yağışlı bölgelerde 0,1-0,35; orta derecede yağış alan bölgelerde 0,05-0,15; kurak bölgelerde ise 0,02-0,10 aralığında alınmaktadır (USEPA, 1998). Türkiye'de yapılan çalışmalarda k değeri 0,12–0,15 değer aralığında kabul edilmektedir (Öztürk, 2010).

L<sub>0</sub> potansiyel metan oluşum kapasitesi ise depolama alanında bulunan atığın kompozisyonuna, özellikle de organik madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. L<sub>0</sub> parametresi için kullanılan tipik değer aralığı 125 – 310 m<sup>3</sup> metan/ton-atık'tır (Dünya Bankası Enerji Sektörü Yönetim Destek Programı, 2004). Türkiye'de yapılan çalışmalarda L<sub>0</sub> değeri 170–200 m<sup>3</sup> metan/ton-atık değer aralığında kabul edilmektedir (Öztürk, 2008). Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında potansiyel metan üretim kapasitesi 110 m<sup>3</sup> metan/ton-atık olarak hesaplanmıştır (Seyfert, 2009).

**5.6.3. USEPA LandGEM Modeli**

USEPA tarafından geliştirilen LandGEM modeli; sadece depolama alanlarında oluşan depo gazı miktarlarını değil, depo gazı ile birlikte oluşan diğer hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını da hesaplayabilen bir yazılımdır.

Modelde depo gazı oluşum hesabında Scholl Canyon modeli temel alınmakla beraber, Scholl Canyon modelinden farklı olarak depolama alanının atık kabulüne kapandığı yıl faktörü de etkili bir parametre olmaktadır (USEPA, 2005). Depolama alanlarına ait verilerin kolay elde edilememesi ve yetersizliği sebebiyle model karmaşık bir denklem yerine daha az parametre ile en doğru sonucu verebilecek şekilde oluşturulmuştur (USEPA, 1998). Modelde depolama alanlarında oluşan tahmini metan gazı miktarı denklem 4.7.'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (5.8)$$

Burada;

$Q_{CH_4}$ : t anındaki metan oluşum hızı, m<sup>3</sup>/yıl

$L_0$  : Potansiyel metan oluşum kapasitesi, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /ton-atık

$R$  : Depolama ömrü boyunca yıllık bertaraf edilen atık miktarı, ton/yıl

$k$  : Metan üretim hız sabiti, yıl<sup>-1</sup>

$c$  : Alan kapatıldıktan sonra geçen süre, yıl (depolama devam ediyorsa c=0)

$t$  : Depolamanın ilk başladığı yıldan itibaren geçen süre, yıl

olarak kabul edilmektedir.

Modelde, depo gazının hacimce %50'sinin karbondioksitten, %50'sinin metandan oluştuğu kabul edilmektedir (USEPA, 1998). Depolama alanında oluşan metan gazı miktarına etki eden en önemli parametreler; metan oluşum hız sabiti k ve potansiyel metan oluşum kapasitesi  $L_0$ 'dır (Öztürk, 2008).

k metan oluşum hızı sabiti ve  $L_0$  potansiyel metan gazı oluşum kapasitesi değerleri Scholl Canyon modelinde açıklandığı gibi kabul edilebilmektedir. Bununla beraber modelin uygulanacağı alana özgü k ve  $L_0$  değerleri biliniyorsa bu değerler kullanılarak da program çalıştırılabilmektedir. Alana özgü k ve  $L_0$  değerlerinin belirlenemediği durumlarda, USEPA tarafından emisyonların hesaplanması için iki farklı standart tasarlanmış ve bunun seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Bunlardan biri CAA (Clean Air Act)



yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır ve bu standartta k değeri  $0,05 \text{ yıl}^{-1}$  ve  $L_0$  değeri  $170 \text{ m}^3/\text{ton-atık}$  olarak kabul edilmiştir. AP-42 olarak adlandırılan (USEPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors) ikinci standartta ise k değeri  $0,04 \text{ yıl}^{-1}$  ve  $L_0$  değeri  $100 \text{ m}^3/\text{ton-atık}$  kabul edilmiştir (USEPA, 1998). Ancak, bu değerlerin tamamı kullanıcıya göre değiştirilebilmekte ve bunların yerine deneylerle elde edilen veriler kullanılabilir. Modelde ayrıca alanın kapanacağı yıla kadar depolanacak atık miktarı otomatik olarak hesaplanabilmekte ve kalan süreye eşit bir şekilde dağıtılabilir.

### **5.7. Depo Gazının Toplanması ve Geri Kazanılması**

ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesi planlanmaktadır. Bu nedenle; depo gazının aktif toplama sistemiyle toplanmasına ve içerisindeki metan gazının silindirli motora yakıt olarak verilmesi ile elektrik enerjisi elde edilmesine karar verilmiştir (Envest, 2005).

Düzenli depolama alanlarında oluşacak metan gazının tutulma verimi; depolama alanının üstünün kapalı olup olmamasıyla ilişkilidir. Düzenli depolama alanının üstü örtü toprağı örtülmesi veya nihai kapatma işlemleri ile atmosfere tamamen kapatıldığında, metan gazının tutulma verimi artmaktadır. Yapılan çalışmalarda; depolama alanına günlük örtü toprağının düzenli örtülmesi durumunda oluşan gazın %50-70'i tutulurken; depolama alanının üstü nihai olarak kapatıldığında bu değer %95'lere kadar çıkabildiği belirlenmiştir (Spokas ve ark., 2006).

ÇAKAB düzenli depolama alanında; başlangıçta oluşan gazın %30 oranında geri kazanılacağı ve hücrelerin nihai olarak kapatılmasına kadar bu oranın %70'lere ulaşacağı hesaplanmıştır. Gaz geri kazanım tesisinin toplam geri kazanım oranının %53 olacağı belirtilmiştir (Envest, 2005).

ÇAKAB düzenli katı atık depolama alanında oluşacak depo gazının, ilk yıllarda yakılması daha sonra ise depo gazı miktarının da artmasıyla enerji geri kazanma ünitesine aktararak elektrik enerjisine dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bu amaçla depo gazından enerji geri kazanma tesisine yatay toplama boruları ile gelen biyogaz, soğutulduktan sonra silindirli motora yakıt olarak verilecektir. Depo gazının jeneratörü harekete geçirmesiyle elektrik enerjisi elde edilecektir. Üretilen elektriğin, tesis içinde kullanılmasının planlandığı belirtilmiştir (Envest, 2005).

**BÖLÜM 6****ÖZGÜN HESAPLAMALAR**

ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak metan gazının tahminine yönelik yapılan tüm hesaplamalar bu bölümde verilmektedir. Öncelikle gelecekteki nüfus, oluşacak atık miktarı ve atığın organik madde miktarı hesaplanmıştır. Ardından metan gazı tahmininde kullanılacak modeller tanıtılmıştır. Her bir modele ait parametreler belirlenmiştir. Her bir model belirlenen parametreleri ile çalıştırılmış ve oluşacak metan gazı miktarı hesaplanmıştır. Her bir model ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

**6.1. Nüfus Hesabı**

Gelecek nüfusun hesaplanmasında; Türkiye’de kamu kullanımı niteliği taşıyan her türlü kentsel alt ve üst yapı hizmetleriyle (içme suyu, kanalizasyon, arıtma, katı atık, deniz deşarjı gibi) ilgili etüt, plan ve proje hazırlayan, bu konularda danışmanlık ve kontrollük hizmetleri veren ve söz konusu yatırımların gerçekleşmesi için kredi sağlayan bir kurum olan İller Bankası tarafından kullanılan bir projeksiyon metodu olan İller Bankası metodundan faydalanılmıştır. Ancak; Kepez beldesi için hesaplanan çoğalma katsayısı (6,76) çok büyük olduğundan, bu belde için İller Bankası metodu ile elde edilecek veriler doğru sonuç vermeyecektir. Bu nedenle, daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için Kepez beldesinin gelecekteki nüfusunun belirlenmesinde üstel fonksiyon metodu kullanılmıştır. Üstel fonksiyon metodu ile elde edilen eğilim çizgisi fonksiyonu ve korelasyon katsayısı Çizelge 6.1.’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Kepez beldesi için hesaplanan eğilim çizgisi fonksiyonu ve korelasyon katsayısı

Yerleşim yeri	Eğilim çizgisi	
	Fonksiyonu	Korelasyon katsayısı
Kepez	$Nüfus = 2 * 10^{-52} * e^{0,0641.yıl}$	0,9794

Kepez ilçesi dışındaki proje alanlarına dahil yerleşim yerleri için hesaplanan ve kabul edilen çoğalma katsayıları Çizelge 6.2.’de gösterilmektedir. ÇAKAB düzenli depolama alanı 2009 yılında işletmeye alınmış olup, 20 yıllık olarak planlanmıştır. 2009

yılından 2029 yılı sonuna kadar hesaplanan nüfus miktarları Çizelge 5.3.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2. Yerleşim yerleri için hesaplanan çoğalma katsayıları

Yerleşim yeri	Hesaplanan $\dot{C}_{ort}$	Kabul edilen $\dot{C}$
Çanakkale Merkez	3,49	3,49*
Lapseki	2,58	2,58
Umurbey	0,10	1,00
Çardak	0,71	1,00
Kumkale	0,02	1,00
İntepe	1,45	1,45

\* Hesaplanan  $\dot{C}_{ort}$  değeri 3'ten büyük olduğu halde yerleşim yerinin doyumluk değerleri göz önünde bulundurularak çoğalma katsayısı hesaplanan  $\dot{C}_{ort}$  olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.3. Proje alanı için hesaplanan gelecek nüfusları

Yıllar	Çanakkale Merkez	Lapseki	Umurbey	Çardak	Kepez	Kumkale	İntepe
2011	109.819	3.348	2.561	2.434	19.222	1.834	1.272
2012	113.652	3.435	2.587	2.458	20.495	1.853	1.291
2013	117.619	3.523	2.613	2.483	21.851	1.871	1.309
2014	121.723	3.614	2.639	2.508	23.298	1.890	1.328
2015	125.972	3.707	2.665	2.533	24.840	1.909	1.348
2016	130.368	3.803	2.692	2.558	26.485	1.928	1.367
2017	134.918	3.901	2.719	2.584	28.238	1.947	1.387
2018	139.627	4.002	2.746	2.610	30.107	1.966	1.407
2019	144.500	4.105	2.774	2.636	32.100	1.986	1.427
2020	149.543	4.211	2.801	2.662	34.225	2.006	1.448
2021	154.762	4.320	2.829	2.689	36.491	2.026	1.469
2022	160.163	4.431	2.858	2.716	38.907	2.046	1.490
2023	165.752	4.545	2.886	2.743	41.482	2.067	1.512
2024	171.537	4.663	2.915	2.770	44.228	2.087	1.534
2025	177.524	4.783	2.944	2.798	47.156	2.108	1.556
2026	183.719	4.906	2.974	2.826	50.278	2.129	1.579
2027	190.131	5.033	3.003	2.854	53.606	2.151	1.602
2028	196.767	5.163	3.033	2.883	57.155	2.172	1.625
2029	203.634	5.296	3.064	2.912	60.939	2.194	1.648

Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi projesinde Çanakkale Merkez, Lapseki ve Kepez kentsel yerleşim alanları; Çardak, Umurbey, Kumkale ve İntepe de kırsal yerleşim alanları olarak kabul edilmektedir. Buna göre kentsel ve kırsal yerleşim yerlerine ait gelecekteki toplam nüfus miktarları Çizelge 6.4. gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Kentsel ve kırsal yerleşim yerleri için hesaplanan gelecek toplam nüfus değerleri

Yıllar	Kentsel yerleşim alanları	Kırsal yerleşim alanları
2011	132.390	8.102
2012	137.581	8.189
2013	142.993	8.276
2014	148.636	8.365
2015	154.519	8.455
2016	160.656	8.545
2017	167.057	8.637
2018	173.736	8.729
2019	180.705	8.823
2020	187.979	8.918
2021	195.572	9.013
2022	203.500	9.110
2023	211.780	9.208
2024	220.428	9.307
2025	229.463	9.407
2026	238.904	9.508
2027	248.770	9.610
2028	259.085	9.713
2029	269.869	9.818

### **6.2. Katı Atık Miktarının Hesabı**

Çanakkale Katı Atık Yönetim Birliği'nden alınan güncel verilerde, 2010 yılında günde kişi başına üretilen katı atık miktarı kentsel yerleşim yerleri için 1,14 kg; kırsal yerleşim yerleri için ise 1,46 kg olarak belirtilmiştir. Bu veriler ışığında günlük kişi başına üretilen atık miktarı 2011-2029 yılları arasında kentsel yerleşim bölgeleri için yılda % 1 büyüme oranı kabul edilerek; 1,14-1,38 kg arasında dağılım yapılmıştır. Kırsal yerleşim bölgeleri için elde edilen 2010 yılı verilerine bakarak bu bölgelerde daha yüksek miktarlarda katı atık oluşumu olmayacağı düşünülerek; 2009–2029 yılları arasında kişi başına oluşacak katı atık miktarının 1,46 kg/kişi-gün olarak kabul edilmesi uygun görülmüştür.

Proje alanı için hesaplanan tahmini nüfus ve kabul edilen günlük kişi başına oluşan katı atık miktarları göz önünde bulundurularak, 2011–2029 yılları arasında oluşacak katı atık miktarları hesaplanmıştır. Kentsel yerleşim yerleri için elde edilen veriler Çizelge 5.5.'de; kırsal yerleşim yerleri için elde edilen veriler Çizelge 6.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.5. Kentsel yerleşim yerlerinde oluşacak tahmini katı atık miktarları

Yıllar	Kentsel nüfus	Atık üretimi, kg/kişi-gün	Toplam atık miktarı, kg/gün
2011	132.390	1,15	152.434
2012	137.581	1,16	159.995
2013	142.993	1,17	167.952
2014	148.636	1,19	176.325
2015	154.519	1,20	185.138
2016	160.656	1,21	194.415
2017	167.057	1,22	204.183
2018	173.736	1,23	214.469
2019	180.705	1,25	225.303
2020	187.979	1,26	236.716
2021	195.572	1,27	248.741
2022	203.500	1,28	261.413
2023	211.780	1,30	274.769
2024	220.428	1,31	288.849
2025	229.463	1,32	303.695
2026	238.904	1,34	319.352
2027	248.770	1,35	335.867
2028	259.085	1,36	353.290
2029	269.869	1,38	371.675

Çizelge 5.6. Kırsal yerleşim yerlerinde oluşacak tahmini katı atık miktarları

Yıllar	Kırsal nüfus	Atık üretimi, kg/kişi-gün	Toplam atık miktarı, kg/gün
2011	8.102	1,46	11.829
2012	8.189	1,46	11.955
2013	8.276	1,46	12.083
2014	8.365	1,46	12.213
2015	8.455	1,46	12.344
2016	8.545	1,46	12.476
2017	8.637	1,46	12.610
2018	8.729	1,46	12.745
2019	8.823	1,46	12.882
2020	8.918	1,46	13.020
2021	9.013	1,46	13.159
2022	9.110	1,46	13.301
2023	9.208	1,46	13.443
2024	9.307	1,46	13.588
2025	9.407	1,46	13.734
2026	9.508	1,46	13.881
2027	9.610	1,46	14.031
2028	9.713	1,46	14.181
2029	9.818	1,46	14.334

### 6.3. Katı Atığın Organik Madde Miktarının Hesabı

Bölüm 5'te proje alanı için 2004 yılı haziran ayında yapılan katı atık madde grubu analizi sonucunda elde edilen organik madde yüzdesi verilmiştir. Ancak; yaz ve kış dönemlerinde oluşan organik atık miktarlarının farklılık gösterebileceği düşünülmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, proje alanı için hesaplanan % 69,9 değerinin güvenilir bir değer olmadığı düşünülmektedir. Bununla beraber Türkiye için katı atığın organik madde yüzdesi 40 ila 70 arasında değişmekte olup (Turan ve ark., 2008), orta büyüklükteki şehirlerde bu yüzde 45 ila 60 arasındadır (Metin ve ark., 2003). ÇAKAB'dan alınan güncel verilerde 2010 yılı boyunca depolanan katı atığın % 44,5'inin organik maddeden oluştuğu belirtilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak 2010 yılında Çanakkale ilinde

oluşan katı atığın organik madde yüzdesinin 50 olarak kabul edilmesinin daha uygun olacağı öngörülmüştür.

Bu hesaplamalar ışığında katı atığın organik madde yüzdesi 2011-2029 yılları arasında yılda %5,5 azalma oranı kabul edilerek hesaplanmıştır.

Proje alanı için kabul edilen katı atığın organik madde yüzdesi ve yıl bazında azalma oranı göz önünde bulundurularak 2011–2029 yılları arasında oluşacak katı atığın organik madde yüzdesi ve miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 6.7.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.7. Proje alanında oluşan katı atığın tahmini organik madde yüzdesi ve miktarı

Yıllar	Toplam atık miktarı, kg/gün	Atığın organik madde yüzdesi, %	Atığın organik madde miktarı, kg/gün
2011	164.262	50	81.721
2012	171.951	50	85.118
2013	180.035	49	88.674
2014	188.537	49	92.397
2015	197.481	49	96.297
2016	206.891	49	100.381
2017	216.792	48	104.659
2018	227.214	48	109.141
2019	238.185	48	113.839
2020	249.736	48	118.763
2021	261.900	47	123.925
2022	274.713	47	129.338
2023	288.213	47	135.015
2024	302.437	47	140.970
2025	317.429	46	147.219
2026	333.233	46	153.776
2027	349.897	46	160.658
2028	367.471	46	167.884
2029	386.009	45	175.471



**6.4. ÇAKAB Düzenli Depolama Alanında Depolanacak Atık Miktarı**

Proje alanında; toplanan ambalaj atıklarının geri kazanılması, geriye kalan atıkların ise depolanması planlanmıştır. Projenin başlangıcı olan 2009 yılında proje alanındaki geri kazanılabilir atık miktarının, toplam atık miktarının % 32'si kadar olduğu belirtilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, 2009 yılında toplam atıktaki ambalaj atığı yüzdesi 32 olarak kabul edilerek 2029 yılına kadar proje alanında oluşacak ambalaj atıklarının miktarının yılda % 1,2 oranında artacağı öngörülmüştür (Envest, 2005). 2009–2029 yılları arasında katı atığın içerisinde bulunan ambalaj atıklarının yüzdesi ve miktarları Çizelge 6.8.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.8. 2009–2029 yılları arasında proje alanında toplam katı atık içerisinde bulunan ambalaj atıklarının tahmini yüzdeleri ve miktarları

Yıllar	Toplam atık miktarı, kg/gün	Toplam atıktaki ambalaj yüzdesi, %	Toplam atıktaki ambalaj miktarı, kg/gün
2009	162.200	32	51.904
2010	159.120	32	50.918
2011	164.262	32	52.564
2012	171.951	32	55.685
2013	180.035	33	59.002
2014	188.537	33	62.530
2015	197.481	34	66.282
2016	206.891	34	70.274
2017	216.792	34	74.521
2018	227.214	35	79.040
2019	238.185	35	83.851
2020	249.736	36	88.972
2021	261.900	36	94.426
2022	274.713	36	100.234
2023	288.213	37	106.421
2024	302.437	37	113.014
2025	317.429	38	120.039
2026	333.233	38	127.528
2027	349.897	39	135.512
2028	367.471	39	144.026
2029	386.009	40	153.107

2010 yılı itibariyle başlatılan ambalaj atıklarının geri kazanılması projesi kapsamında ambalaj atıklarının % 20'si geri kazanılmıştır. Gelecek yıllarda geri kazanılan ambalaj atık miktarının artırılması planlanmaktadır. Proje alanındaki ambalaj atıklarının geri kazanım yüzdeleri 2009–2029 yılları arası için % 20-50 arasında kabul edilerek dağılımı yapılmıştır. Bu veriler ışığında 2009–2029 yılları arasında geri kazanılacak tahmini ambalaj atıkları miktarı Çizelge 6.9.'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. 2009–2029 yılları arasında proje alanında geri kazanılacak tahmini ambalaj atıkları miktarı

Yıl	Toplam atıktaki ambalaj atığı miktarı, kg/gün	Geri kazanım yüzdeleri, %	Geri kazanılan ambalaj atığı miktarı, kg/gün
2009	51.904	20	10.381
2010	50.918	21	10.662
2011	52.564	22	11.524
2012	55.685	23	12.782
2013	59.002	24	14.180
2014	62.530	25	15.734
2015	66.282	26	17.463
2016	70.274	28	19.384
2017	74.521	29	21.522
2018	79.040	30	23.900
2019	83.851	32	26.546
2020	88.972	33	29.492
2021	94.426	35	32.770
2022	100.234	36	36.421
2023	106.421	38	40.487
2024	113.014	40	45.015
2025	120.039	42	50.061
2026	127.528	44	55.684
2027	135.512	46	61.951
2028	144.026	48	68.938
2029	153.107	50	76.729

Toplam atık miktarından geri kazanılan ambalaj atığı miktarı çıkartıldığında toplam depolanan katı atık miktarlarına ulaşılabilir. Katı atıklar düzenli depolama alanına geldiklerinde birim hacim ağırlıkları genel olarak 0,3–0,7 ton/m<sup>3</sup> civarındadır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002). Bu değer katı atık içerisindeki nem oranına; plastik, kül gibi diğer atık miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Türkiye için düzenli depolama alanlarında gerekli sıkıştırma işlemlerinden sonra katı atığın birim hacim ağırlığı 0,75 ila 1 ton/m<sup>3</sup> arasında değişebilmektedir (Öztürk, 2008). ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanında depolanan katı atıkların birim hacim ağırlıkları sıkıştırma işlemlerinden

sonra 0,85 ton/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında Çizelge 6.10.'da 2009–2029 yılları arasında düzenli depolama alanında depolanacak tahmini katı atık miktarları ve hacimleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.10. 2009–2029 yılları arasında proje alanında depolanacak tahmini katı atık miktarları

Yıl	Toplam katı atık miktarı, ton/yıl	Geri kazanılan ambalaj atığı miktarı, ton/yıl	Depolanan katı atık miktarı, ton/yıl	Depolanan katı atık miktarı, m <sup>3</sup> /yıl
2009	24.740	3.789	20.951	24.648
2010	58.079	3.892	54.187	63.749
2011	59.956	4.206	55.749	65.588
2012	62.762	4.665	58.097	68.349
2013	65.713	5.176	60.537	71.220
2014	68.816	5.743	63.073	74.204
2015	72.081	6.374	65.707	77.302
2016	75.515	7.075	68.440	80.517
2017	79.129	7.855	71.274	83.851
2018	82.933	8.724	74.210	87.305
2019	86.937	9.689	77.248	90.880
2020	91.154	10.764	80.389	94.575
2021	95.594	11.961	83.632	98.391
2022	100.270	13.294	86.977	102.326
2023	105.198	14.778	90.420	106.376
2024	110.390	16.431	93.959	110.540
2025	115.862	18.272	97.589	114.811
2026	121.630	20.325	101.306	119.183
2027	127.713	22.612	105.100	123.647
2028	134.127	25.162	108.965	128.194
2029	140.893	28.006	112.887	132.808

ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanına atık depolanması 2009 yılında birinci hücre ile başlamıştır. Birinci hücre dolduğunda sırası ile ikinci ve üçüncü hücre devreye sokulacaktır (Envest, 2005). Her bir hücrenin katı atık depolama kapasiteleri Bölüm 5'te

verilmiştir. Buna ilaveten, depolama alanında atıkların ayrışması sonucu boşluklar oluşacağı ve bu boşlukların çökmelere sebep olacağı düşünülmektedir. Bu çökmeler sonucunda her bir hücrenin katı atık depolama kapasitesinin % 10 oranında artacağı kabul edilmiştir. Hücrelerin depolama kapasiteleri ve hesaplanan depolanacak katı atık miktarları göz önüne alındığında; birinci hücrenin 7,05 yılı; ikinci hücrenin 3,55 yıl ve üçüncü hücrenin 5,65 yıl hizmet verebileceği ve 2026 yılının başlarında düzenli depolama alanının tamamen dolacağı hesaplanmıştır. Her bir hücrenin hizmet yılı ve depolanacak toplam katı atık miktarları Çizelge 6.11.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.11. Her bir hücre için hesaplanan depolanacak katı atık miktarı ve hizmet yılı

Hücre no	Hizmet yılı	Depolanacak atık miktarı, ton	Depolanacak atık miktarı, m <sup>3</sup>
1	2009 - 2017	450.203	529.651
2	2017 - 2020	258.341	303.931
3	2020 - 2026	507.892	597.520

### **6.5. Oluşacak Metan Gazı Miktarının Hesabı**

Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi projesi kapsamında projelendirilen ve çalıştırılan katı atık düzenli depolama alanında oluşacak tahmini metan gazı miktarının hesabında Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM matematiksel modelleri kullanılmıştır.

ÇAKAB düzenli depolama alanına atık kabulü 2009 yılında başlamıştır ve 20 yıl süresince devam etmesi planlanmıştır (Envest, 2005). Ancak; yapılan hesaplar sonucunda depolamanın 17 yıl sürebileceği ve 2026 yılı sonunda depolama alanının dolacağı tespit edilmiştir. Düzenli depo alanlarında depo gazı çıkışı anaerobik şartlarda meydana gelmektedir. Depo gövdesinin anaerobikleşmesi depolama başladıktan 1 ila 2 yıl sonrasında meydana gelmektedir. Bununla beraber atık kabulünün duracağı 2026 yılından sonraki yıllarda da depolama alanından çok yüksek metan gazı çıkışı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle depolama alanında oluşacak tahmini metan gazı miktarı hesabı 2011 – 2059 yılları arasında yapılmıştır.

**6.5.1. Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Metan Gazı Hesabı**

Bölüm 4.'te detaylı olarak anlatılan Tabasaran–Rettenberger modeli ile ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanında oluşacak metan gazı miktarının belirlenmesinde kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 6.12.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.12. Tabasaran–Rettenberger modeli için kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer aralığı	Kabul edilen değer
C <sub>o</sub>	170 - 220 kg/ton-atık	180 kg/ton-atık
T	25 - 40 °C	35 °C
k	0,025 - 0,05 yıl <sup>-1</sup>	0,035 yıl <sup>-1</sup>

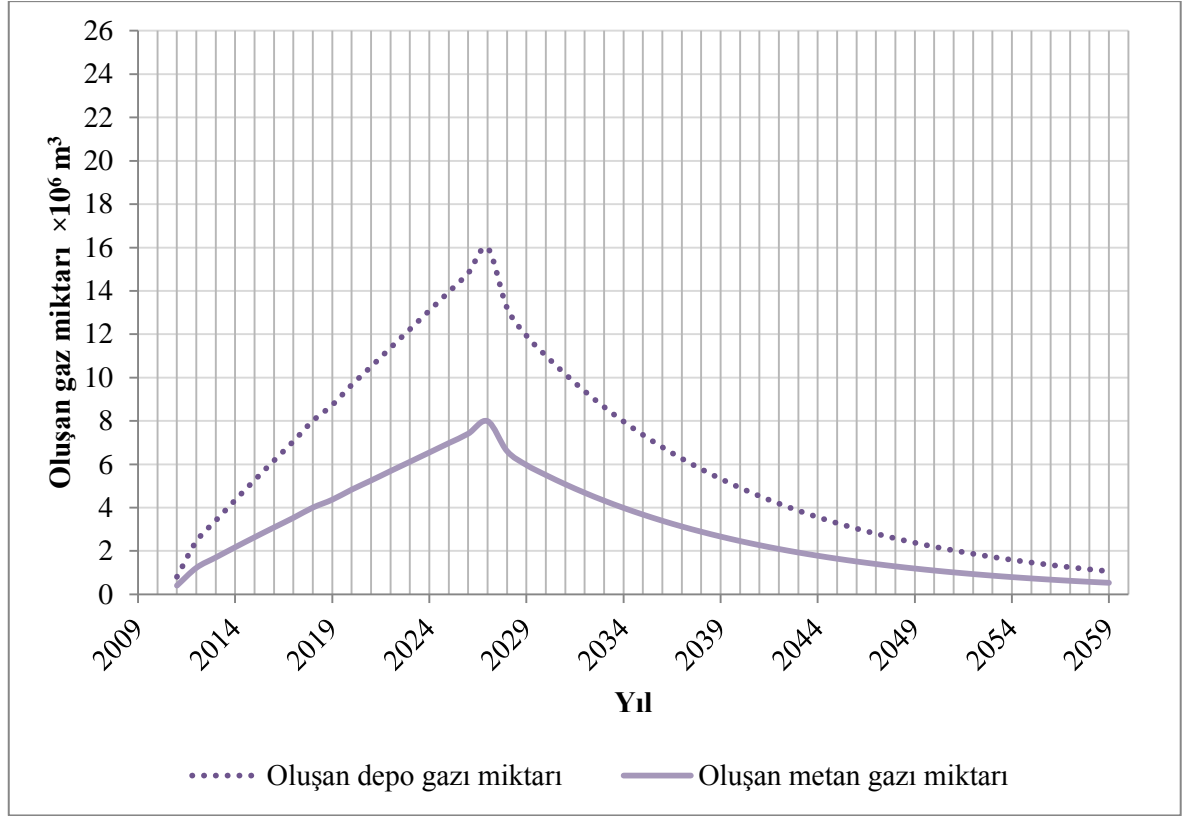
Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında bir ton atık içerisinde 140 kg organik karbon bulunduğu belirlenmiştir (Seyfert, 2009). ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı için ise henüz böyle bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle eski depolama alanı için yapılan çalışma sonucu ve Türkiye genelinde kabul edilen değerler göz önünde bulundurularak C<sub>o</sub>; bir ton atık içerisinde bulunan organik karbon miktarı, 180 kg/ton-atık olarak kabul edilmiştir.

ÇAKAB düzenli depolama alanı iç sıcaklığı ortalama 35 °C olarak kabul edilmiştir.

Türkiye genelinde indirgenme sabiti k değeri 0,03–0,035 yıl<sup>-1</sup> olarak kabul edilmektedir (Öztürk, 2010). ÇAKAB düzenli depolama alanı için bu değer 0,035 yıl<sup>-1</sup> olarak kabul edilmiştir.

Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında oluşan depo gazının % 50'sinin metan gazı olduğu ölçülmüştür (Seyfert, 2009).

Mevcut veriler ışığında, Tabasaran–Rettenberger modeli kullanılarak ÇAKAB düzenli depolama alanı için 2011 –2059 yılları arasında oluşacak tahmini depo gazı ve metan gazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Tabasaran–Rettenberger modeli ile hesaplanan depo gazı ve metan gazı miktarları.

Tabasaran-Rettenberger modeli ile yapılan depo gazı ve metan gazı miktarı hesabında; 1. hücreden  $56.828.281 \text{ m}^3$ , 2. hücreden  $32.567.765 \text{ m}^3$  ve 3. hücreden  $62.269.864 \text{ m}^3$  olmak üzere 50 yıl boyunca toplamda  $151.665.810 \text{ m}^3$  metan gazı çıkışı olacağı tahmin edilmektedir. En yüksek metan gazı çıkışının  $700 \text{ m}^3/\text{saat}$  ile 2027 yılında gerçekleşeceği belirlenmiştir.

### 6.5.2. Scholl Canyon Modeli ile Metan Gazı Hesabı

Bölüm 4.'te detaylı olarak anlatılan Scholl Canyon modeli ile ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanında oluşacak tahmini metan gazı miktarı hesabında kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 6.13.'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.13. Scholl Canyon modeli için kullanılan parametreler ve değerleri

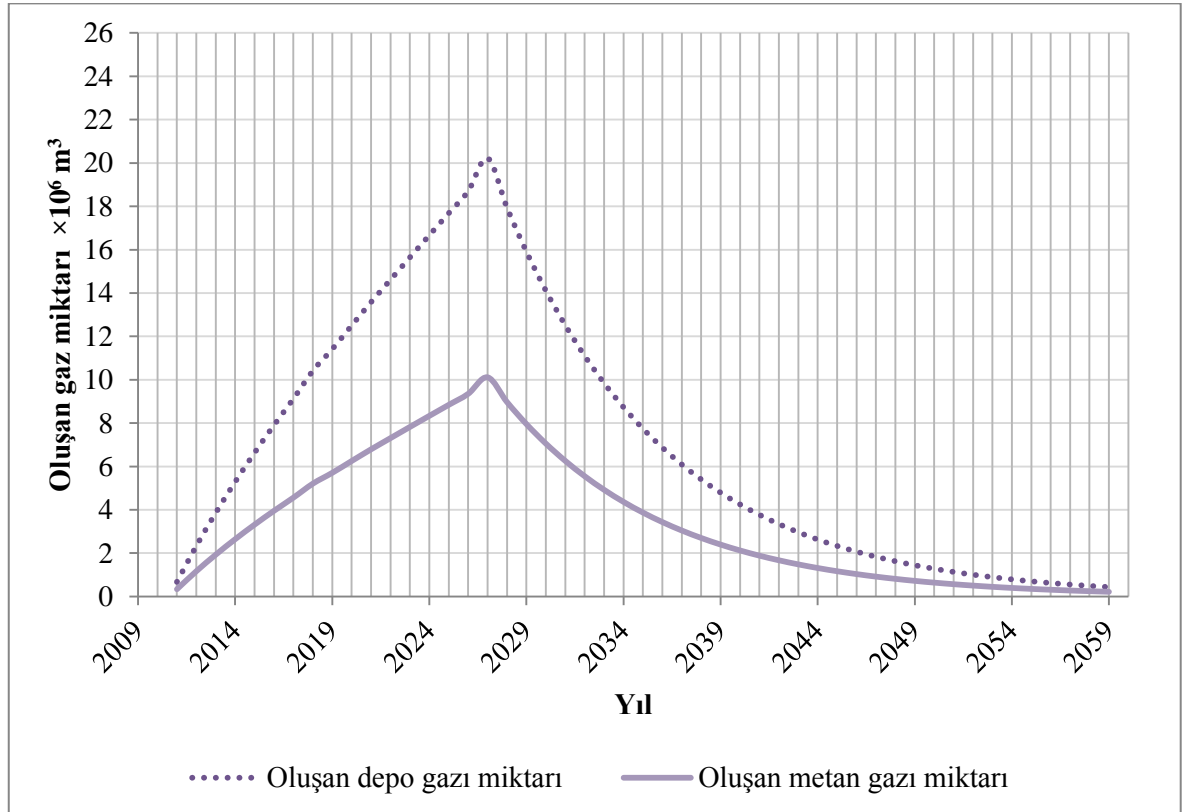
Parametre	Değer aralığı	Kabul edilen değer
$L_0$	$125- 310 \text{ m}^3/\text{ton-atık}$	$170 \text{ m}^3/\text{ton-atık}$
$k$	$0,02- 0,35 \text{ yıl}^{-1}$	$0,12 \text{ yıl}^{-1}$

Çanakkale şehri 1970–2010 yılları arasındaki toplam yıllık ortalama yağış miktarı 598 mm ile orta yağış alan bir bölgedir (DMİ, 2011). Türkiye genelinde yapılan çalışmalar ve yıllık ortalama yağış miktarları göz önünde bulundurularak k gaz oluşum hızı sabiti  $0,12 \text{ yıl}^{-1}$  olarak kabul edilmiştir.

Çanakkale Kuruçeşme depolama alanı için yapılan tahmini depo gazı miktarı hesabında potansiyel metan oluşum kapasitesi  $110 \text{ m}^3$  metan/ton-atık olarak hesaplanmıştır (Seyfert, 2009). Türkiye’de yapılan çalışmalarda  $L_0$  değeri  $170 - 200 \text{ m}^3$  metan/ton-atık değer aralığında kabul edilmektedir (Öztürk, 2008). Bu veriler göz önünde bulundurularak  $L_0$  potansiyel metan oluşum kapasitesi  $170 \text{ m}^3$ /ton-atık olarak kabul edilmiştir.

ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak depo gazının % 50’sinin metan gazı olacağı kabul edilmiştir.

Mevcut veriler ışığında, Scholl Canyon modeli kullanılarak ÇAKAB düzenli depolama alanı için 2011–2059 yılları arasında oluşacak tahmini depo gazı ve metan gazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Scholl Canyon modeli ile hesaplanan depo gazı ve metan gazı miktarları.

Scholl Canyon modeli ile yapılan depo gazı ve metan gazı miktarı hesabında; 1. hücreden  $63.653.158 \text{ m}^3$ , 2. hücreden  $36.851.564 \text{ m}^3$  ve 3. hücreden  $71.238.524 \text{ m}^3$



olmak üzere 50 yıl boyunca toplamda 171.743.247 m<sup>3</sup> metan gazı çıkışı olacağı tahmin edilmektedir. En yüksek metan gazı çıkışının 900 m<sup>3</sup> ile 2027 yılında gerçekleşeceği belirlenmiştir.

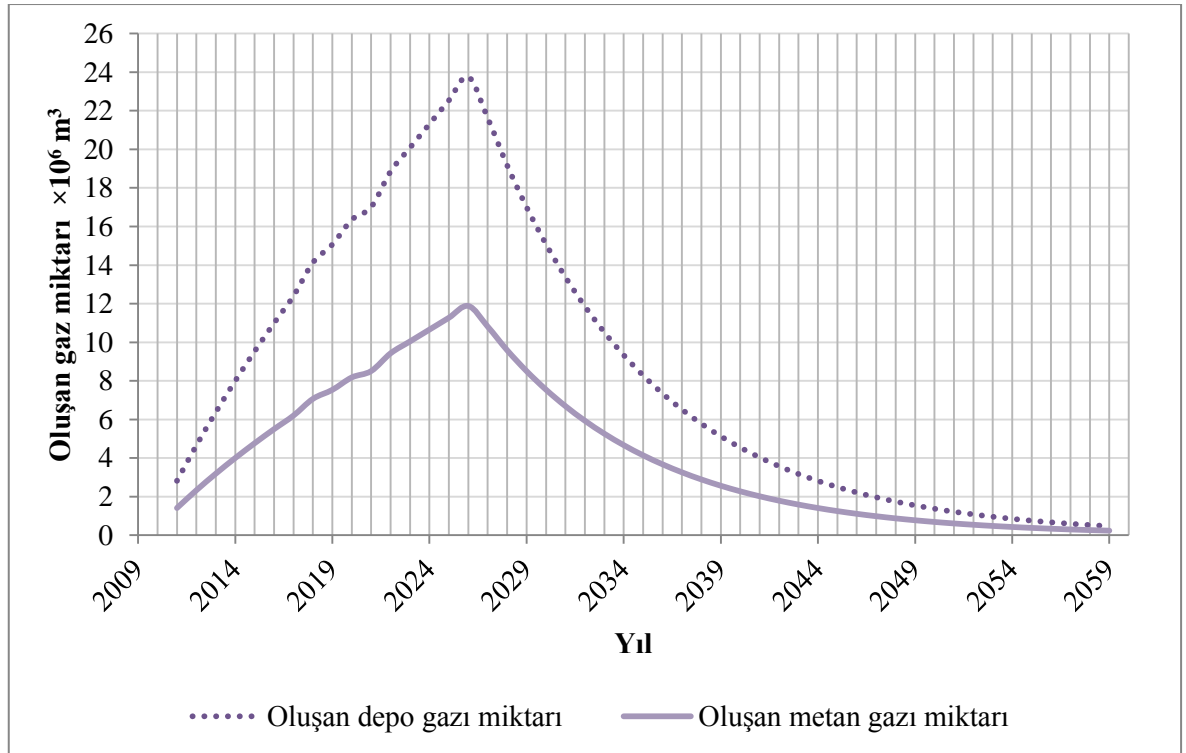
### 6.5.3. USEPA LandGEM Modeli ile Metan Gazı Hesabı

Bölüm 5.'te detaylı olarak anlatılan USEPA LandGEM modeli ile ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanında oluşacak tahmini metan gazı miktarı hesabında, Scholl Canyon modelinde kullanılan parametreler aynen kabul edilmiştir.

Çizelge 6.14. USEPA LandGEM modeli için kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer aralığı	Kabul edilen değer
L <sub>0</sub>	125- 310 m <sup>3</sup> /ton-atık	170 m <sup>3</sup> /ton-atık
k	0,02- 0,35 yıl <sup>-1</sup>	0,12 yıl <sup>-1</sup>

Mevcut veriler ışığında, USEPA LandGEM modeli kullanılarak ÇAKAB düzenli depolama alanı için 2011–2059 yılları arasında oluşacak tahmini depo gazı ve metan gazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 6.3'de gösterilmiştir.

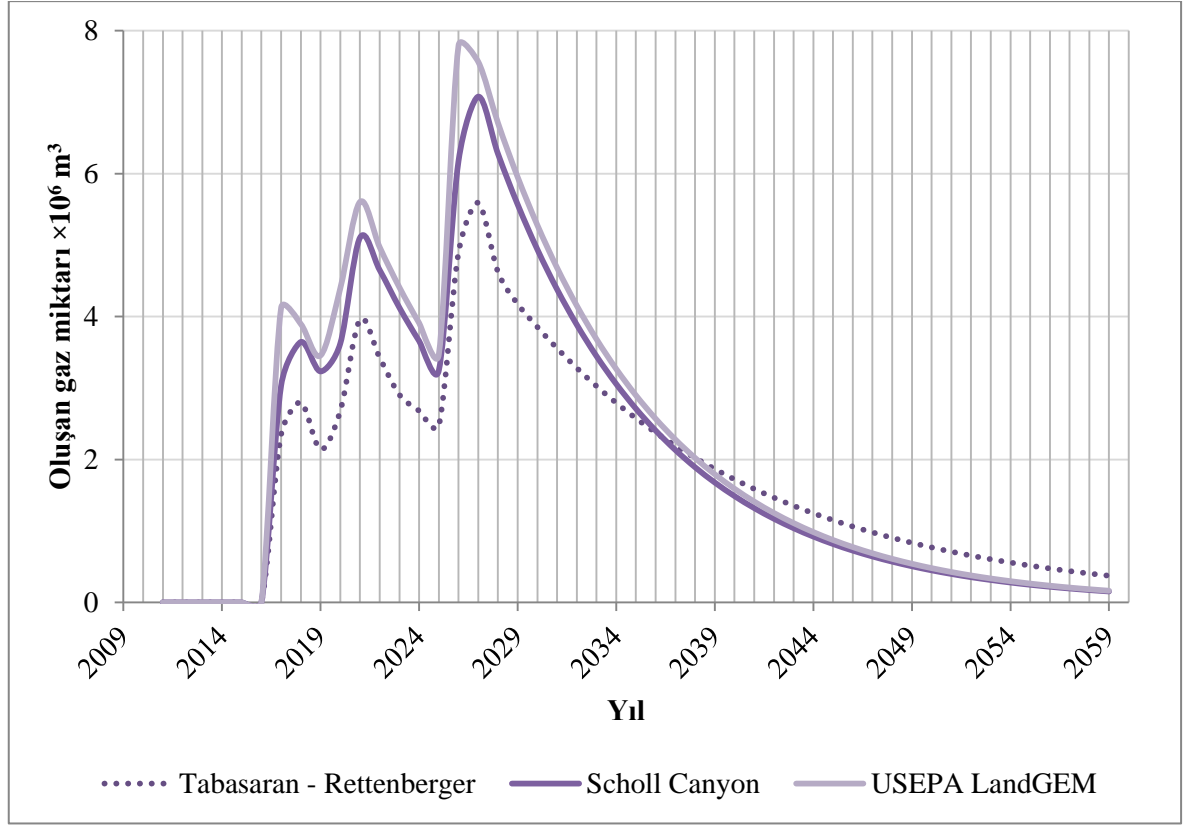


Şekil 6.3. EPA LandGEM modeli ile hesaplanan depo gazı ve metan gazı miktarları.

USEPA - LandGEM modeli ile yapılan depo gazı ve metan gazı miktarı hesabında; 1. hücreden 76.270.795 m<sup>3</sup>, 2. hücreden 42.532.046 m<sup>3</sup> ve 3. hücreden 84.896.537 m<sup>3</sup> olmak üzere 50 yıl boyunca toplamda 203.699.377 m<sup>3</sup> metan gazı çıkışı olacağı tahmin edilmektedir. En yüksek metan gazı çıkışının 1100 m<sup>3</sup> ile 2026 yılında gerçekleşeceği belirlenmiştir.

#### **6.6. Geri Kazanılacak Metan Gazı Miktarı**

Düzenli depolama alanının üstü örtü toprağı örtüldüğünde veya nihai kapatma işlemleri ile atmosfere tamamen kapatıldığında, metan gazının tutulma verimi artmaktadır. Bu durum, geri kazanılacak metan gazı miktarını arttırmaktadır. ÇAKAB düzenli depolama alanında; başlangıçta oluşan gazın % 30 oranında geri kazanılacağı ve hücrelerin nihai olarak kapatılmasına kadar bu oranın % 70'lere ulaşacağı hesaplanmıştır. Gaz geri kazanım tesisinin toplam geri kazanım oranının % 53 olacağı belirtilmiştir (Envest, 2005). Düzenli depolama alanında; gaz toplama sisteminin, hücreler tamamen dolduktan ve üstleri nihai olarak kapatıldıktan sonra inşa edileceği bilinmektedir. Bu nedenle atık kabulünün devam ettiği süre boyunca oluşan depo gazı tutulamayacak ve doğrudan atmosfere yayılacaktır. Buna karşın, düzenli depolama alanının üstü nihai olarak kapatıldıktan sonra, metan gazının toplanma verimi artacaktır. Bu veriler ışığında; metan gazının, 1. hücreden 2017; 2. hücreden 2020 ve 3. hücreden 2026 yılından itibaren % 70 verimle toplanacağı kabul edilmiştir. Tabasaran – Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM modelleri ile elde edilen tahmini oluşacak metan gazı miktarları kullanılarak ÇAKAB düzenli depolama alanı için 2011–2059 yılları arasında geri kazanılacak tahmini metan gazı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Her bir model ile hesaplanan geri kazanılacak metan gazı miktarları.

ÇAKAB düzenli depolama alanında, metan gazının toplanması için gerekli olan gaz toplama bacaları, hücreler tamamen dolduktan sonra inşa edileceği için 1. hücrenin dolacağı 2017 yılına kadar oluşacak metan gazı toplanamayacak, doğrudan atmosfere yayılacaktır. 1. hücre dolduktan sonra kullanıma açılacak olan 2. hücre için de aynı durumlar söz konusudur. Atık kabulünün bittiği 2020 yılının sonuna doğru metan gazının toplanmasına başlanabilecektir. 2. Hücre dolduktan sonra faaliyete geçirilecek olan 3. hücreden de 2026 yılının başında metan gazının toplanmasına başlanabilecektir. Bu verilere bağlı olarak; 2011 – 2059 yılları arasında toplamda ortalama 101.196.308 m<sup>3</sup> metan gazının geri kazanılacağı tahmin edilmektedir. Gaz toplama bacalarının, depolama başlamadan önce değil de depolama bittikten sonra inşa edilmesinden dolayı ortalama 31.015.642 m<sup>3</sup> metan gazının toplanamayacağı ve doğrudan atmosfere yayılacağı hesaplanmıştır.

### 6.7. Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak tahmini depo gazı ve metan gazı miktarının tespiti için Tabasaran–Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM

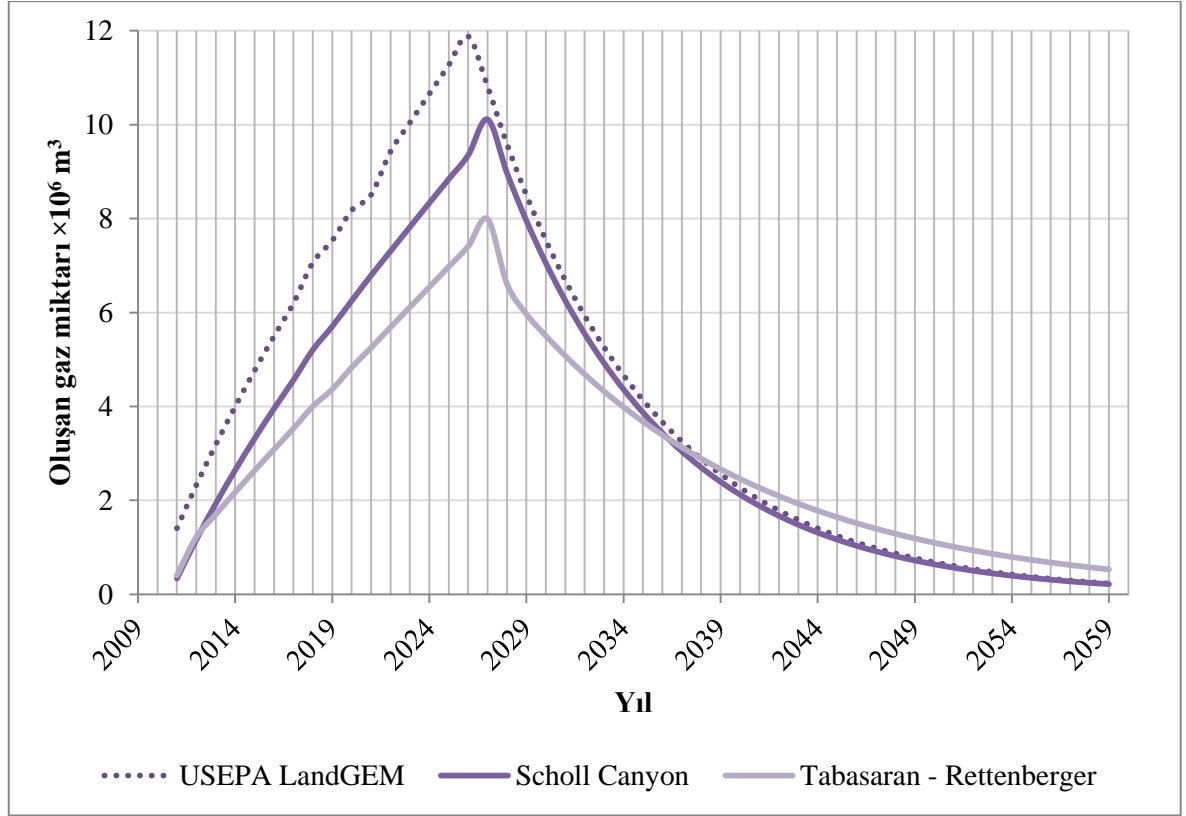
modelleri uygun parametre değerleri ile çalıştırılmıştır. Modellerin çalıştırılması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 6.15.'de toplu olarak gösterilmektedir.

Çizelge 6.15. Model sonuçlarının karşılaştırılması

Modeller	Tabasaran - Rettenberger	Scholl Canyon	USEPA LandGEM
Toplam metan gazı miktarı, m <sup>3</sup>	151.665.810	171.743.247	203.699.377
Maksimum metan gazı çıkış yılı	2027	2027	2026
Maksimum metan gazı miktarı, m <sup>3</sup> /saat	902	1104	1256
Ortalama metan gazı miktarı, m <sup>3</sup> /saat	295	370	422
Metan oluşum hızı, m <sup>3</sup> /ton	125	140	168

Mevcut veriler ışığında, uygun parametreler ile çalıştırılan üç model ile elde edilen ÇAKAB düzenli depolama alanı için 2011–2059 yılları arasında oluşacak tahmini metan gazı miktarları aynı grafik üzerinde Şekil 6.5'te toplu halde gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi; modeller ile elde edilen sonuçlar arasında benzerlik vardır. Bununla beraber oluşacak metan gazı miktarında en yüksek tahmin USEPA LandGEM modeli ile, en düşük tahmin ise Tabasaran–Rettenberger modeli ile elde edilmiştir.

Ülkemizde İstanbul şehri için yapılmış bir çalışmada; İstanbul Odayeri düzenli depolama alanından alınan gerçek veriler sonucunda, metan oluşum hızı 100 m<sup>3</sup>/ton-atık olarak belirlenmiştir (Bilgili, 2002). Bununla beraber, katı atık içeriği ve iklimsel koşulları ile Çanakkale'ye benzerlik gösteren değişik depolama alanlarında yapılan çalışmalarda metan oluşum hızının 100–130 m<sup>3</sup>/ton-atık arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak; üç model arasında Çanakkale için en doğru sonucu verebilecek modelin 125 m<sup>3</sup>/ton-atık metan oluşum hızı değeri ile Tabasaran–Rettenberger modeli olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 6.5. Her bir model ile hesaplanan metan gazı miktarları.

### 6.8. Geri Kazanılabilir Metan Gazının Enerji Potansiyeli

ÇAKAB düzenli katı atık depolama alanında oluşacak depo gazının, ilk yıllarda yakılmasına daha sonra ise depo gazı miktarının da artmasıyla enerji geri kazanma ünitesine aktarılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi planlanmaktadır (Envest, 2005).

ÇAKAB düzenli katı atık depolama alanı için en uygun model olarak belirlenen Tabasaran – Rettenberger modeli ile geri kazanılacak metan oluşum hızı; 2017 – 2040 yılları arasında ortalama 206 m<sup>3</sup>/saat, 2041 – 2059 yılları arasında 94 m<sup>3</sup>/saat olarak hesaplanmıştır. Literatürde; metan gazının kalorifik değeri 15–35 Mj/m<sup>3</sup> olarak belirtilmektedir (Yedla ve Parikh, 2002). ÇAKAB düzenli depolama alanında oluşacak metan gazının kalorifik değerinin 25 Mj/m<sup>3</sup> olacağı ve enerji üretimi için kullanılacak motorun 14 Mj metan gazından 1 kilowatt elektrik enerjisi üretebileceği kabulü ile (Öztürk, 2008); 2017 – 2040 yılları arasında ortalama 3.222 MWh, 2041 – 2059 yılları arasında 1.982 MWh elektrik enerjisi elde edilebileceği düşünülmektedir.

**BÖLÜM 7****SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Ülkemizin, artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün çoğalan enerji talebinin yaklaşık % 70'i önemli çevre kirliliğine neden olan fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Artan enerji talebinin yanı sıra, tüketim maddelerinin çeşitliliği ve alışkanlıkların değişmesi ile birlikte ciddi bir katı atık sorunu ortaya çıkmıştır. Bir yandan insan ve çevre sağlığına olumsuz etki yaratmadan bertaraf edilmesi gereken bu atıklar, diğer yandan önemli bir ekonomik değere sahiptirler. Katı atıkların anaerobik ayrışması sonucu oluşan biyogaz yüksek enerji potansiyeli ile katı atıklardan elde edilebilecek en değerli ürünlerdir biridir.

Katı atık düzenli depolama alanlarında oluşan biyogazın yaklaşık % 50'sini oluşturan metan gazı önemli bir enerji kaynağı olmakla beraber; doğrudan atmosfere yayılması durumunda, küresel ısınmaya etkisi karbondioksit oranla 25 kat daha fazladır. Bu nedenle, katı atıklardan enerji elde edilmesi sadece biyoenerji uygulaması değildir. Aynı zamanda oluşan gazın, doğrudan atmosfere yayılması engellenerek, insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi en aza indirilebilmektedir.

Düzenli depolama alanlarında oluşan metan gazının miktarını etkileyen en önemli parametre; atığın biyolojik olarak ayrışabilir organik madde miktarıdır. Bunun yanında depolama alanının iç sıcaklığı, nem muhtevası ve üstünün örtülü olup olmadığı da oluşacak metan gazı miktarını etkilemektedir. Depolama alanlarında oluşacak metan gazı miktarının tahminde kullanılan modeller de bu parametreler üzerine kurulmuştur. Modellerde kullanılan parametreler gerçeğe ne kadar yakın olursa; model uygulamaları ile elde edilen sonuçlar da o derece doğru olmaktadır.

Çanakkale'de oluşan katı atığın biyolojik olarak ayrışabilen organik madde miktarı yüksektir. Bununla beraber Çanakkale; orta dereceli yağış alan, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bir şehirdir. Bu veriler ışığında, ÇAKAB düzenli depolama alanının metan gazından enerji elde edilmesi uygulaması için uygun olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında; 2009–2029 yılları arasında, ÇAKAB düzenli katı atık depolama alanında oluşacak metan gazı potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaç ile proje alanında 2009 – 2029 yılları arasında oluşacak katı atık miktarı hesaplanmıştır. Bu hesabın doğru yapılabilmesi için geçmiş yıllara ait sağlıklı bilgiler olması gerekmektedir. Ülkemizde şimdiye kadar yapılmış kapsamlı bir katı atık envanteri olmadığından geçmiş

yıllara ait verilere ulaşılamamaktadır. Bu nedenle; Envest Konsorsiyumu tarafından projenin fizibilite aşamasında katı atık miktarı ve kompozisyonu ile ilgili kısa süreli örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Ancak; örnekleme çalışmalarıyla elde edilen veriler ile proje başladıktan sonra ÇAKAB'dan alınan gerçek tartım verileri arasında ciddi farklılıklar olduğu görülmüştür. Katı atık miktarı hesabında; daha güncel ve gerçeğe yakın olduğu düşüncesiyle tartım sonuçları ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; 2009–2029 yılları arasında, proje alanında oluşacak katı atık miktarı 1.865.942 ton; organik atık miktarı 833.801 ton, geri kazanılacak atık miktarı 235.246 ton ve depolanacak atık miktarı 1.630.696 ton olarak belirlenmiştir. Depolama sırasında gerçekleştirilen sıkıştırma işlemi sonunda, katı atığın birim hacim ağırlığının 0,85 ton/m<sup>3</sup> olacağı kabulüyle; toplam depolanacak atığın hacmi 1.918.466 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere; ÇAKAB düzenli depolama alanı, kapasiteleri sırasıyla 481.500 m<sup>3</sup>, 276.300 m<sup>3</sup> ve 543.200 m<sup>3</sup> olan üç ayrı hücreden oluşmaktadır. Düzenli depolama alanlarında; depolama süresince, atıkların ayrışması ile oluşan boşluklar ve meydana gelen çökmeler sonucunda depolama kapasitesinin % 10 oranında artacağı kabul edilmiştir. Bu veriler ışığında yapılan hesaplamalar ile düzenli depolama alanının faaliyet ömrü; 1. hücre 7,05 yıl, 2. hücre 3,55 yıl ve 3. hücre 5,65 yıl olmak üzere toplamda 16 yıl 4 ay olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Ağustos 2009'da faaliyete açılan depolama alanının, toplamda 1.216.436 ton katı atık depolanarak, Nisan 2026'da kapasitesinin dolacağı belirlenmiştir. Projenin başlangıcında, 2029 yılı sonuna kadar kullanılması planlanan ÇAKAB düzenli depolama alanının, öngörülen kullanım süresinden 3 yıl önce dolacağı hesaplanmıştır. Bu durumda; depolama alanının kullanım ömrünün arttırılması için, geri kazanım faaliyetlerine ağırlık verilerek; depolanacak atık miktarının azaltılması önerilmektedir. Geri kazanım faaliyetlerinin yeterli ölçüde arttırılamaması durumunda; depolama alanında katı atıkların daha iyi sıkışması sağlanarak; birim hacim ağırlığının arttırılabileceği ve böylece katı atığın kapladığı hacmin azaltılarak, daha fazla atığın depolanabileceği düşünülmektedir. Tedbirlerin alınmaması durumunda, 2020'li yılların başlarında yeni bir depolama alanının yapımı ile ilgili çalışmaların başlatılması gerekmektedir.

Depolama alanında depolanacak katı atık miktarı hesaplandıktan sonra; 2009–2059 yılları arasında oluşacak tahmini metan gazı miktarı belirlenmiştir. Oluşacak metan gazı miktarının tahmininde; Tabasaran–Rettenberger, Scholl Canyon ve USEPA LandGEM matematiksel yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler ışığında; düzenli depolama alanında, 50 yıllık süreç boyunca, ton başına oluşacak metan gazı miktarı; Tabasaran–

Rettenberger modeli ile 125 m<sup>3</sup>, Scholl Canyon modeli ile 140 m<sup>3</sup> ve USEPA LandGEM modeli ile 168 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Literatürde ton atık başına oluşan metan gazı miktarı 6,2–270 m<sup>3</sup> metan/ton-atık aralığında kabul edilmektedir (USEPA, 2008). Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz metan oluşum potansiyelleri, literatürde kabul edilen değer aralığındadır. Bununla beraber; literatürde yapılan çalışmalarda, atık bileşimi ve iklimsel şartları Çanakkale'ye benzerlik gösteren depolama alanlarında metan oluşum hızının 100–130 m<sup>3</sup>/ton-atık arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak; üç model arasında ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı için en doğru sonucu verebilecek model olarak 125 m<sup>3</sup>/ton-atık metan oluşum hızı değeri ile Tabasaran–Rettenberger modeli seçilmiş ve bundan sonra yapılan hesaplarda bu model ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Ancak; yine de oluşacak metan gazı miktarının daha sağlıklı olabilmesi için; deneysel çalışmalar sonucu depolama alanına özgü model parametrelerinin belirlenmesi ve kullanılması önerilmektedir.

ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanında; metan gazı toplama sisteminin, hücreler tamamen dolduktan sonra inşa edileceği bilinmektedir. Buna bağlı olarak; 1. hücrede depolama başladıktan sonra, ilk sekiz yıl; 2. hücrede ilk iki yıl ve 3. hücrede ilk beş yıl oluşacak metan gazı toplanamayacak ve doğrudan atmosfere yayılacaktır. Hücreler dolduktan ve gaz toplama sistemleri inşa edildikten sonra oluşacak metan gazının % 70'inin geri kazanılabileceği kabulüyle; 90.035.408 m<sup>3</sup> metan gazının geri kazanılabileceği hesaplanmıştır. Gaz toplama sisteminin inşasına hücreler dolduktan sonra başlanmasından dolayı; oluşan tahmini metan gazının % 18'ine denk gelen 25.471.943 m<sup>3</sup> metan gazının tutulamayarak, direk atmosfere yayılacağı hesaplanmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun açıkladığı raporda; 2008 yılı CO<sub>2</sub> emisyonlarında; enerji kaynaklı emisyonlardan sonra atık bertarafı sonucu oluşan emisyonların % 9'luk pay ile ikinci sırada olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber yine 2008 yılında oluşan CH<sub>4</sub> emisyonunun % 59'unun atık bertarafı sonucu oluştuğu belirtilmiştir. Bu nedenlerden ötürü, hem küresel ısınmaya sebep olan hem de hava kirliliğine yol açan depo gazlarının direk olarak atmosfere verilmemesi gerektiği düşünülmektedir. Özellikle eğimli bölgelerde kullanılabilen yatay gaz toplama boruları ile; atık depolanmasına devam edilirken de gaz toplanabileceği ve bu sayede direk olarak atmosfere verilen depo gazı miktarının azaltılabileceği öngörülmektedir.

Metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesi çalışmalarında, en önemli noktalardan biri seçilecek ekipmanların kapasiteleridir. Enerji dönüşümünü sağlayacak sistemin, maksimum metan gazı debisine göre seçilmesinin, yatırım maliyetini büyük



oranda arttıracağı düşülmektedir. Bununla beraber; daha düşük debilerde çalışan ekipmanların seçilmesi durumunda; hem elde edilecek enerji miktarının düşeceği, hem de atmosfere verilecek metan gazı miktarı artacağı öngörülmektedir. Bu nedenlerden ötürü; metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesi çalışmalarında, sistemin ortalama metan debisine göre projelendirilmesi ile hem projenin yatırım maliyetinin azalacağı hem de optimum elektrik enerjisi elde edileceği düşülmektedir. ÇAKAB katı atık düzenli depolama alanı için en doğru sonucu verebilecek model olarak seçilen Tabasaran–Rettenberger ile elde edilen sonuçlara göre metan oluşum hızı; 2017 – 2040 yılları arasında ortalama 206 m<sup>3</sup>/saat, 2041 – 2059 yılları arasında ortalama 94 m<sup>3</sup>/saat olarak belirlenmiştir. Oluşacak metan gazının kalorifik değeri 25 Mj/m<sup>3</sup> olarak kabul edildiğinde; metan gazından elde edilecek enerjinin; 2017 - 2040 yılları arasında ortalama 5.150 Mj/saat, 2041 – 2059 yılları arasında ortalama 2.350 Mj/saat olacağı tahmin edilmektedir. Elde edilecek elektrik enerjisi ile; düzenli depolama alanının yıllık elektrik ihtiyacının tamamının karşılanabileceği, bununla beraber, dört kişilik bir ailenin yıllık enerji ihtiyacının 2,4 MWh olduğu kabulü ile (Öztürk, 2008), 2017 – 2040 yılları arasında 1.342 ailenin, 2041 – 2059 yılları arasında 613 ailenin yıllık ihtiyacının giderilebileceği hesaplanmıştır.

Efe (2007), 1 m<sup>3</sup> metan gazının 0,7 m<sup>3</sup> doğal gaza eşdeğer olduğunu belirtmiştir. Buradan yola çıkarak; ÇAKAB düzenli depolama alanında yılda oluşacağı hesaplanan ortalama 1.800.708 m<sup>3</sup> metan gazının, yaklaşık 1.206.496 m<sup>3</sup> doğal gaza eşdeğer olduğu belirlenmiştir. Çanakkalegaz firmasından alınan verilere göre; 2010 yılında, Çanakkale’de ısınma amaçlı olarak 7.165.000 m<sup>3</sup> doğalgaz kullanılmıştır. Bu veriler ışığında; oluşacak metan gazının Çanakkale merkezdeki konutların yıllık ısınma amaçlı doğalgaz ihtiyaçlarının % 16’sını karşılayabileceği düşünülmektedir. Doğalgazın başlıca bileşeni olan CH<sub>4</sub>; doğrudan doğalgaza karıştırılarak kullanılabilir.

Depo gazının insan ve çevre sağlığı üzerinde çok önemli olumsuz etkileri mevcuttur. Bunun yanında depo gazının en önemli bileşenlerinden biri olan metanın (CH<sub>4</sub>) yüksek bir enerji kapasitesine sahip olması sebebiyle, bu gazın bir enerji kaynağı olarak kullanılması mümkündür. Bununla beraber evsel atıklardan enerji eldesi sadece enerji uygulaması değildir. Depo gazlarının doğrudan atmosfere karışması yerine enerjiye dönüştürülmesi ile emisyon azaltımı sağlanmış olmaktadır. Geri kazanılabilecek atıklar ayrıldıktan sonra geriye kalan atıkların depolanmasının ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasının özellikle Türkiye gibi organik atık miktarı oldukça yüksek olan ülkeler için önemli miktarda enerji geri kazanımı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akpınar N., 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Bilgili M.S., 2006. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Bilgili, M.S., 2002. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Björnsson L., 2000. Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention. PhD Dissertation. Department of Biotechnology, Lund University, Sweden.
- Buenrosto O., Bocco G. ve Cram S., 2001. Classification of Sources of Municipal Solid Wastes in Developing Countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 32: 29-41.
- Christensen T.H., Cossu R. ve Stegmann R., 1989. *Sanitary Landfilling Technology and Environmental Impact*. Academic Press Inc, London. 19-47.
- Conestoga-Rovers & Associates, (2000). *Design and Operation of Non-Hazardous Solid Waste Landfills to Optimize the Generation and Recovery of Landfill Gas and Energy*. Report to Environment Canada, Ottawa, Ontario.
- Conestoga-Rovers & Associates, (2004). Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects. Ottawa, Ontario. <http://www.esmap.org/esmap/node/1106>
- Cooper C.D., Reinhart D.R., Rash F., Seligman D. ve Keely D., 1992. Landfill Gas Emissions Florida Center for Solid and Hazardous Wastes Management, Report 92-2.

ÇEDFEM, (2011). MARAŞÇEBBİR Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi Çed Başvuru Dosyası. Kahramanmaraş.

[http://www.cedgm.gov.tr/ced\\_basvuru\\_dosyasi/1133\\_ptd.pdf](http://www.cedgm.gov.tr/ced_basvuru_dosyasi/1133_ptd.pdf)

Çelik E., Bahçeci İ., Yılmaz V. ve Külcü R., 2004. Katı Atıkların Biyolojik Yöntemlerle Bertarafında Türk Çevre Mevzuatının AB Mevzuatı ile Karşılaştırılması. *Katı Atık ve Çevre*, 54: 15–21.

Demir A., (2006). Katı Atıklar Dersi Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Dewil R., Appels R., Baeyens J. ve Degreve J., 2007. Peroxidation Enhances The Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Biosolids. *Journal of Hazardous Materials*, 146: 577–581.

DMİ, 2010. İl ve İlçelerimize Ait İstatistik Bilgiler,

<http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/ilveilceleristatistik.aspx?m=CANAKKALE>

Efe Ş., 2007. Erzurum’da Kullanılan Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.

EHCIP, 2005. Çevre ve Orman Bakanlığı, Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması İçin Teknik Yardım, Türkiye. Katı Atık Stratejik Yatırım Planlama Raporu. Rapor No: EHCIP\_TEC\_DSIP incineration ver 2.

Elango D., Pulikesi M., Baskaralingam P., Ramamurthi V. ve Sivanesan S., 2006. Production of Biogas from Municipal Solid Waste with Domestic Sewage. *Journal of Hazardous Materials*, 141: 301–304.

El-Mashad J., Hamed M., Wilko K., Zeeman G., Gerard P. ve Lettinga G., 2004. Design of A Solar Thermophilic Anaerobic Reactor for Small Farms, *Biosystems Engineering*, 87: 79-87.

- Envest Planners, 2005. Çevre ve Orman Bakanlığı, Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması İçin Teknik Yardım, Türkiye. Çanakkale Katı Atık Yönetimi Projesi Fizibilite Çalışması. Rapor No: EHCIP\_TEC\_IP3\_Final Feas Rep ver 4.
- Erdin E., (2005). Katı Atıkların Depolanması. 14 Nisan 2011, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc31.htm>
- Filibeli A., (1996). *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Gökçay C., Duran M. ve Demirer G., 2004. Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Altyapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları, 7–10 Kasım, İstanbul.
- Gönüllü T., (2008). Ambalaj Atıklarının Geri Kazanımında Toplumun Farkındalığı Gerekliyor, İstanbul. <http://www.geridonusum.org/m.-talha-gonullu/ambalaj-atiklarinin-zelde-kagit-ve-kartonun-geri-kazaniminda-toplumun-farkindaligi-gerekliyor.html>
- Gülen J. ve Arslan H., 2005. *Biyogaz*. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 121–129.
- Hartz K.E. ve Ham R.E., 1982. Gas generation rates of landfill samples. *Conservation Recycling*, 5: 133-147.
- Hwu C.S. ve Lettinga G., 1997. Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges. *Enzyme and Microbial Technology*, 21: 297–301.
- İSTAÇ A.Ş., (2005). İstanbul için AB Çevre Mevzuatı ile Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Stratejik Planı. İstanbul. <http://www.cevreportali.com/download/4.pdf>
- Juanga J.P., 2005. *Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste*. Asian Institute of Technology, Thailand, 170p.

- Karapidakis E.S., Tsava A.A., Soupios P.M. ve Katsigiannis Y.A., 2010. Energy Efficiency and Environmental Impact of Biogas Utilization In Landfills. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7/3, 599-608.
- Karpuzcu M., 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. *Kubbealtı Neşriyatı*, s: 318.
- Kocaman T., (2002). Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara  
<http://icportal.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/3344/projeksi.pdf>
- Krzystek L., Ledakowicz S., Kahle H. J. ve Kaczorek K., 2001. Degradation of Household Biowaste in Reactors. *Journal of Biotechnology*, 92: 103–112.
- Leao S., Bishop I. ve Evans D., 2001. Assessing the Demand of Solid Waste Disposal in Urban Region by Urban Dynamics Modelling in a GIS Environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 33: 289-313.
- Leonard M. ve Floom K., (2000). Estimating Method and Use of Landfill Settlement. California.  
[http://www.scssecure.com/Papers/Estimating\\_method\\_and\\_use\\_of\\_landfill\\_settlement\\_MLeonard&KFloom.pdf](http://www.scssecure.com/Papers/Estimating_method_and_use_of_landfill_settlement_MLeonard&KFloom.pdf)
- MacCarty N., Ogle D. ve Still D., 2008. A Laboratory Comparison Of The Global Warming Impact Of Five Major Types Of Biomass Cooking Stoves. *Energy for Sustainable Development*, 12/2: 56-65.
- Manning D., 2000. Carbonates and Oxalates in Sediments and Landfill: Monitors of Death and Decay in Natural and Artificial Systems. *Journal of the Geological Society*, 157/1: 229-238.
- McBean E.A., Syed-Ritchie S. ve Rovers F.A., 2007. Performance Results From The Tucuman Solid Waste Bioreactor. *Waste Management*, 27: 1783-1791.

- Meraz R., Vidales A. ve Dominguez A., 2004. A Fractal-Like Kinetics Equation to Calculate Landfill Methane Production. *Fuel*, 83: 73–80.
- Metcalf&Eddy, 2003. *Wastewater Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1819p.
- Metin E., Eröztürk A. ve Neyim C., 2003. Solid Waste Management Practices and Review of Recovery and Recycling Operations in Turkey. *Waste Management*, 23: 425–432.
- Mignone N.A., 2005. Biological Inhibition / Toxicity Control in Municipal Anaerobic Digestion Facilities. *Journal Water Pollution Control Federation*, 37: 392–406.
- Nastev M., 1998. Modelling Landfill Gas Generation and Migration in Sanitary Landfills and Geological Formations. PhD Dissertation. Faculty of Science and Engineering, University Laval, Quebec.
- NETÇED, (2009). Orta Edirne Katı Atık Yönetim Birliği Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi Çed Raporu. İstanbul.  
[http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/inceleme\\_degerlendirme\\_sureci/12\\_ids.pdf](http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/inceleme_degerlendirme_sureci/12_ids.pdf)
- Nopharatana A., Clarke W.P., Pullammanappallil P.C., Silver P. ve Chynoweth D.P., 1998. Evaluation of Methanogenic Activities During Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Bioresource Technology*, 64: 169-174.
- Ostrem K., 2004. *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Earth Engineering Center Columbia University, USA, 59p.
- Öztürk İ., 2010. Düzenli Atık Depolama Tesislerinden Biyometan Üretimi, 2. *Atık teknolojileri sempozyumu ve sergisi*, İstanbul.
- Öztürk M., (2005). Biyogaz Üretimi. 12 Nisan 2011,  
<http://www.mozturk.net/Upload//BiogazUretimi.pdf>

- Öztürk M., (2008). Katı Atık Depolama Alanında Metan Gazı Oluşumu. 27 Nisan 2011, <http://www.mozturk.net/Upload//DEPO%20GAZI.pdf>
- Palanathakumar B., 1999. Modeling of Methane Generation, Oxidation and Emission in Landfills, Master Thesis. Asian Institute of Technology School of Environment, Bangkok, Thailand.
- Park C., Lee C., Kim S., Chen Y. ve Chase H.A., 2005. Upgrading of Anaerobic Digestion by Incorporating Two Different Hydrolysis Processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100: 164–167.
- Pohland F.G. ve Kim J.C., 2000. Microbially Mediated Attenuation Potential of Landfill Bioreactor Systems. *Water Science and Technology*, 41/3: 247-254.
- Reinhart D.R. ve Al-Yousf, A.B., 1996. The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics. *Waste Management & Research*. 14: 337-346.
- Resmi Gazete, (1991). 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”.
- Resmi Gazete, (2008). 06.11.2008 tarih ve 27046 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği”.
- Schmidt J.E., Mladenovska Z., Lange M. ve Ahring B.K., 2000. Acetate Conversion in Anaerobic Biogas Reactors: Traditional and Molecular Tools for Studying this Important Group of Anaerobic Microorganisms. *Biodegradation*, 11: 359–364.
- Seyfert A., (2009). Canakkale – Kuruçeşme Landfill Gas Pumping Trial - January 2009 till March 2009 - Final Report.
- Solera R., Romero L. ve Sales D., 2002. The Evolution of Biomass in a Two-phase Anaerobic Treatment Process During Start-up. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 16/1: 25-29.

- Sorensen B., 2004. *Renewable Energy*. Elsevier Science, Denmark, 927p.
- Speece R.E., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Archae Press, Nashville, Tennessee, USA, 56p.
- Spokas K., Bogner J., Chanton J.P., Morcet M., Aran C., Graff C., Moreau-le Golvan Y. ve Hebe I., 2006. Methane Mass Balance at Three Landfill Sites: What is the Efficiency of Capture by Gas Collection Systems. *Waste Management*, 26/5: 516-525.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (2008). Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012). 29 Nisan 2011, <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemlani.pdf>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2010). Enerji. 3 Mart 2011, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384>
- Tabasaran O. ve Rettenberger G., 1987. *Grundlage zur Planung von Entgasungsanlagen, Müllhandbuch*. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Tchobanoglous G. ve Kreith F., 2002. *Handbook of Solid Waste Management*, McGraw-Hill, New York.
- Tchobanoglous G., Theisen H. ve Vigil S., 1993. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues (International ed.)*. McGraw-Hill, Singapore.
- Themelis N.J. ve Ulloa P., 2007. Methane generation in landfills. *Journal of Renewable Energy*, 32: 1243-1257.
- Thompson S., Sawyer J., Bonam R. ve Valdivia J.E., 2009. Building A Better Methane Generation Model: Validating Models With Methane Recovery Rates From 35 Canadian Landfills. *Waste Management*, 29: 2085–2091.



- Torres M.L. ve Llorens M.d.C.E., 2007. Effect of Alkaline Pretreatment on Anaerobic Digestion of Solid Wastes. *Waste Management*, 28/11: 2229-2234.
- Tsai W.T., 2007. Bioenergy From Landfill Gas (LFG) in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 331–344.
- Turan G., Çoruh S., Akdemir A. ve Ergun O.S., 2009. Municipal Solid Waste Management Strategies in Turkey, *Waste Management*, 29: 465–469.
- TÜİK, 2008. Belediye Atık İstatistikleri,  
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=6214>
- TÜİK, 2010. Nüfus İstatistikleri ve Projeksiyonlar,  
[http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb\\_id=39&ust\\_id=11](http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=39&ust_id=11)
- USEPA, 1998. "User's manual landfill gas emissions model version 2.0", United States Environmental Protection Agency.
- USEPA, 2005. "Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version User's Guide", United States Environmental Protection Agency.
- Van Haandel A.C. ve Lettinga G., 1994. *Anaerobic Sewage Treatment*. John Wiley & Sons, England, 226p.
- Verma S., 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Master Thesis. Columbia University, New York, USA.
- Wang-Yao K., Towprayoon S. ve Jaroenpoj S., 2004. Estimation of Landfill Gas Production Using Pumping Test. *The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE)*, Hua Hin, Thailand.

- Wanichpongpan W. ve Gheewala S., 2007. Life Cycle Assessment as a Decision Support Tool for Landfill Gas-To Energy Projects. *Journal of Cleaner Production*, 15: 1819-1826.
- Williams PT., 2005. *Waste Treatment and Disposal*. 2nd edition. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Yadvika S. ve Sreekrishnan T.R., Kohli S., Rana V., 2004. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques—a review. *Bioresource Technology*, 95: 1–10.
- Zaher U., Grau P., Benedetti E. ve Ayesa P.A., 2007. Transformers For Interfacing Anaerobic Digestion Models to Pre- and Post-Treatment Processes In A Plant-Wide Modelling Context. *Environmental Modelling & Software*, 22/1: 40-58
- Zamorano M., Perez J. ve Pave I., 2007. Study of the Energy Potential of the Biogas Produced by An Urban Waste Landfill in Southern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 909–922.

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1.</b> İstanbul ili katı atık özellikleri.....	4
<b>Çizelge 2.2.</b> Anaerobik faz süresinde depo gazı bileşenleri ve hacimce yüzdeleri.....	14
<b>Çizelge 3.1.</b> Proje alanında kişi başına oluşan katı atık miktarları.....	27
<b>Çizelge 3.2.</b> İstanbul için kişi başına oluşan katı atık miktarları.....	28
<b>Çizelge 3.3.</b> Proje alanı için madde grubu analizi.....	29
<b>Çizelge 3.4.</b> Proje alanı atık karakterizasyonu.....	30
<b>Çizelge 3.5.</b> Proje alanı için gelecekteki katı atık oluşum oranları.....	31
<b>Çizelge 3.6.</b> Proje alanı için gelecekteki atık kompozisyonu.....	31
<b>Çizelge 4.1.</b> Granada (ispanya) ili atık kompozisyonu.....	33
<b>Çizelge 4.2.</b> Granada (ispanya) ili tahmini biyogaz ve metan konsantrasyonu.....	34
<b>Çizelge 4.3.</b> Mexico city (meksika) şehri evsel katı atıklarının tipik bileşimi ve su içeriği	35
<b>Çizelge 4.4.</b> İstanbul avrupa yakası katı atık bileşenleri.....	38
<b>Çizelge 4.5.</b> Bir ton atık başına üretilen metan gazı miktarları.....	39
<b>Çizelge 4.6.</b> Metan üretim hız sabiti.....	39
<b>Çizelge 5.1.</b> Proje alanına ait geçmiş nüfus verileri.....	43
<b>Çizelge 5.2.</b> Proje alanına ait 2009-2010 yılı günlük kişi başına oluşan atık miktarları.....	44
<b>Çizelge 5.3.</b> Yıllara göre ambalaj atıklarının hedeflenen geri kazanım oranları.....	46
<b>Çizelge 5.4.</b> Depolama alanı hücreleri için öngörülen depolama kapasiteleri ve kullanım süreleri.....	47
<b>Çizelge 6.1.</b> Kepez beldesi için hesaplanan eğilim çizgisi fonksiyonu ve korelasyon katsayısı.....	54
<b>Çizelge 6.2.</b> Yerleşim yerleri için hesaplanan çoğalma katsayıları.....	55
<b>Çizelge 6.3.</b> Proje alanı için hesaplanan gelecek nüfusları.....	56
<b>Çizelge 6.4.</b> Kentsel ve kırsal yerleşim yerleri için hesaplanan gelecek toplam nüfus değerleri.....	57
<b>Çizelge 6.5.</b> Kentsel yerleşim yerlerinde oluşacak tahmini katı atık miktarları.....	58
<b>Çizelge 6.6.</b> Kırsal yerleşim yerlerinde oluşacak tahmini katı atık miktarları.....	59
<b>Çizelge 6.7.</b> Proje alanında oluşan katı atığın tahmini organik madde yüzdesi ve miktarı.....	60
<b>Çizelge 6.8.</b> 2009–2029 yılları arasında proje alanında toplam katı atık içerisinde bulunan ambalaj atıklarının tahmini yüzdeleri ve miktarları.....	62
<b>Çizelge 6.9.</b> 2009–2029 yılları arasında proje alanında geri kazanılacak tahmini ambalaj atıkları miktarı.....	63

<b>Çizelge 6.10.</b> 2009–2029 yılları arasında proje alanında depolanacak tahmini katı atık miktarları.....	64
<b>Çizelge 6.11.</b> Her bir hücre için hesaplanan depolanacak katı atık miktarı ve hizmet yılı .	65
<b>Çizelge 6.12.</b> Tabasaran–Rettenberger modeli için kullanılan parametreler ve değerleri...	66
<b>Çizelge 6.13.</b> Scholl Canyon modeli için kullanılan parametreler ve değerleri .....	67
<b>Çizelge 6.14.</b> USEPA LandGEM modeli için kullanılan parametreler ve değerleri .....	69
<b>Çizelge 6.15.</b> Model sonuçlarının karşılaştırılması .....	72

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık bertaraf yüzdeleri.....	5
Şekil 2.2. Depolama sürecinde metan gazı değişimi.....	6
Şekil 4.1. Tabasaran – Rettenberger ve USEPA LandGEM modellerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 6.1. Tabasaran–Rettenberger Modeli İle Hesaplanan Depo Gazı Ve Metan Gazı Miktarları. ....	67
Şekil 6.2. Scholl Canyon modeli ile hesaplanan depo gazı ve metan gazı miktarları .....	68
Şekil 6.3. EPA LandGEM modeli ile hesaplanan depo gazı ve metan gazı miktarları .....	69
Şekil 6.4. Her bir model ile hesaplanan geri kazanılacak metan gazı miktarları .....	71
Şekil 6.5. Her bir model ile hesaplanan metan gazı miktarları.....	73

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Canan CAN YARIMTEPE  
Doğum Yeri : Bursa  
Doğum Tarihi : 23.07.1986

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Fransızca

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

Bildiriler (Uluslararası) : **Can, C.,** Alten, A., (2011). “Comparison of Landfill Gas Generation Models for Solid Waste Landfill Sites”. IV. World Renewable Energy Congress, Indonesia.  
Bildiriler (Ulusal) : **Can, C.,** Mentеше, S., (2010). “Çanakkale İli Hava Kalitesinin Kirlilik Türlerine Göre İncelenmesi”. IV. Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Ankara.

### İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi. 2009-Devam.

### İLETİŞİM

E-posta adresi : [canancan@comu.edu.tr](mailto:canancan@comu.edu.tr)