EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

İZMİR HARMANDALI DÜZENLİ DEPOLAMA ALANINDAKİ METAN GAZI POTANSİYELİNİN BELİRLENEREK ELEKTRİK ENERJİ DEĞERLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Ali Kemal ÇAKIR

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.04.00
Sunuş Tarihi : 31.07.2012

Bornova-İZMİR

2012

A.Kemal ÇAKIR tarafından Doktora tezi olarak sunulan "İzmir-Hermandalı DSİ Dep. Alanında Katı Çöpü Bertarafının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 31.07.2012 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:	**İmza**
Jüri Başkanı	Doç.Dr.Hüseyin Gürsoy
Raportör Üye	Doç.Dr. Serhan Kücüka
Üye	Doç.Dr.Gökçem Akman
Üye	Prof.Dr. Necdet Özbalta
Üye	Prof.Dr. Ali GÜNGÖR

ÖZET

İZMİR HARMANDALI DÜZENLİ DEPOLAMA ALANINDAKİ METAN GAZI POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÇAKIR, Ali Kemal

Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin GÜNERHAN
Temmuz 2012, 212 sayfa

İzmir, Harmandalı Düzenli Depolama Tesisinin 1992 yılında işletmeye açılmasıyla, ülkemizde düzenli katı atık bertaraf sistemini ilk uygulamaya başlayan kentlerden biri olmuştur. 20 yılı aşkın işletme süresi boyunca İzmir mücavir alanı içinde üretilen kentsel katı atıkların önemli bir bölümü, bu tesiste bertaraf edilerek, katı atıklardan kaynaklanabilecek olası çevre sorunlarının ve sağlık etkilerinin asgari düzeye indirilmesi sağlanmıştır.

Bu tezde, İzmir mücavir alan sınırları içerisinde oluşan kentsel katı atıkların (evsel, endüstriyel, tıbbi atıklar ile arıtma çamuru) düzenli olarak depolandığı Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda, deponi gazı oluşumu ve gaz toplama sistemi ile ilgili mevcut koşulların ortaya konulması ve oluşan deponi gazının bertaraf ve değerlendirme seçenekleri araştırılmıştır.

Deponi alanlarındaki enerji potansiyeline karar vermedeki en önemli faktör, deponi alanındaki metan gazı miktarıdır. Deponi gazının miktarını belirlemede kullanılan çeşitli yaklaşımlar vardır. Bu tezde, deponi gazının miktarını belirlemede 5 farklı metot ve literatür tabanlı bir yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan metotlar; Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM, Scholl Canyon ve IPCC 2006'dır.

Teorik olarak, tam kapasite çalışan katı atık deponilerindeki metan gazı potansiyeli 50-400 L/kg (m^3/ton) arasındadır. Verilen aralığın bu kadar geniş olması (minimum ve maksimum değerler arası 8 kat fark bulunmaktadır) yukarıda belirtildiği gibi çöp karakteristiği, iklim ve depolama sahasına özgü diğer özelliklerin çıkacak gaz miktarını etkilediğinin bir başka göstergesidir.

Yukarıda verilen sayılar HDDA (Harmandalı Düzenli Depolama Alanı) özelinde kullanıldığında, mevcut evsel atık lotunda depolanan yaklaşık 4 milyon ton çöp için çıkacak gaz potansiyelinin 200-1.600 milyon metreküp arasında değişebileceği söylenebilir.

Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM (k=0.35, k=0.1 ve k=0.05), Scholl Canyon (k=0.35, k=0.1 ve k=0.05) ve IPCC 2006 matematiksel modellerden elde edilen deponi gazı miktarları sırasıyla; 926378580,20 m^3, 291897215,34 m^3, 792073359 m^3, 769734749 m^3, 681685027 m^3, 399180159,35 m^3, 624176273,36 m^3, 613197965,60 m^3, 491752247.3 m^3'dür.

Bu modellerden (Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM (k=0.35, k=0.1 ve k=0.05), Scholl Canyon (k=0.35, k=0.1 ve k=0.05) ve IPCC 2006) elde edilen elektrik enerjisi değerleri ise sırasıyla; 522606.58 kW, 164670.70 kW, 446839.73 kW, 434237.64 kW, 384565.33 kW, 225193.22 kW, 352122.38 kW, 345929.08 kW, 277416.78 kW olacaktır.

Harmandalı deponisinde yapılan ölçüm ve matematiksel hesaplamalara dayanarak, Harmandalı deponisinin yüksek deponi gazı potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma yapılan alan düşünüldüğünde yapılacak olan yatırım çalışmasında, Multi-Phase modelini esas almak daha gerçekçi sonuçlar verecektir (Multi-Phase modeli, hesaplamalarda çöp içindeki organik bazlı atıkları kıstas almaktadır).

HDDA'da çalışma yapılan alanda, Multi-Phase modeli kıstas alınarak yapılacak enerji üretim tesisi güç kapasitesi 4,5 MW olacaktır.

Anahtar sözcükler: Harmandalı Düzenli Depolama Alanı, kentsel katı atık, deponi gazı, metan gazı, elektrik enerjisi üretimi, enerji tesisi.

ABSTRACT

İDENTİFİCATİON AND EVALUATİON OF THE METHANE GAS POTENTİAL İN İZMİR HARMANDALI SANİTARY LANDFİLL.

ÇAKIR, Ali Kemal

Ph.D Thesis in Mechanical Eng.
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN
July 2012, 212 pages

İzmir has been one of the cities in our country which firstly began to implement a regular solid waste disposal system with the operation of Harmandali Landfill Facility in 1992. An important part of municipal solid waste produced in contiguous area of İzmir during the period of 20 years was disposed in this facility in order to minimize any possible problems on health and environment caused from that solid waste.

The main objective of this thesis is to investigate the use of landfill gas as potential energy and electricity provided from municipal solid waste (domestic, industrial, medical waste and sewage sludge) stored regularly in Harmandali Solid Waste Landfill Area, within the boundaries of the contiguous area of İzmir.

The most important factor in determining the energy potential of landfill areas is the amount of methane gas in the landfill area. There are several approaches used to determine the amount of landfill gas. We used five different methods and one Literature-Based Approximate Forecast to determine the amount of the landfill gas in Harmandali Landfill. These methods are Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM, Scholl Canyon, IPCC 2006 methods.

Theoretically, the amount of landfill gas for full-scale solid waste landfill sites may change between 50-400 L/kg (m^3/ton). When the values above are applied to the case of Harmandali Landfill, it can be claimed that the potential gas of about 4 million tons of garbage may vary between 200 and 1600 million cubic meters. Respectively, the amount of landfill gas obtained from Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM (k=0.35, k=0.1 and k=0.05), Scholl Canyon (k=0.35, k=0.1 and k=0.05) and IPCC 2006 methods are

926378580,20 m^3, 291897215,34 m^3, 792073359 m^3, 769734749 m^3, 681685027 m^3, 399180159,35 m^3, 624176273,36 m^3, 613197965,60 m^3 and 491752247.3 m^3. Respectively, the electric power values obtained from these methods are 522606.58 kW, 164670.70 kW, 446839.73 kW, 434237.64 kW, 384565.33 kW, 225193.22 kW, 352122.38 kW, 345929.08 kW and 277416.78 kW.

Considering the measurement and mathematical modeling we determined Harmandali Landfill has high landfill gas potential obtained from municipal solid waste in Harmandalı Landfill.

Based on Multi-Phase model will get more realistic results, becuse of the study which will be invested in the study area (Multi-Phase model calculations garbage is organic-based waste criteria).

Power capacity of the power plant will be made based on Multi-Phase model will be 4,5 MW in the study area (The Harmandalı Landfill).

Keywords: Harmandali Landfill, solid waste, landfill gas, methane gas, electric energy production, power plant.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, çalışmanın yürütülmesi, aksaklıkların giderilmesi, tezin biçimlendirilmesi ve çözüm odaklı yaklaşımları nedeniyle danışmanım Doç. Dr. Hüseyin GÜNERHAN'a, değerli fikirleriyle çalışmanın gidişatına olumlu katkılar sağlayan Doç. Dr. Görkem AKINCI'ya, özellikle depolama alanının jeolojik özellikleri ve alanın bilgisayar tabanlı analizinde değerli katkıları nedeniyle Öğr. Gör. Cem KINCAL'a, çalışma süresince gerekli bilgilerin sağlanmasında kolaylık gösteren İzmir Büyükşehir Belediye yetkililerine, tezin izlenmesi ve aksaklıkların tespitindeki değerli katkıları nedeniyle Doç. Dr. Serhan KÜÇÜKA'ya, Yrd. Doç. Dr. Turhan ÇOBAN'a, bölüm başkanı Prof. Dr. Ali GÜNGÖR'e, çalışma süresince manevi katkılarını hiç esirgemeyen değerli ailem ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v

ABSTRACT vii

TEŞEKKÜR ix

ŞEKİLLER DİZİNİ xviii

ÇİZELGELER DİZİNİ xxvi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxxiii

1.GİRİŞ 1

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3

2.1 Deponi Gazının Kullanımına İlişkin Çalışmalar 3

2.2 Deponi Gazının Tahminlenmesine Yönelik Çalışmalar 11

3. KATI ATIKLAR 14

3.1 Katı Atık Olgusu 14

3.2 Katı Atıkların Kaynakları ve Sınıflandırılması 15

3.2.1 Evsel Katı Atıklar 18

3.3. Katı Atık Üretimi ve Evsel Katı Atık Miktarına Etki Eden Faktörler 19

3.4. Katı Atık Parametreleri 20

4. TÜRKİYE'DE KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ VE UYGULAMALARI 21

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1 İzmir İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi.....31

4.1.1 Organik Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı 32

4.1.2 Evsel Katı Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı.....33

4.1.3 Evsel Tehlikeli Atıkların Toplanması ve Bertarafı.....35

4.1.4 Park ve Bahçe Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı 37

4.1.5 Bitkisel Atık Yağların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı 38

4.1.6 Madeni Atık Yağların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı 40

4.1.7 Tıbbi Atıkların Toplanması ve Bertarafı 40

4.1.8 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı.42

4.1.9 Atık Pillerin ve Akümülatörlerin Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı.43

4.1.10 Ambalaj Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı…….45

4.1.11 Hafriyat, İnşaat Atıklarının Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı ..….48

4.1.12 Evsel Katı Atık Transfer Sistemi ve Transfer İstasyonları...…….49

4.1.12.1 Halkapınar Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu..……52

4.1.12.2 Gediz Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu..……53

4.1.12.3 Karşıyaka Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu ..…….53

4.1.12.4 Kısıkköy Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu..……...53

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1.12.5 Gümüldür Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu 54

4.1.12.6 Selçuk Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu.....54

4.1.12.7 Torbalı Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu.....54

4.1.12.8 Foça Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu.....54

4.1.12.9 Urla Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu 55

4.1.13 Evsel Katı Atık Karakterizasyon Çalışmaları.....55

4.1.13.1 Evsel Katı Atık Nem İçeriği. 62

4.1.13.2 Evsel Katı Atık Enerji İçeriği. 65

4.1.14 Nüfus Projeksiyonu ve Kentsel Katı Atık Miktarları. 67

4.1.14.1 Nüfus Projeksiyonu. 67

4.1.14.2 Kentsel Katı Atık Miktarları.....73

4.1.15 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı (HDDA). 76

4.1.15.1 HDDA'nın Jeolojik Yapısı ve Toprak Özelliği.....77

4.1.15.2 HDDA'nın Deprem Özelliği 78

4.1.15.3 HDDA'nın Hidroloji ve Hidrojeolojisi.....79

4.1.15.4 HDDA'nın Meteorolojik Özellikleri 79

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1.15.5 HDDA'nın Lot Alanları ve Özellikleri 81

4.1.16 İzmir İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sisteminin Maliyet Analizi 83

4.1.16.1 Evsel Katı Atık Maliyet Analizi 83

4.1.16.2 Tıbbi Atık Maliyet Analizi 84

4.1.16.3 Ambalaj Atık Maliyet Analizi 84

5. KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA DEPONİ GAZI OLUŞUMU ve ÖZELLİKLERİ 85

5.1 Aerobik (Oksijenli) Safha 88

5.2 Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Olmayan Safha 89

5.3 Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Kararsız Safha 90

5.4 Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Kararlı Safha 90

5.5 Aerobik (Oksijenli) Şartlara Geçiş Safhası 91

5.6 Deponi Gazı Kompozisyonu 91

5.7 Deponi Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler 92

5.7.1 Atık Kompozisyonu 92

5.7.2 Sıcaklık 93

5.7.3 Nem İçeriği 94

5.7.4 pH ve Alkanite Seviyesi 94

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.7.5 Oksijen 95

5.7.6 Hidrojen 96

5.7.7 Nütrientler (Besi Maddeleri) 96

5.7.8 Tane Boyutu 96

5.7.9 Sülfat 97

5.7.10 İnhibitörler 98

5.8 Deponi Gazının Bertaraf İhtiyacı (Çevresel Etkiler ve Bileşen Özellikleri) 99

5.8.1 Deponi Gazının Çevresel Etkileri 100

5.8.1.1 Yangın ve Patlama Tehlikesi 100

5.8.1.2 Hava Kirliliği ve Koku 101

5.8.1.3 Yer altı Suyu Kirliliği 103

5.8.1.4 Küresel Ölçekli Etkiler 103

5.8.1.5 Diğer Etkiler 105

5.9 Deponi Gazının Kontrolü 105

5.9.1 Pasif Gaz Kontrol Sistemleri 107

5.9.2 Aktif Gaz Kontrol Sistemleri 108

5.10 Deponi Gazının Kullanım Seçenekleri 111

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.10.1 Deponi Gazlarının Yakılması 111

5.10.1.1 Deponi Gazının Direkt Olarak Yakılması 112

5.10.1.2 Deponi Gazının Yakıt Olarak Kullanılması 112

5.10.2 Deponi Gazının Doğalgaz Şebekesinde Kullanılması.....114

5.10.3 Deponi Gazının Kimyasal Madde Üretiminde Kullanılması.....115

5.10.4 Deponi Gazının Yakıt Hücresi Olarak Kullanılması.....115

5.10.5 Deponi Gazlarının Elektrik Enerjisi Olarak Kullanılması.....115

6. HARMANDALI DÜZENLİ DEPOLAMA ALANI FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI.....119

6.1 Arazi Yüzeyi Çalışmaları 119

6.2 Çalışma Alanı ve Özellikleri 130

6.3 Deponi Gazı Ölçümü.....134

6.3.1 Deponi Gazı Ölçüm Sonuçları.....135

6.3.1.1Deponi Gazı Debisi 138

6.3.1.2 Deponi Gazı Bileşenleri.....144

7. HDDA DEPONİ GAZI MODELLEME ÇALIŞMALARI 149

7.1 Modelleme Çalışmaları.....149

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7.1.1 Literatür Esaslı Yaklaşık Tahmin 149

7.1.2 Tabasaran/Rettenberger Modeli ile Tahmin 151

7.1.2.1 Tabasaran/Rettenberger Modeli Tahmin Sonuçları.....152

7.1.3 Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli ile Tahmin 152

7.1.3.1 Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli Tahmin Sonuçları 154

7.1.4 Scholl Canyon Modeli ile Tahmin.....155

7.1.4.1 Scholl Canyon Modeli ile Tahmin Sonuçları 157

7.1.5 LandGEM Modeli ile Tahmin 158

7.1.5.1 LandGEM Modeli ile Tahmin Sonuçları.....160

7.1.6 IPCC-2006 Modeli ile Tahmin 160

7.1.6.1 IPCC-2006 Modeli ile Tahmin Sonuçları.....163

8. HDDA'DA SERA GAZI SALIMLARINI FARKLI SENARYOLARA GÖRE BELİRLEMEÇALIŞMALARI.....164

8.1 Metodoloji.....164

8.2 HDDA Sera Gazı Salım Tahmin Sonuçları.....168

9. HDDA DEPONİ GAZI ENERJİ DEĞERLENDİRMESİ.....189

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

10. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....194

11. ÖNERİLER.....200

KAYNAKLAR.....204

ÖZGEÇMİŞ.....211

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

2.1. Odayeri ve Kömürcüoda deponi gazından elektrik üretim tesisleri 9

4.1 Elektronik atık toplama konteyneri 36

4.2 Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisinde tıbbi atıkların bertarafı 41

4.3 Ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımı ve bertarafı amacıyla toplanan miktarları 42

4.4 Yıllara göre toplanan atık pil miktarları 44

4.5 Atık pil toplama kampanyası 44

4.6 Ambalaj atığı toplama araçları 46

4.7 Yıllara göre toplanan ambalaj atığı miktarları.....47

4.8 Ambalaj atık dağılım (2008-2009-2010 ortalaması) yüzdeleri 47

4.9 Buca-Kırıklar hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıkları depolama alanı 49

4.10 Evsel katı atık transfer istasyonları.....51

4.11 Evsel Katı Atık Transfer İstasyonlarının Harmandalı Düzenli Depolama Tesisine olan taşıma mesafeleri.....52

4.12 Katı atık karakterizasyon çalışması 56

4.13 Katı atık karakterizasyon çalışması (eleme) 56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

4.14 Evsel katı atık kompozisyon sonuçları 61

4.15 Evsel katı atık kompozisyonu genel (2008-2009-2010-2011) sonuç grafiği 62

4.16 İzmir ili yaş grubu ve cinsiyete göre nüfus 68

4.17 Harmandalı Düzenli Depolama Tesisi evsel katı atık verileri grafiksel gösterimi 74

4.18 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı ulaşım haritası.....77

4.19 Harmandalı Düzenli Depolama Tesisi lot sahalarının görünümü 82

5.1 Depolama alanı içinde deponi gazı ve sızıntı suyunda ideal gelişme 86

5.2 Deponi gazı üretim yapısı.....87

5.3 Deponi gazı üretimini etkileyen faktörler.....92

5.4 Anaerobik bir filtrede pH'ın rölatif metan oluşum hızı (R) üzerine etkisi.95

5.5 Deponi sahalarında SO_4^{2-} değişimi ile deponi gazı bileşenleri (CH_4 ve CO_2) arasındaki ilişki.....98

5.6 CO_2'in kısmi basıncına bağlı olarak bazı substratların ayrışma oranları .99

5.7 Coward Diyagramı 101

5.8 Atmosfere salınan sera gazlarının yıllara göre dağılımı 104

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

5.9 Pasif gaz toplama sisteminin temel görünüşü 108

5.10 Dikey kuyulu gaz geri dönüşüm tesisi.....109

5.11 Aktif gaz toplama sistemi detay kesiti.....111

5.12 Gaz Türbini.....114

5.13 Gaz kuyularının sondajla açılması.....117

5.14 Gaz borusunun yatay gaz toplama boruları bağlantısı 117

5.15 Gaz borularının pompa ve düzenleyici konteynerine bağlanması.....117

5.16 Gaz borularının pompa ve düzenleyici konteynerine bağlanması sonrası görüntüsü 117

5.17 Gaz Motoru/Jeneratör.....118

5.18 Deponi gazından enerji üretimi 118

6.1 Harmandalı Düzenli Depolama Alanının üç boyutlu gösterimi 120

6.2 HDDA'nın kesitlere ayrılmış üç boyutlu sol yan görüntüsü 120

6.3 HDDA'nın kesitlere ayrılmış üç boyutlu önden görüntüsü.....121

6.4 HDDA'nın kesitlere ayrılması.....122

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

6.5 HDDA'nın enlem ve boylam üzerinde kesitlere ayrılması 122

6.6 HDDA'nın 1-1' kesitinin grafiksel gösterimi.....123

6.7 HDDA'nın 2-2' kesitinin grafiksel gösterimi 123

6.8 HDDA'nın 3-3' kesitinin grafiksel gösterimi 124

6.9 HDDA'nın 4-4' kesitinin grafiksel gösterimi 124

6.10 HDDA'nın 5-5' kesitinin grafiksel gösterimi 125

6.11 HDDA'nın 6-6' kesitinin grafiksel gösterimi 125

6.12 HDDA'nın 7-7' kesitinin grafiksel gösterimi 126

6.13 HDDA'nın 8-8' kesitinin grafiksel gösterimi 126

6.14 HDDA'nın 9-9' kesitinin grafiksel gösterimi 127

6.15 HDDA'nın 10-10' kesitinin grafiksel gösterimi 127

6.16 HDDA'nın 11-11' kesitinin grafiksel gösterimi 128

6.17 HDDA'nın 12-12' kesitinin grafiksel gösterimi 128

6.18 HDDA'nın 13-13' kesitinin grafiksel gösterimi 129

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

6.19 HDDA'nın 14-14' kesitinin grafiksel gösterimi 129

6.20 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Lotları 130

6.21 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı E ve A Lotlarının uydu görüntüsü.. 131

6.22 HDDA'nda yer alan gaz bacaların yerleşimi 132

6.23 Kuyuların şematik gösterimi 133

6.24 Deponi gazı çıkarma kuyusu kesit görünüşü.....133

6.25 Geotechnical Instruments Limited firması tarafından üretilmiş gaz ölçüm cihazı.....134

6.26 Deponi gazı ölçümleri için imal edilen aparat.....134

6.27 HDDA'ndaki gaz bacalarında gaz örnekleme çalışması 135

6.28 Deponi gazı bacalarında gözlenen gaz debi değerlerinin dağılımı.....139

6.29 CBS için esas alınan sınırlar.....140

6.30 Deponi gazı gaz debisinin alansal dağılımı 141

6.31 E Bölgesi ve E-A Bölgeleri kesişim yerlerinde biriken sızıntı suyu tablası derinlikleri 143

6.32 Deponi gazının alansal kayıp miktarının belirlenmesi 144

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

6.33 Bacalarda gözlenen CH_4 (%) değerleri.....145

6.34 Bacalarda gözlenen CO_2 (%) değerleri.....146

6.35 Bacalarda gözlenen O_2 (%) değerleri 146

6.36 Bacalarda gözlenen H_2S (ppm) değerleri 147

6.37 Bacalarda gözlenen CO (ppm) değerleri 147

6.38 E Lotu metan gazı alansal dağılımı 148

7.1 Dünya genelinde 86 deponi tesisinin atık yaşı ve deponi gazı üretim oranları 150

8.1 Senaryo Statükoya göre atık veri grafiği 169

8.2 Senaryo Statükoya göre atıkların oransal dağılımı.....170

8.3 Senaryo Statükoya göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi.....170

8.4 Senaryo Statükoya göre geri dönüşebilir atıklar için sera gazı salım sonuçları grafiği 172

8.5 Senaryo Statükoya göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği 173

8.6 Senaryo 1'e göre atık veri grafiği 174

8.7 Senaryo 1'e göre atıkların oransal dağılımı.....175

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

8.8 Senaryo 1'e göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi 176

8.9 Senaryo 1'e göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği……..177

8.10 Senaryo 1'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.... ……..178

8.11 Senaryo 2'e göre atık veri grafiği.....179

8.12 Senaryo 2'e göre atıkların oransal dağılımı.....180

8.13 Senaryo 2'e göre sera gazı salımların grafiksel gösterimi.....181

8.14 Senaryo 2'ye göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği.....182

8.15 Senaryo 2'ye göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.. ……..183

8.16 Senaryo 3'e göre atık veri grafiği.....184

8.17 Senaryo 3'e göre atıkların oransal dağılımı.....185

8.18 Senaryo 3'e göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi 185

8.19 Senaryo 3'e göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği....…….186

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil Sayfa

8.20 Senaryo 3'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.

……..187

10.1 Deponi gazı hesaplamada kullanılan modellere ait yıllık metan gazı miktarının değişimi 196

10.2 Her bir senaryoya ait sera gazı salımları.....197

10.3 Her bir senaryoya ait geri dönüşebilir ve depolanan atıklar için sera gazı salım sonuçları.....198

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

2.1 Kemerburgaz deponisi gaz üretim ekipman verileri.....7

2.2 Nauerna deponisinde, çeşitli tahmin modellerinden elde edilen metan üretim miktarları.....12

2.3 Çanakkale deponisindeki atıkların tahmin modellerine göre metan gazı üretim değerleri.....13

2.4 Odayeri deponisindeki model sonuçlarının karşılaştırılması.....13

3.1 Katı atık kaynakları ve tipleri.....16

3.2 Ülkelerin gelir düzeylerine göre evsel katı atıkların kompozisyonu.....18

3.3 Farklı ülkelerdeki katı atıkların oranları.....19

3.4 Nüfus büyüklüğüne göre spesifik katı atık hacimleri.....20

4.1 Düzenli depolama direktifi hedeflerine geçiş süreleri.....23

4.2 Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması.....23

4.3 EHCIP Projesi Türkiye için AB Atık Direktifleri ile uyumlu zaman çizelgesi….....26

4.4 Büyükşehir dışındaki belediyeler için AB ile uyumlu atık yönetimi zaman çizelgesi.....27

4.5 Türkiye'de yıllara göre toplam sera gazı salımları.....27

4.6 Türkiye'nin sektörlere göre toplam sera gazı salımları.....28

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

4.7 Doğrudan sera gazı salımlarının sektörel dağılımı 29

4.8 Belediyelerin katı atık temel göstergeleri 31

4.9 Atık karakterizasyonu çalışması organik atık değerleri.....33

4.10 Yıllara göre Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde bertaraf edilen atık miktarları 34

4.11 İBB sınırları içerisinde ilçelere göre belediyelerin kullandığı transfer istasyonları ve bertaraf alanları.....35

4.12 Yıllara göre atık karakterizasyon çalışması, park-bahçe atığı değerleri…..37

4.13 İzmir anakent Park-Bahçe atık miktarları.....38

4.14 Bitkisel atık yağlar ile ilgili yapılan çalışmalar 39

4.15 İBB sınırları içerisinde ilçelere göre tıbbi atık toplanan sağlık kurum sayısı ve tıbbi atık miktarları 41

4.16 İzmir anakent yıllara göre toplanan atık pil miktarları 44

4.17 İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde yıllara göre geri kazanım çalışmaları kapsamında toplanan ambalaj atıkları miktarları 46

4.18 İzmir anakent yıllara göre toplanan ambalaj atığı dağılımları.....47

4.19 İzmir ili hafriyat, inşaat/yıkıntı atıkları depolama tesisleri.....48

4.20 Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları (2008).....57

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

4.21 Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, 2009 58

4.22 Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, (Kış) 2010 59

4.23 Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları (2011).....60

4.24 Evsel katı atık karakterizasyonu genel (2008-2009-2010-2011) sonuçları.....61

4.25 Kentsel katı atığın tipik nem içeriği 63

4.26 İzmir kentsel katı atık içeriği 64

4.27 Kentsel katık atıklardaki yanabilir atıkların nihai (Ultimate) analizine göre tipik verileri……..64

4.28 İnert atık ve kentsel katı atıkların enerji verilerinin tipik değerleri.....65

4.29 İzmir ili kentsel katı atıkların enerji değerlerinin hesaplanması.....66

4.30 İzmir ili kentsel katı atıklara ait literatür esaslı spesifik değerler.....67

4.31 İzmir Büyükşehir Belediyesi nüfus sayımı sonuçları ve nüfus artış katsayıları.....69

4.32 Plana esas nüfus projeksiyonu değerleri 70

4.33 Plana esas ilçelere göre nüfus projeksiyonu değerleri.....71

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

4.34 İzmir anakent nüfus projeksiyon sonuçları 73

4.35 1992-2010 yılları arasında Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde bertaraf edilen evsel katı atık miktarları....74

4.36 İzmir anakent kişi başına düşen kentsel katı atık üretimi....75

4.37 Kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı tahminleri 76

4.38 İzmir ili meteorolojik verileri (1975-2010) 80

4.39 En yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (1975-2010)....80

4.40 Evsel katı atık lotları ve özellikleri....81

4.41 İzmir Büyükşehir Belediyesi evsel çöpleri toplama, taşıma ve bertaraf maliyeti 83

4.42 Tıbbi atık toplama, taşıma ve bertaraf maliyetleri....84

4.43 Ambalaj atık maliyet analizi....84

5.1 Deponi gazı oluşum fazları ve süreleri 87

5.2 Fazlar arası geçiş safhaları....88

5.3 Tipik deponi gazı kompozisyonu....91

5.4 Sera gazları ve sera gazlarının etkisi 104

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

5.5 Deponilerde gaz ve sızıntı suyunun hareketinin kontrolünde kullanılan geçirimsiz malzemeler....106

5.6 Elektrik üretim teknolojileri ve dönüşüm oranları....116

6.1 HDDA gaz bacaları ölçüm sonuçları....136

6.2 Deponi gazı debi ve kalite parametreleri tanımlayıcı istatistikleri....138

7.1 Tabasaran/Rettenberger modeline göre HDDA'dan oluşan gaz miktarı....152

7.2 Evsel katı atıktaki organik atıkların farklı hızlardaki parçalanma oranları 154

7.3 Multi-Phase (Çoklu-Faz) modeli ile HDDA'nda oluşan gaz potansiyeli...154

7.4 Scholl Canyon modeli ile HDDA'nda oluşan deponi gazı potansiyeli....157

7.5 LandGEM modeline göre HDDA'nda oluşan deponi gazı miktarları....160

7.6 IPCC-2006 modeline göre HDDA'nda oluşan deponi gazı miktarları....163

8.1 Farklı bertaraf teknolojileri için kullanılan maliyet göstergeleri....167

8.2 Geri dönüştürülebilen atık fraksiyonlarına göre sera gazı salım faktörleri 168

8.3 Senaryo Statükoya göre atık verileri....169

8.4 Senaryo Statükoya göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları....171

8.5 Senaryo Statükoya göre geri dönüştürülen salım sonuçları....171

8.6 Senaryo Statükoya göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları..172

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

8.7 Hesaplanan Senaryo Statüko için kesin maliyet sonuçları 173

8.8 Hesaplanmış Senaryo Statükoya göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları 173

8.9 Senaryo 1'e göre atık verileri 174

8.10 Senaryo 1'e göre geri dönüşüm ve depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları 175

8.11 Senaryo 1'e göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları 176

8.12 Senaryo 1'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları 177

8.13 Hesaplanan Senaryo 1 için kesin maliyet sonuçları 178

8.14 Senaryo 1'e göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları.....178

8.15 Senaryo 2'ye göre atık verileri 179

8.16 Senaryo 2'ye göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları

……..180

8.17 Senaryo 2'ye göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları 181

8.18 Senaryo 2'ye göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları 182

8.19 Hesaplanan Senaryo 2 için kesin maliyet sonuçları 183

8.20 Hesaplanmış Senaryo 2'ye göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları 183

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

8.21 Senaryo 3'e göre atık verileri 184

8.22 Senaryo 3'e göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları

…….186

8.23 Senaryo 3'e göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları 187

8.24 Senaryo 3'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları 188

8.25 Hesaplanan Senaryo 3 için kesin maliyet sonuçları 188

8.26 Hesaplanmış Senaryo 3'e göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları 188

9.1 Tabasaran/Rettenberger modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı …..190

9.2 Multi Phase modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.....190

9.3 Scholl Canyon modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı 191

9.4 LandGEM modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.....192

9.5 IPCC-2006 modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.....193

10.1 HDDA'da deponi gazı potansiyelini belirlemede kullanılan modellere ait toplam değerler.....194

10.2 İşlenmiş atık.....198

10.3 Geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları.....199

11.1 HDDA'da yapılacak olan enerji tesisine ait özellikli veriler.....202

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Atık miktarı
CH_4	Metan gazı
$(CH_3)_2S$	Dimetilsülfid
CO_2	Karbondioksit gazı
$C_{o,i}$	Organik karbon miktarı
C_{org}	Organik karbon içeriği
F	Hacimce metan fraksiyonu
G_t	t. yıla kadar üretilen gaz miktarı
HAP_s	Tehlikeli hava kirleticileri
H_2	Hidrojen gazı
H_2S	Hidrojen sülfür
HCl	Hidroklorik asit
k	Metan oluşum hız sabiti
kg	kilogram
km	kilometre
kW	kilovat
kV	kilovolt

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler	Açıklama
L	litre
LFG	Deponi gazı
Lo	Metan üretim potansiyeli
m	metre
m^3	metreküp
ml	mililitre
M_t	t. yılda depolanan atık miktarı
MW	megavat
$NMOC_s$	Metan gazı dışındaki organik maddelerdir
N_yO_x	Azot oksitler
O_2	Oksijen gazı
ppb	Milyar da bir
ppm	Milyon da bir
SO_4^{2-}	Sülfat
T	sıcaklık (°C)
t_{ij}	Atığın ilk depolanmaya başladığı yıldan itibaren geçen süre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler	**Açıklama**
TL	Türk Lirası
OX	Oksidasyon faktörü
VOC	Uçucu organik bileşikler

Greek Letters

ς	Üretim faktörü
α_t	t yılında oluşan deponi gazı miktarı

İndis

i	Yıllık zaman artışı
j	0,1-yıllık zaman artışı
n	Hesap edilen yıl

Kısaltmalar

ADNKS	Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz yakıtı
Çöp	Evsel katı atık
Deponi	Katı atık depolama alanı
DOC	Parçalanabilir organik karbon

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

Kısaltmalar	Açıklama
$DDOC_m$	Parçalanabilen organik karbon miktarı
DOC_f	Parçalanabilir organik karbon fraksiyonu
$DDOC_{maT}$	T yılı sonunda parçalanabilen organik karbon miktarı
$DDOC_{maT-1}$	T -1 yılı sonunda parçalanabilen organik karbon miktarı
$DDOC_{mdT}$	T yılı sonunda bertaraf edilen organik karbon miktarı
$DDOC_{mdecompT}$	T yılın sonunda bozunan parçalanabilir organik karbon bozunması
EfW	Atıktan enerji üretme
ESMAP	Dünya Bankası Enerji Verimliliğini Arttırma Programı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
GHG	Sera gazı
HDDA	Harmandalı Düzenli Depolama Alanı
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
İBB	İzmir Büyükşehir Belediyesi
İZGEP	İzmir Atık Toplama ve Geri Kazanım Sanayi Anonim Şirketi
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
LASDER	Lastik Sanayicileri Derneği
LCA	Yaşam Döngüsü Değerlendirme

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

Kısaltmalar	Açıklama
MCF	Metan düzeltme faktörü
MSWI	Kentsel katı atık yakma
ÖTL	Ömrünü tamamlamış lastik
PAFC	Fosforik asit yakıt hücreleri
PE	Polietilen
PET-DER	Petrol Sanayi Derneği
PVC	Polivinil klorür
RDF	Atıktan türetilmiş yakıt
SWM	Katı atık yönetimi
TAP	Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu.
VFA	Volatile Fatty Acid (Uçucu Yağ Asidi)

1.GİRİŞ

Günümüzde kentselleşme olgusu (yerleşim merkezlerinde nüfusun artması) ile birlikte yaşam standartlarının artması, tüketimin hızlı bir biçimde yükselmesine neden olmaktadır. Dünya nüfusunun 2015 yılına kadar 7,2 milyara ulaşacağı ve hızlı kentleşme sonucu 2025 yılına kadar kentlerde yaşayan insan sayısının bugünküne nazaran 2-3 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir (UNEP, 2009). Artan nüfus ve hızlı gelişen sanayileşme gittikçe büyüyen ve güncel bir sorun olan evsel ve sanayi kökenli katı atıklar sorunun da beraberinde getirmiştir.

Yerleşim merkezlerinin ve sanayi tesislerinin yol açtığı en önemli sorunlardan biri de katı atıklardır. Özellikle sanayi kökenli atıkların içerdikleri ağır metal ve zehirli maddelerin yüzey ve yeraltı suları için oluşturdukları tehlike insan yaşamı ile yakından ilgilidir. Şehir merkezlerindeki nüfusun ve sanayi tesislerinin bu ölçüde artması, şehirlerimiz etrafında süratle büyüyen kontrolsüz çöp dağlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum hoş olmayan görüntü ve koku problemlerine neden olduğu gibi çöp dağlarının patlama ve kayma tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu tür atıkların sağlıklı ve ekonomik ve ekonomik bir şekilde depolanması ve geri kazanılması konusu önemle gündeme gelmiştir (İrican, 2011).

Türkiye'de yapılan araştırmalar ve resmi verilere göre, atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerden 2010 yılında toplanan 25,28 milyon ton belediye atığının, %43,5'i belediye çöplüklerine dökülürken, %55,2'si düzenli depolama sahaları veya kompost tesislerine götürülmüş, %1,3'ü ise diğer yöntemler ile bertaraf edilmiştir. 2008 yılı ile karşılaştırıldığında çöplüğe dökülen belediye atık miktarı %13,2 azalırken, atık bertaraf ve geri kazanım tesislerine götürülen belediye atık miktarı %25,6 artmıştır (TÜİK, 2010a).

Bu durum katı atıkların bertarafı konusunda hala yeterli altyapı hizmetinin verilemediği gerçeğini ortaya koymaktadır. Öte yandan altyapı tesislerinin yüksek maliyetli yatırımlar gerektirmesi, katı atık uzaklaştırma hizmetlerinin ekonomik boyutunun sanılandan daha büyük olduğunu ve bu konuda daha ciddi çalışmalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Türkiye'de katı atıklar konusunda altyapının yeterli seviyede olmaması, uygulamaya yönelik bilgi birikiminin henüz istenilen seviyede olmaması, mevcut tesislere ait verilerin düzenli olarak kaydının yapılmaması, bu konuda yapılacak yatırımlar için önceden fikir sahibi olunmasını

engellemektedir. Bu kapsamda özellikle büyük şehirlerin katı atık bertaraf yöntemlerini inceleme adı altında İzmir örneğinden yola çıkılmıştır.

İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Tesisinin 1992 yılında işletmeye açılmasıyla, ülkemizde düzenli katı atık bertaraf sistemini ilk uygulamaya başlayan kentlerden biri olmuştur. 20 yılı aşkın işletme süresi boyunca İzmir mücavir alanı içinde üretilen kentsel katı atıkların önemli bir bölümü, bu tesiste bertaraf edilerek, katı atıklardan kaynaklanabilecek olası çevre sorunlarının ve sağlık etkilerinin asgari düzeye indirilmesi sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, İzmir mücavir alan sınırları içerisinde oluşan kentsel katı atıkların (evsel, endüstriyel, tıbbi atıklar ile arıtma çamuru) düzenli olarak depolandığı Harmandalı Düzenli Depolama Alanı'nda (HDDA'da), deponi gazı oluşumu ve gaz toplama sistemi ile ilgili mevcut koşulların ortaya konulması ve oluşan deponi gazının bertaraf ve değerlendirme seçeneklerinin araştırılmasıdır.

Çalışmada, katı atıkların bertaraf amaçlı depolandığı alanlar için deponi terimi, buradan çıkan gaz için deponi gazı ifadesi kullanılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın da konusu olan, atıkların bertaraf amaçlı depolandıkları alanlarda oluşan deponi gazı ve bu gazın toplanması ile ilgili mevcut koşulların fizibilite edilmesi, oluşan metan gazı potansiyelinin belirlenmesi ve bertaraf edilmesi ile ilgili seçeneklerin araştırılması hakkında yapılmış olan çalışmalar aşağıda iki alt bölümde özetlenmiştir.

2.1. Deponi Gazının Kullanımına İlişkin Çalışmalar

Katı atık depolama sahaları, tıp ki bir arıtma tesisindeki anaerobik çürütücü gibi bir biyokimyasal reaktör olarak çalışmaktadırlar. Deponi alanına katı atığın depolanması ile birlikte deponi içerisinde ayrışma başlamakta olup, anaerobik ortamda organik maddelerin bozunması sonucunda bozunma gazları meydana gelmekte ve oluşan bu gazlar "Deponi Gazı" olarak adlandırılmaktadır (Sezgin vd., 2003).

Deponi gazı metan, karbondioksit ve bazı küçük hacimlerdeki gazlardan (N_2, H_2, H_2S vd.) oluşmaktadır. Bu gaz, nemli organik atıkların bozunmasından (ayrışması) oluşmaktadır. Metan gazı formunun oluşabilmesi için deponinin anaerobik koşullarda bulunması gerekmektedir. Bu anaerobik koşullar, oksijenin varlığının tükenmesi ile başlar (Lamborn, 2010).

Atıkların arazide depolanması, atık bertaraf yöntemlerinin en eskisi ve en çok kullanılanıdır. Katı atıkların araziye gelişigüzel atılması, sızıntı suyu ve oluşan gazın kontrolünün yapılmaması vahşi depolama olarak tanımlanmaktadır. Düzenli depolama ise basit olarak katı atıkların, sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek tabii biyolojik reaktör haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Depolama sahasında biriken kentsel katı atıkların bozunması sonucu, başlıca metan ve karbondioksitten meydana gelen deponi gazı oluşur (Akpınar, 2006).

Düzenli depolama sahalarında oluşan deponi gazı, sahadan uygun tekniklerle toplanıp değerlendirilmezse, patlayıcı ve yanıcı-parlayıcı özelliğinden dolayı insan ve çevre sağlığı açısından büyük risk taşır. Bu riskin ortadan kaldırılması için depolama sahalarında oluşan gaz, uygun tekniklerle toplanıp gaz yakma bacaları (flare) vasıtası ile yakılabilir. Fakat aynı zamanda büyük bir enerji değeri olan bu gaz, arıtılarak doğal gaz olarak, ya da gazın direkt motorlarda

kullanılması sureti ile enerji üreterek de değerlendirilebilir. Ayrıca karbondioksit gazından 21 kat daha fazla sera gazı etkisine sahip olan metan gazı bertaraf edildiğinden salım azaltımına büyük katkılar sağlanır (İstaç, 2011).

Deponi gazı, eğer çevre mevzuatlarına gaz çıkarımı yapılır ve herhangi bir yolla yakılması sağlanırsa, nispeten ekonomik bir kaynak olabilir. Elektrik enerjisi amaçlı kullanımı, rüzgar ve güneş tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarına, elektrik maliyetlerini düşürme açısından katkı sağlayabilir.

Deponi gazından elektrik enerjisi üretmek, her gelişmiş ülkeye hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinden sonra yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak çok fayda sağlayacaktır (Last, 2011).

Tüm nemli, sıkıştırılmış katı atıklarda, oksijenin tamamen tükenmesi ve metan gazının üretilmesi (metanojenik evre) 6 ila 18 ay sürebilir. Üretilen metan gazı borularla elektrik güç tesislerine taşınır ve burada içten yanmalı motorlarda veya gaz türbinlerinde yakılarak elektrik enerjisi üretilir. Bu durum atıktan enerji (EfW) olarak da bilinir. Neyse ki deponi gazı, azot oksitler, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve uçucu organiklerin oluşturdukları salımlar açısından düşük kirliliğe sahip bir gazdır (Last, 2011).

Aslında deponi gazı azot oksitlerinin, deponi gazının yakılması sonucunda düşük alev sıcaklığı sağlandığından, doğal gazlı yanmalarına göre %70 daha düşük salım oluşturduğu iddia edilmektedir (Last, 2011).

Deponi gazı, genellikle gaz motorlarında elektrik enerjisi üretmek amaçlı yakıt olarak kullanılmaktadır. Gelecekte bu gaz, daha ileri seviyede temizleme ile, araçlarda direk kullanılabilecek sıkıştırılmış doğalgaz yakıtı (CNG), doğal gaz şebekesine direk pompalanabilecek ve hatta bio-dizel olarak da kullanılabilecektir (Last, 2011).

Anaerobik çürütme tesislerinden ve deponi alanlarından üretilen biyogaz ağırlıklı olarak CH_4 ve CO_2, az miktarda H_2S ve NH_3 ve eser miktarda H_2, N_2, CO, O_2, aromatikler, halojenli bileşikler (klorürler, florürler vb.) ve silikonlar içerir ve su buharı ile doymuştur. Biyogaz, hacimsel olarak %60-70 metan (CH_4), %30-40 karbon dioksit (CO_2), %1-2 azot (N_2) ve atıksudaki kükürt derişimine bağlı olarak hidrojen sülfür (H_2S) içerir. Biyogaz, arıtıldıktan ve kalitesi iyileştirildikten sonra doğalgazın kullanıldığı yerlerde kullanılabilir. Elektrik ve

enerji üretiminin yanı sıra son zamanlarda araçlarda yakıt olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Dünya'da biyogazla çalışan 10.000 civarında araç vardır (Türker, 2008).

Çevreye yayılarak patlamalara, zehirlenmelere sebep olabilecek deponi gazının yatay veya düşey gaz toplama sistemi ile toplanıp meşalelerde yakılması veya enerji üretmek suretiyle değerlendirilmesi gerekir. Deponi gazının en önemli özelliği metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp basına 19750 kJ civarındadır. Depolama sahası kapatıldıktan sonra uygun teknoloji kullanılarak deponi gazından enerji elde etmek mümkündür. Bir milyon ton çöpün ayrışması sonucu 510 m^3/gün deponi gazı geri kazanılabilir. Bu değer yaklaşık 800 kWh elektrik üretimi için yeterlidir. Deponi gazından enerji üretim tesisinin ömrü 10-20 yıl arasında değişmektedir. Depolama sahası yaşlandıkça zaman içinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer. Kümülatif gaz üretimi ise pik noktaya ulaştıktan sonra stabil hale gelir (Akpınar, 2006).

Yenilenebilir enerji endüstrisinde uzman bir ekibin çalışmaları sonucunda, kentsel katı atık depolama alanlarından enerji kazanma konusunda en avantajlı teknoloji Atina (Yunanistan)'da uygulanmıştır. Bu uygulama ile Mart 2001 yılında, ana yakıtı Ano Liosia Katı Atık Depolama Alanındaki metan gazı olan, 13.8 MW güç kapasitesinde ve modüler tipte bir elektrik üretim santrali devreye alınmıştır ve başarıyla çalışmıştır (Koçbaş, 2004).

Kemerburgaz Hasdal Depolama Sahası, İstanbul'un en büyük ve en eski katı atık depolama sahasıdır. Hasdal vahşi depolama sahası 1974 yılında faaliyete girmiş olup, 1995 yılında kapatılmıştır. 1999 yılında deponi gazlarından elektrik üretimi için çalışmalar başlanmıştır. Proje kapsamında araştırma aşamasının bir parçası olarak üretilen gaz miktarını ve kalitesini ölçmek amacıyla Soiltec firması tarafından pompa testleri yapılmıştır (Özaktaç, 2004).

Pompalama testleri Soiltec firması tarafından başlatılmış ve daha sonra dengeleme ve ölçümleme işlemleri Soiltec firmasının talimatıyla Yapısal firma personeli tarafından yapılmıştır. Bu testlerin sonuçlarına göre ortalama metan içeriği %52, ortalama debi 26 m^3/sa ve %1,2 O_2 olarak tespit edilmiştir.

Hasdal vahşi depolama tesisinde evsel, endüstriyel ve ticari olmak üzere 5,6 milyon m^3 kontrol dışı oluşan gaz bulunmaktadır. Katı atık hacmi ise 8,2 milyon m^3'dür. Sahada 180 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların etki yarıçapı

20 m'dir. Eski çöplük ve yeni çöplük 4 hücre ile ayrılmıştır; A,B,C ve D 3 hat ile gaz taşınmaktadır. 15 adet toplayıcı manifold mevcuttur. Gaz, bu monifoldlar da toplandıktan sonra 3 adet ana kolektör ile gaz santraline taşınmaktadır. Gaz hareketinden dolayı oluşacak yoğuşma suyunu ve gaz oluşumu ile meydana gelecek çöp suyunu almak amacıyla su tutucular konulmuştur. Hasdal depolama tesisindeki gaz toplama sisteminde, dikey kuyular, üstten 2 m deliksiz, diğer kısmı delikli HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) borular bulunmaktadır. Çöpün kot farkına göre 9-45 m arasında borulama yapılmıştır. Boruların etrafı 60 cm çakıl ile doldurulmuş ve drenaj sağlanmıştır (Özaktaç, 2004).

Taşıma sistemi 110, 250, 315, 400 mm'lik borularla yapılmıştır. Bu borularla gaz, tesisin arıtma-soğutma bölümüne gelerek partiküllerden arınıp, soğutularak, elektrik enerjisi üretimi için gaz motorlarına gelmektedir. Arıza olması veya ihtiyaçtan fazla gaz olması durumunda tehlikeli ve çevre için riskli olan gazı, bertaraf edebilmek için 1500 m^3/sa'lik yakma debisine sahip bir yakma bacası dizayn edilmiştir. Yanma sıcaklığı, optimum gazın içindeki zararlı bileşenleri yok etmek ve salım problemlerini azaltmak için 1020°C'dir. Motorlar için gerekli olan maksimum volimetrik verimi sağlayabilmek için gazın belli bir sıcaklık değerini aşmaması gerekmektedir. Depolama sahasındaki bu proseste bu sıcaklık 40°C'dir.

Sistem mezofil kademede çalışmaktadır. Sahada anaerobik bir hareket bulunmaktadır. Proses de otomasyonla yönetilen 4 kademeli bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Bu soğutma sisteminde gaz sıcaklığı 40°C'ye çıkarsa 1. kademe devreye girer, sistem iki dakika saydıktan sonra sıcaklık 40°C'nin altına düşerse, sistem durmaktadır. Sistemin çeşitli noktalarında alev tutucular mevcuttur. Gazın hareketinden dolayı oluşacak kıvılcımları tutarak, çöp sahasına geri besleme olmasını engeller. Gaz arıtma soğutma sisteminde ayarlanabilir voltmetre, debimetreler, basınç anahtarları mevcuttur.

Gaz motorları kojenerasyon (Atık ısının değerlendirilmesi) ile çalışmaktadır. Gücün yanında ısı enerjisi de elde edilmektedir. Gaz motorlarının elektrik verimi %38,6 ısı verimi ise %45-50 arasındadır. Kayıplar ise %10-20 arasında değişmektedir. Tesiste şuan kojenerasyon işlemi yapılmamaktadır. Sadece motorun ceket suyu sıcaklığı iç ısıtmada kullanılmaktadır. Egzozdan çıkan ısı fizibil olmadığından dolayı kullanılmamaktadır. Motorlar 4 zamanlıdır (emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz).

Tesiste 20 silindirli V-70 tipi motorlar kullanılmıştır. 10006 kWh'lık elektriksel çıkışları, 1250 kWh ısı çıkışları, 250 kWh kayıpları mevcuttur. Motorlar Leanox (Zayıf oksijen) prensibine göre çalışmaktadır. Az yakıtla daha çok güç elde edilmektedir. Gaz arıtılıp temizlendikten sonra 3 yollu vana vasıtasıyla hava ile birleştirilir ve elde edilen gaz hava karışımı silindirlerde yakılmak suretiyle dönen bir alan oluşturulur. Krank mili jeneratörün miline aküple birebir bağlıdır. Krank mili hangi yöne dönerse jeneratör de o yönde döner, jeneratör uçlarında 400 volt elektrik enerjisi sağlanır ve bu elektrik enerjisi transmatörlerde 34500 volta (34,5 kV) yükseltilerek ana şebekeye verilir (Özaktaç, 2004).

Gaz santralinde üretilen elektriği TEDAŞ'ın (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin) dağıtım sistemine iletmek için oluşturulan şalt tesisine step-up trafolar monte edilmiştir. Ayrıca trafo ile TEDAŞ bağlantı noktası arasında havai elektrik dağıtım hattı çekilmiştir. Bu depolama tesisine ait deponi gazı projesi kapsamındaki veriler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kemerburgaz deponisi gaz üretim ekipman verileri.

Kurulu Güç Kapasitesi	6 MW
Gaz Emiş Kapasitesi	4680 m^3/sa
Gaz Kuyusu Sayısı	180 adet
Gaz Toplama Borusu Çapı	110 mm
Kolektör Merkezi Sayısı	15 adet
Kolektör Merkezinden Çıkan Boruların Çapı	250 mm
Ana Toplayıcı Boru Çapı	400 mm
Blover Sayısı	3 adet
Jeneratör Sayısı ve Kapasitesi	4 adet/1 MW
Jeneratör Enerji Verimi	%38,80

Kaynak: (Özaktaç, 2004).

Fizibilite raporlarına göre tesiste 2003 yılı içerisinde 7668 MWh enerji üretilmiştir. Tesisten %27 verim elde edilmiştir. Verimin az olmasının sebebi işletmeden kaynaklanmayıp, sahada vahşi depolama yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Sahada üretilen gaz miktarı tam olarak bilinmediği için üretilen gazın tamamı değerlendirilememektedir. 2004 yılı ocak ayı içerisinde, 496,2 MWh/2004 Ocak, Şubat ayında ise 601 MWh enerji üretilmiştir. Tesis kurulduğu günden itibaren (2002 yılından beri) 01.03.2004 tarihine kadar üretilen toplam enerji

miktarı 11.407.000 kWh'tır. 2003 yılı içerisinde motorlar 9155 saat çalışmıştır (Özaktaç, 2004).

Başka bir çalışma ile de, İstanbul'un Avrupa yakasındaki (Odayeri – Eyüp) ve Asya yakasındaki (Kömürcüoda – Şile) düzenli depolama sahalarında oluşan deponi gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi maksadı ile 'Deponi Gazından Enerji' projeleri başlatılmıştır. Odayeri ve Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahalarında 2005 yılında pompaj testi ve gaz tahmin modeli ile deponi gazı üretim miktarı ve enerji üretim projeksiyonu ortaya konmuştur.

Bu çalışmalar sonunda, Odayeri Düzenli Depolama Sahası için maksimum kurulu gücün 25 ila 30 MW arasında olacağı hesaplanmıştır. Böylece, 2007–2030 yılları arasında yaklaşık 2.203 GWh elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Aynı şekilde Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası için maksimum kurulu güç 10 ila 15 MW arasında olacağı hesaplanmış ve 2007–2030 yılları arasında yaklaşık 1136 GWh elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Her iki sahanın toplam kurulu gücünün 35 ila 45 MW aralığında olacağı ve yaklaşık 3339 GWh elektrik enerjisi üretileceği hedefi ortaya konmuştur. Bu rakam yaklaşık 200.000 haneli bir şehrin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. Ayrıca yapılan gaz ölçüm sonuçlarına göre her iki sahadaki metan oranı yaklaşık %50 ila %60 arasında ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar ve ortaya konan enerji üretim projeksiyonu çerçevesinde, Yap-İşlet Modeli ile 2007 yılında ihaleye çıkılmış ve imalata başlanmış ve 2008 sonunda enerji elde edilmeye başlanmış ve proje her geçen gün genişletilmektedir.

Proje çerçevesinde Odayeri Düzenli Depolama Sahasında derinliği 15 ila 45 metre arasında değişen 133 adet düşey gaz toplama kuyusu açılmıştır. Kuyulardan emilen gazlar, toplam 15 adet manifoldda toplanarak tesisin Gaz Arıtma ve Soğutma bölümüne gelmektedir. Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahasında ise toplam 111 adet düşey gaz toplama kuyusu açılmış ve toplamda 15 adet manifold imal edilmiştir. Depolama sahasında mevcut olan sızıntı suları, sızıntı sularının fazla olduğu düşey kuyulara yerleştirilecek özel pompalar vasıtası ile çekilerek, sızıntı suyu arıtma tesisine nakledilmektedir.

Sahadan körükleyiciler (blower) ile emilen gaz, ana toplama borularıyla tesisin gaz arıtma ve soğutma bölümüne gelmektedir. Bu bölümde gaz, içerisindeki partikülden ve nemden arındırılmaktadır ve motor için gerekli şartlar

sağlandıktan sonra sahadan emilen gaz, enerji üretmek amacıyla gaz motorlarına verilmektedir. Aynı zamanda sahalarda vakumu sürekli sabit tutmak amacıyla gaz balonları bulunmaktadır. İşletme şartlarına göre depolama vazifesi görmektedir.

Tesislerde, her biri 1,415 MWh kapasiteli gaz motor ve jeneratör setleri kullanılmaktadır. Gaz motorları 20 silindirli olup 4 zamanlı motor prensibiyle çalışmakta ve gaz motorlarına akuple edilmiş jeneratörün uçlarından 400 V elektrik enerjisi elde edilmektedir. Jeneratörün uçlarından alınan 400 V elektrik enerjisi trafolarda 34,5 kV orta gerilim seviyesine yükseltilerek enterkonnekte sisteme verilmektedir. Gaz motorları bina tipi tercih edilmiş olup buna uygun bir santral binası inşa edilmiştir. Kojenerasyon üniteleri ile elektrik enerjisinin yanında ısı enerjisi de üretilebilecek ve bu ısı daha sonra farklı projeler için kullanılabilecektir.

Enerji üretimi için gerekli miktarın üzerinde ve gaz motorlarının bakımı veya arızası durumunda eğer gaz balonları da doluysa çekilecek olan gaz 2000 m^3/saatlik iki adet yakma bacası (flare) ile yakılarak bertaraf edilecektir. Böylece tesisin çalışmaması durumlarında dahi salım azaltımına katkıda bulunulabilecektir.

Bu projeler elektrik satışlarına ek olarak karbon salım azaltımı geliri sağlamaktadır. Proje kapsamında kurulan sistemler, metan gazını yakarak karbondioksite çevirdiği için, uluslararası gönüllü karbon pazarlarında satılabilecek "karbon kredisi" üretmektedir. Yakma işlemi elektrik üretimi yoluyla yapıldığı için de bu proje için, günümüzde en prestijli karbon kredisi akreditasyon kurumu olan Gold Standart Vakfı tarafından onaylama çalışmaları yürütülmektedir. Projelerin 22 yıllık ömrü içinde, yılda ortalama 1,2 milyon ton karbon dioksit karşılığı salım azaltımı kredisi sağlaması beklenmektedir. Bu miktar yaklaşık olarak 600.000 aracın trafikte yaydığı karbon salımına tekabül etmektedir.



Şekil 2.1. Odayeri ve Kömürcüoda deponi gazından elektrik üretim tesisleri (İstaç, 2011).

Katı atık düzenli depolama sahalarında havasız ortamda oluşan çöp gazının, yakılarak veya enerji üretimi maksadıyla kullanılarak mutlaka bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bunun için de çöp sahalarında aktif bir deponi gazı yönetiminin oluşturulması önemlidir. Deponi gazının insan sağlığı ve çevre üzerine olan olumsuz etkilerinin yok edilmesi veya azaltılmasına yönelik her türlü çalışma bu yönetimin kapsamı içine girmektedir. İstanbul ilindeki düzenli depolama sahalarındaki çalışmalarda görüldüğü üzere; deponi gazının çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerin giderilmesinin yanında, oluşan bu gazın değerlendirilmesi suretiyle ekonomik bir değer haline getirilmesi de mümkündür. Tüm bu şartlar altında ve İstanbul örneği özelinde deponi gazı yönetiminin ne kadar önemli ve gerekli olduğu ortaya çıkmıştır (İstaç, 2011).

Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin "Kentsel Katı Atık Depolama Alanında Oluşan Metan Gazından Enerji Elde Edilmesi İşi" kapsamında saha içi gaz toplama sistemlerinin yapım çalışmalarına başladığını hatırlatan belediye yetkilileri, ana vadide depolanmış katı atık içinde yatay kanallar ile birlikte düşey kuyular açılarak metan gazı toplama sistemleri oluşturulmaya başlandığını, saha içi gaz toplama sisteminin inşasını takiben de ana toplama sistemi yapımına geçildiğini kaydetti. Bu sayede ana toplama sistemindeki gaz jeneratörlere aktarılacak ısı ve elektrik enerjisi üretilecek ve üretilen elektrik enerjisi, EPDK tarafından düzenlenecek olan üretim lisansını takiben oluşturulan nakil hattı üzerinden TEİAŞ'a (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'ne) verilerek şebeke içi dağıtımı sağlanacak. Üretilen ısı enerjisi ise, kurulacak olan seralarda enerji kaynağı olarak kullanılacak.

Kentsel katı atık depolama alanında oluşan metan gazından enerji elde edilmesiyle birlikte yaklaşık 3000 m^3/sa metan gazı form değiştireceğinden iklim değişikliğine neden olan sera gazı etkisine sebep olan yaklaşık 150.000 ton/yıl CO_2eş. azaltılmış olacak. Aynı zamanda deponi gazı kontrol altına alındığından dolayı depolama alanları koku probleminde de önemli bir azalma sağlanacak. Çevresel değerlerin korunmasının yanı sıra, enerji ihtiyacının sürekli arttığı günümüzde kentsel katı atık depolama alanında oluşan metan gazının yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla birlikte, yıllık 20.000 konutun aydınlatmasına eşdeğer yaklaşık 33.600.000 kWh elektrik enerjisi de üretilecek (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2011).

2.2. Deponi Gazının Tahminlenmesine Yönelik Çalışmalar

Bir deponi gazı üretim modeli, belli bir hacimdeki atıktan belirli bir zaman fonksiyonunda üretilen toplam deponi gazı veya metan gazını tahmin eden bir araçtır. Bu modelin amacı, bir deponideki atığın bozunma süresince oluşan karmaşık değişiklikleri basit terimlerle tanımlayabilmektir (Lamborn, 2010).

Tahmin modellerinin doğrulanmasında deponinin karakteristiklerini içeren çok sayıda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmişte, deponilerde bertaraf edilen atıkların miktarı ve kompozisyonuna ait veriler kayıt altına alınmadığından, detaylı bir deponi gazı çalışması yapmak oldukça zordu (Lamborn, 2010).

Gaz üretimini tahmin etmede, deponi karakteristiklerini tam olarak anlamak oldukça önemlidir. Diğer bir önemli durum ise, gaz çıkış veriminin tahmin edilmesidir. Bu, deponilerde üretilen toplam deponi gazını hesaplamada kullanılan gaz kuyularından çıkan gaz akışını tespit etmede gereklidir Alan ölçekli geçerli gaz üretim modelleri, diğer deponi gazı olasılık koşullarını (salımlar, oksidasyon, alansal dağılma, geçici iç depolama) dikkate almaksızın gaz geri dönüşüm verilerini kullanarak tahminleme yapmaktadır (Lamborn, 2010).

Narre Warren deponisi (Victoria, Avustralya), deponi gazı modellerinin doğruluğunu araştırmak için seçilmiştir. Bu araştırma, Narre Warren deponisi için toplanmış olan olağandışı tarihsel verilerle desteklenmiştir. Bu deponi, 1982'den 1996 yılına kadar işletilmiştir. Deponi alanı 45 hektar olup, yaklaşık 3,5 milyon metre küp hacme sahip atık barındırmaktadır. Deponi gazı güç üretim istasyonu Energy Development Ltd. firması tarafından 1992 yılında faaliyete alınmıştır. 1992 deki faaliyetinden beri tüm üretilen gaz verileri kayıtlara geçirilmiştir.

Narre Warren deponisi, Avustralya'nın deponi gazı güç üretim istasyonuna sahip ilk deponisidir. Sonuç olarak, detaylı olarak ve işletim ömrü boyunca test edilebilmiştir. Bu deponi tesisinden elde edilen verilerle, daha doğru bir model geliştirilmesi amacı ile deponi gazı üretim modellerinin kalibre edilmesi ve geçerliliğinin sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Lamborn, 2010).

Jacobs and Scharff'ın (2001) yaptığı bir çalışmada, Hollanda'daki Nauerna deponisindeki atıklardan metan gazı salımları ölçmede 6 farklı matematiksel tahmin metodu kullanılmış olup, bu modeller aşağıda belirtilmiştir.

1- 1. Dereceden kinetik model (TNO)

2- Multi-Phase Modeli

3- GasSim Modeli

4- Eper Modeli (Fransa)

5- Eper Modeli (Almanya)

6- LandGEM (US EPA)

Karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesi için her bir model de eşit değerli veriler kullanılmıştır (k değerleri gibi).

Bu modellere göre açığa çıkan metan salım sonuçları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Çizelge 2.2 incelendiğinde, metan salım değerlerinde büyük farklar görülebilmektedir. En büyük ve en düşük salım miktarı arasındaki fark 4,018 m^3 CH_4/h'dir. GasSim-Multi-Phase ve US EPA LandGEM modelleri yüksek miktarlarda metan salımı hesaplamışlardır. Bu iki LandGEM modeli arasındaki farkın nedeni, US EPA LandGEM modelinin depolanan atık miktarı olarak kentsel katı atık miktarının tamamını ele almasıdır.

Kentsel katı atıkların ise çok fazla miktarda organik karbon içeren atıklardan oluştuğu bilinmektedir. Böylece bu modeller, Hollanda'daki karışık atıkları içeren deponilere kıyasla daha fazla metan üretiminin olduğunu göstermektedir.

En düşük metan salımı ise Eper-Fransa modeline ait olup, 192 m^3 CH_4/h'dir. Multi-Phase ve Eper-Almanya modellerinin metan üretim miktarları ise sırasıyla, 483 ve 375 m^3 CH_4/h'dir ve oldukça kayda değer verilerdir.

Çizelge 2.2. Nauerna deponisinde, çeşitli tahmin modellerinden elde edilen metan üretim miktarları.

Model		Metan Salımı (m^3 CH_4/h)
1.dereceden		853
Multi-Phase		483
GasSim	Multi-Phase	883
	LandGEM	2683
EPER Fransa		192
EPER Almanya		375
LandGEM (US EPA)		4210

Kaynak: (Jacobs and Scharff, 2001).

Can ve Alten, (2011) yaptıkları bir çalışmada, Çanakkale deponi alanında oluşan atıklardan oluşabilecek metan gazı üretim miktarlarını tahmin etmede 3 farklı model üzerinde çalışmışlardır. Bunlar aşağıda sunulmuştur.

1- Tabasaran/Rettenberger Modeli

2- Scholl Canyon Modeli

3- USEPA-LandGEM Modeli

Modellere ait metan gazı üretim miktarlarını gösterir sonuçlar aşağıdaki Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Çanakkale deponisindeki atıkların tahmin modellerine göre metan gazı üretim değerleri.

Modeller	Tabasaran/Rettenberger	Scholl Canyon	USEPA LandGEM
Ort. Metan Üretimi (m^3/yıl)	3.033.316	3.434.865	4.073.988
Metan Üretimi (m^3/ton)	125	140	168

Kaynak: (Can ve Alten, 2011).

İstanbul'un eski depolama tesislerinden biri olan Kemerburgaz Odayeri Depolama Tesisindeki metan gazı potansiyelini belirlemek için yapılan bir çalışmada (Özaktaç, 2004) kullanılan matematiksel model EPA LandGEM modeli olup, bu modelin iki ayrı fonksiyonel (CAA ve AP-42) hesaplama yöntemine göre oluşan deponi gazı miktarları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Odayeri deponisindeki model sonuçlarının karşılaştırılması.

	Birim	CAA	AP-42
Toplam atık	Ton	16.885.250	16.885.250
Toplam metan oluşumu	m^3	294.500.000	170.500.450
Toplam gaz oluşumu	m^3	5.890.000.000	3.401.020.900
Birim gaz oluşumu	m^3 gaz/ton atık	349	201

Kaynak: (Özaktaç, 2004).

3. KATI ATIKLAR

Atıklar uzun zamandan beri görülmektedir. Örneğin eski Roma'da hayvan ve insan atıkları açılan çukurlara dökülmekteydi. Bronz çağındaki kentlerden Troy'da olduğu gibi çöpler oldukça büyük miktarlara ulaşmıştır. Modern deponilerde olduğu gibi bu devirlerde de kil tabakalarıyla ayrılarak depolanmıştır. Çöp toplayıcıları geri dönüşümün ilk uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Çöplerden işe yarar malzemelerin alındığı ayırma işlemi 1960'lı yılların Londra'sında kötü bir fikir olarak kabul edilmiş ve yasaklanmıştır. Ancak günümüzde atık yönetim fikrinin önemli bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tarihsel olarak da atıklar ve sağlık arasındaki ilişki de katı atık yönetiminin gelişmesinde katalizör etki oynamıştır. 19. yüzyılın ortalarında yapılan bir çalışmada kolera salgını, Thames nehrine bırakılan kanalizasyon sularının etkisi ile meydana geldiği tespit edilmiştir. Yakın zamandaki atık bertaraf uygulamaları da sağlık problemlerinden kurtulmak için yapılmıştır.

Atık arıtımında Avrupa'dan Amerika'ya ulaşan diğer bir örnek de çöp ve hayvan ölülerinin büyük kaplarda kaynatılmasıdır. Bu işlem sonucu yağ ve kalıntılardan meydana gelen siyah bir yapışkan madde oluşmaktadır. Bu yağ mum, sabun gibi maddelerin yapımında kullanılmış arta kalan malzeme ise gübre olarak tarlalara serpilmiştir. Fakat bu proses sonucu oluşan diğer atıklar ise derelere bırakılmıştır. Bu yöntem Avrupa'da 1920'lerde durdurulmuş, ABD'de (Amerika Birleşik Devletleri'nde) ise 1950'li yıllara kadar devam ettirilmiştir. Atıkların yakılması İngiltere'de 1870'li yıllarda geliştirilmiştir (İrican, 2011).

Katı atık sorununun çözümüne ilişkin olarak 1888 yılında İngiltere'de katı atıkların sulara, nehirlere ve arklara dökülmesini yasaklayan şehir sağlık kanunu yürürlüğe girmiştir. 1899 yılında ABD'de gemilerin dolaştığı sular ve onlara komşu karalara çöp boşaltımının düzenlenmesini sağlamak amacıyla Nehirler ve Limanlar Kanunu yürürlüğe girmiştir (Tosun, 2011).

3.1. Katı Atık Olgusu

Literatürde ve mevzuatta ''katı atık'' olgusuna ilişkin çeşitli tanımlar yer almaktadır. Armağan vd. (2006), ''katı atık'' olgusunu ''sahibinin istemediği, ancak ekonomik değeri olan ve toplumun menfaati gereği toplanıp fen ve sanat kurallarına, bilimsel esaslar, mühendislik prensiplerine göre bertaraf edilmesi

gereken katı şeyler'' biçiminde ifade ederken, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde ise ''katı atık'', üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru'' olarak tanımlanmaktadır. (Armağan vd., 2006).

Katı Atıklar, insan aktivitelerinden ileri gelen ve normalde katı halde bulunan, kullanılamaz hale gelmiş veya istenmeyen maddelerin tümünü kapsar (Tosun, 2011).

3.2. Katı Atıkların Kaynakları ve Sınıflandırılması

Katı atıklar aşağıda verildiği gibi çok değişik kaynaklardan oluşabilirler:

1- Evsel
2- Ticari
3- Kurumsal
4- İnşaat ve Hafriyat
5- Şehir Servisleri
6- Arıtma Tesis Alanları
7- Endüstriyel
8- Tarımsal

''Kentsel katı atık'' terimine literatürde çok sık rastlanmaktadır. Bu terim, genellikle endüstriyel prosesler ve tarımsal aktiviteler dışında yoğun insan yaşamının olduğu alanlarda (şehirlerde), direkt insanlar tarafından meydana getirilen atıkları kapsamaktadır (İrican, 2011).

Katı atık kaynakları ve katı atıkların çeşitleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Katı atık kaynakları ve tipleri.

Kaynak	Tipik Aktivite ve Yerler	Katı Atık Tipi
Evsel	Evler, apartman ve siteler	Yiyecek atıkları, kâğıt, karton, mukavva, plastik, tekstil, bahçe atıkları, odun, cam, metal, özel atıklar (pil, petrol, araba lastiği)
Ticari	Dükkân, restoran, market, ofis binaları, otel, motel, benzin istasyonları, otomobil tamir yerleri	Kâğıt, mukavva, karton, plastik, odun, metal, yiyecek atıkları, cam, özel atıklar, tehlikeli atıklar
Kurumlar	Okullar, hastaneler, üniversiteler, Cezaevleri, resmi daireler	Ticari atıklar gibi
İnşaat	Yeni inşaat yapım alanları, yol onarımları, bina yıkım yerleri	Odun, çelik, beton, toz
Şehir servisleri (İyileştirme işlemleri hariç)	Cadde temizliği, peyzaj, park ve plajlar, çöp kutuları	Kullanılmayan maddeler, çöp, süpürme atıkları, döküntü, genel atıklar
İyileştirme tesis alanları	Su, atık su, endüstriyel iyileştirme süreçleri	Atık çamur
Şehirsel katı atıklar	Yukarıdakilerin hepsi	Yukarıdakilerin hepsi
Endüstri	İnşaat, fabrikalar, hafif ve ağır sanayi, rafineriler, kimya tesisleri, güç santralleri	Endüstriyel süreç atıkları, küçük üretim artıkları, endüstri dışı atıklar
Tarım	Ürünler, meyveler, mandıra, yemler, ağıllar, çiftlikler	Çürümüş yiyecek atıkları, tarımsal atıklar

Kaynak: (Milli Eğitim Bakanlığı, 2009).

Evsel ve ticari katı atıklar (özel ve tehlikeli atıklar hariç) organik ve inorganik atıkları içerir. Organik atıklar iki kısımda tanımlanabilir:

Organik a: Kompostlanabilir ve/veya yanabilir organikler (bitkisel, hayvansal, kâğıt, tekstil atıkları vb.).

Organik b: Biyokimyasal ayrışması imkansız yada çok yavaş olan organikler (odun, deri, lastik, kemik, plastik atıklar vb.).

İnert (inorganik): Yanmayan maddelerdir (Cam, porselen, taş, kil atıkları, seramik vb.) (Milli Eğitim Bakanlığı, 2009).

Katı atıkların diğer bir sınıflandırma şekli de katı atıkları oluşturan madde grupları ve bunlara uygulanabilecek bertaraf işlemlerine göredir. Buna göre katı atıkları 4 ana grupta toplanabilir:

A- Ayıklanabilir katı atık grubu

- Kâğıt, karton
- Plastik, naylon
- Metal, teneke
- Cam, odun

B- Kompostlanabilir katı atık grubu

- Yiyecek atıkları
- Kâğıt, karton
- Bahçe atıkları

C- Yanabilir katı atık grubu

- Yiyecek atıkları
- Kâğıt, karton
- Plastik, naylon
- Deri
- Lastik
- Odun
- Bahçe atıkları

D- Ayıklanamayan katı atık grubu

- Tane boyutu küçük olan organik ve inorganik her türlü katı atıklar.

Atık sınıflandırılması hangi tip atıkla ne kadar miktarla uğraştığımızın bilinmesi açısından önemlidir. Eğer ne kadar atık oluştuğu bilinirse, atık yönetim stratejisi (ne kadarı elde edebilir veya ne kadarının arazide uzaklaştırılması gerekli) tasarlanabilir (İrican, 2011).

3.2.1. Evsel Katı Atıklar

EPA (Environmental Protection Agency), evsel katı atıkları, dayanıklı eşyalar (aletler, araba lastikleri, piller vb.), dayanıklı olmayan eşyalar (gazete, kitap, magazin dergileri vb.), kutular ve paketler, yiyecek atıkları, park ve yeşil alan atıkları, ticari ve endüstriyel kaynaklardan oluşan çeşitli organik atıklar olarak tanımlamaktadır (Çevre Mühendisleri Odası, 2010).

Diğer bir tanımlama ise, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde; evsel katı atık (çöp), konutlardan atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıklar olarak tanımlanmaktadır.

Kentsel katı atık, depolama alanlarında toplanmış ve depolanmış ticari ve kurumsal atıklarla konutlardan toplanan evsel katı atıklar için kullanılmaktadır. Endüstriye ve endüstriyel tesise bağlı olarak, miktar ve karakteristiklerinde sürekli değişiklik gösteren atıkları içermezler (Kaçar, 1999).

Evsel katı atıkların miktar ve özellikleri, yaşanılan yerin sosyo-ekonomik seviyesine, beslenme alışkanlığına, kullanılan yakıt cinsine vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Evsel katı atık içerisinde bulunan yiyecek atıkları organik yapıda olduklarından kolayca ayrışabilir özelliğe sahiptir. Bu özellikleri ve koku oluşturmaları, katı atık toplama sisteminin tasarımı ve işletimini önemli ölçüde etkiler (MEB, 2009).

Çizelge 3.2'de, ülkelerin gelir düzeylerine göre evsel katı atıkların bileşimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Ülkelerin gelir düzeylerine göre evsel katı atıkların kompozisyonu.

Katı Atık Bileşeni	Yüksek Gelir Düzeyli Ülkelere Göre (%)	Orta Gelir Düzeyli Ülkelere Göre (%)	Düşük Gelir Düzeyli Ülkelere Göre (%)
Organik Madde	25	45	60
Kâğıt	33	15	3
Plastik	6	5	2
Tekstil	3	7	3
Cam ve Seramik	8	4	3
Metal	10	4	3
Ahşap, Saman	4	3	3
Diğer	11	17	23

Kaynak: (Gören, 2006).

Çizelge 3.3'de, Kanada, Finlandiya, Japonya, İsveç ve Amerika gibi gelişmiş ülkelere baktığımızda kağıt atıkların %35 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu oran, bu ülkelerdeki insanların yoğun olarak ofis ortamında çalıştıklarını ve daha fazla kitap, gazete, dergi gibi yayınları okuduklarını göstermektedir.

Çizelge 3.3. Farklı ülkelerdeki katı atıkların oranları (%).

Ülke	Kâğıt	Organik	Cam	Plastik	Metal	Tekstil	Taş vb.	Diğer
Avustralya	22,4	27,8	5,3	10,3	4,2	2,2	4,6	23,2
Kanada	38,9	33,9	6,5	4,9	6,2	3,6	1,8	4,4
Danimarka	34	30	6	6	8	-	-	16
Finlandiya	51	29	6	5	2	2	-	5
Fransa	30	25	12	6	5	4	-	18
Almanya	20,8	28,3	10,4	7,7	3,9	-	2,8	26,1
İtalya	22,3	42,1	7,1	7,2	3	-	-	18,3
Japonya	31-37	10. - 16	14-16	14-16	5,5-6,4	3,8	-	-
Hollanda	24,2	52,4	7,2	7,1	3,2	2,9	-	3
G. Afrika	33	31	12	7	7	-	-	9
İsveç	35-45	25-35	6. - 8	8. - 10	2. - 4	2. - 4	-	6. - 9
İsviçre	20,8	33	8,7	13,4	5,9	-	-	9,6
İngiltere	33,9	23. - 4	14,4	4,2	7,1	4,1	-	2,9
A.B.D.	35,6	29	8,4	7,3	8,9	2	-	8,7

Kaynak: (Gören, 2006).

3.3. Katı Atık Üretimi ve Evsel Katı Atık Miktarına Etki Eden Faktörler

Katı atık miktarları birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Halkın hayat standardı, yaşam alışkanlıkları, iklim, çöp kabı hacmi, moda vb. evsel katı atık üretimini etkilemektedir. Katı atık miktarları için genel bir değer verilmez. Küçük yerleşim yerlerinde evsel katı atıkların bir kısmı hayvan yemi veya gübre olarak kullanıldığından katı atık miktarı büyükşehirlerden çok daha azdır. Evsel katı atık miktarına etki eden faktörler aşağıda verildiği gibi sıralanabilir:

a) Yerleşim yerinin coğrafik konumu

b) Nüfus etkisi

c) Verilen (ayrılan) kap durumunun etkisi

d) Sosyal ve ekonomik yapının etkisi

e) Ücret almanın etkisi

Nüfus arttıkça çöp miktarı da artar. Çöp miktarındaki artış hızı daha fazladır (Tosun, 2005).

3.4. Katı Atık Parametreleri

Katı atıklar ifade edilirken ağırlık, hacim, birim hacim ağırlığı ve spesifik ağırlık parametreleri kullanılmaktadır. Bu değerler belirlendikten sonra günlük, haftalık ve yıllık çöp ağırlığı ve hacmi hesaplanarak katı atık yönetimindeki fonksiyonel elemanlar için tasarımlar yapılabilir.

Katı atık miktarlarındaki değişimler, bilhassa kış aylarındaki küller ve yaz aylarındaki çeşitli sebze ve meyve atıklarından ileri gelmektedir. Katı atıklar, hacimleri cinsinden de ifade edilebilir. Ağırlık ve hacminden katı atığın birim hacim ağırlığına (BHA) geçilebilir. BHA yaz aylarında 0,33 kg/lt, kış aylarında ise 0,37 kg/lt civarındadır.

Spesifik ağırlık ve spesifik hacim değerleri de katı atık parametreleri arasında yer almaktadır. Kişi başına evsel katı atık miktarı, ABD'de 1,4 kg olurken İstanbul'da 0,67 kg'dır. Pratik hesaplar için 1 kg/kişi-gün alınabilir (Tosun, 2005). Çizelge 3.4'de nüfus büyüklüğüne göre oluşan spesifik katı atık hacimleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Nüfus büyüklüğüne göre spesifik katı atık hacimleri.

Nüfus	m^3/kişi-yıl	lt/kişi-gün
10 000-20 000	0,58	1,59
20 000-200 000	0,59-0,75	1,62-2,05
200 000-1 000 000	0,75-0,82	2,05-2,25
> 1 000 000	0,94	2,58

Kaynak: (Tosun, 2005).

Katı atık miktar ve hacimlerini bilmek, katı atık biriktirme kaplarının hesabı, toplama ve taşıma araçlarının belirlenmesi, depolama alanı, kompost tesisi, yakma tesisi tasarımı yapılırken önemlidir. Katı atık hacmi biriktirme kabında, taşıma aracında, depolama alanında vb. farklı değerlerdedir. Sıkışma durumuna göre değiştiği için ölçüm yapılan şartlar mutlaka belirtilmelidir (Tosun, 2005).

4. TÜRKİYE'DE KENTSEL KATI ATIK YÖNETİMİ ve UYGULAMALARI

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de katı atıklar, hem insan ve çevre sağlığı hem de ekonomik açıdan önemli bir yere sahiptir. Kentsel alanlarda çevre sağlığının korunması noktasında düzenli bir şekilde toplanması, taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi gereken katı atıkların, büyük sorunlara yol açmadan ortadan kaldırılması için planlı olarak yürütülen bir katı atık yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren "temizlik hizmetleri" adı altında ve "kamu sağlığı odaklı**"** olarak Sağlık Bakanlığı'nca yürütülen katı atık yönetimi, 1970'li yıllarda çevre sorunlarına karsı tüm dünyada artan ilginin de etkisi sonucu "çevre odaklı" bir yaklaşıma doğru gelişim göstererek 1991 yılında Çevre Bakanlığı'nın kurulması ile bu bakanlığın görev alanına dâhil edilmiştir. Gelişmiş ülkeler, katı atık yönetimi ile ilgili süreci 80'li yıllarda tamamlayarak "sürdürülebilir atık yönetimi", "atık etiği", "atık yönetimi etiği" gibi olguları ciddi biçimde tartışırken Türkiye'de atık yönetimi konusundaki gelişmeler yavaş bir seyir göstermekle birlikte konu, fiilen "gözden uzak olsun" anlayışı ile yürütülmüş ve büyük ölçüde uluslararası gelişmelerin itici gücüyle ilerleyen yıllarda "yönetilmesi gereken" bir sorun olarak algılanmaya başlamıştır. Ekonomik açıdan gelişmekte olan bir ülke olması, sanayileşme ve artan yaşam standartları Türkiye'de katı atık miktarının artısını ve dolayısıyla bu atıkların bertaraf edilmesi sorununu beraberinde getirmiştir. Katı atıkların bertarafında, atıkların açık alanlarda depolanması şeklinde geleneksel metodu kullanan Türkiye'de, 28 Nisan 1993 tarihinde Ümraniye açık depolama sahasında gaz sıkışması sonucu yaşanan ve 39 kişinin ölümü ile sonuçlanan patlama, katı atıkların bertarafında yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur. Türkiye açısından orta ve uzun vadede sosyo-ekonomik, teknik, demografik ve coğrafik şartlara uygun olarak gerçekleştirilmesi gereken katı atık yönetimi, önleyici-engelleyici çevre koruma politikaları ile sorunun çözümünde yetki ve sorumluluğa sahip olan bakanlık ve diğer merkezi yönetim kurum ve kuruluşları, yerel yönetimler-belediyeler, iş çevreleri, gönüllü kuruluşlar-dernekler ve bireylerin etkin katılımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu gereksinimlerle birlikte Türkiye'de katı atıkların toplanması ve yok edilmesi işlemleri temelde 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında çıkartılan 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ve diğer ilgili yönetmelikler (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj Atıkların

Kontrolü Yönetmeliği, Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği) kapsamında yürütülmektedir. Atıkların toplanması, taşınması, depolanması, geri kazanımı ve bertarafından, 5393 sayılı Belediye Kanunu ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ile belediyeler yetkili ve sorumlu tutulmaktadır (Yılmaz vd., 2010).

Atık yönetiminin diğer bir ayağı da Avrupa Birliği (AB) normlarına uygunluğudur. Bu hususta AB ile uyumlu kentsel katı atık yönetim sisteminin gerektirdiği teknik ve çevresel ihtiyaçlar, aşağıda verildiği gibi iki temel AB direktifi ile düzenlenmektedir:

• Düzenli Depolama Direktifi (AB, 1999)

• Ambalaj Direktifi (AB, 1994)

Düzenli Depolama Direktifi (AB, 1999), düzenli depolama sahaları için ayrıntılı teknik ve işletme ile ilgili standartlar düzenleyen bir direktiftir. 2009 yılına kadar uyum sürecinde var olan düzenli depolama alanları direktif gereklerini yerine getirmek için hazırlanmış uyum planına göre ıslah edilmeli veya direktifte belirtilen gözetim ve kapatma yöntemlerine uygun olarak kapatılmalıdır. Mevcut düzensiz depolama alanlarının ıslahı veya Düzenli Depolama Direktifi gerekleriyle uyumlu yeni düzenli depolamaların oluşturulması için ihtiyaç duyulacak önemli maliyetler düşünülerek tahmini katılım yılı olan 2014'e kadar direktif gereklerinin yerine getirileceği düşünülmemiştir. Bunun yerine yeni düzenli depolama sahalarının uyum için geliştirilmesi 2023 yılı olarak programlanmıştır. Yani, 9 yıllık bir geçiş dönemi söz konusu olacaktır. AB Düzenli Depolama Direktifi, 1995 yılı kıstas alınarak oluşan biyolojik olarak ayrışabilir atıkların %75'inin 2010 yılında, 2013 yılı için %50'sinin ve 2020 için %35'inin düzenli depolamaya kabul edilmesini öngörmektedir. Türkiye'nin 2010 yılında %75'lik hedefe ulaşması beklenirken, %50'lik hedefe en erken 2015 yılında ulaşılabileceği tahmin edilmektedir (Envest, 2005).

Düzenli Depolama Direktifinin farklı nicel hedefleri için ortaya çıkan geçiş süreci Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Düzenli depolama direktifi hedeflerine geçiş süreleri.

Madde	Direktifteki Hedef Yıl	Plandaki Hedef Yıl	Geçiş Süreci (hedef veya katılım yılından, 2014)
Düzenli Depolama Sahalarının AB Standartlarına Yükseltilmesi	2009	2023	9 Yıl
Biyolojik Olarak Ayrışabilir Atıkların Düz. Depolamaya Kabul Edilme Oranları	% 75 – 2010 % 50 – 2013 % 35 - 2020	2015 2020 2023	- 6 Yıl 3 Yıl

Kaynak: (Envest, 2005).

Türkiye için önerilen yaklaşım senaryosunda, ambalaj atıkları geri dönüşüm/geri kazanma hedeflerinin tam olarak 2020 yılında sağlanması hedeflenmiştir. Önerilen yaklaşım planına göre, ambalaj atıkları direktifi şartlarını sağlayabilmek için atık kumbaraları, atık toplama merkezleri ikili toplama sistemi ve maddesel geri kazanma tesisleri kurulmalıdır.

Türkiye'deki plana dahil bölge ve belediyelerin gruplandırılmasını tanımlaması Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması.

No	Bölge	Alt Bölge
1a	Marmara/Ege Bölgesi	İstanbul, İzmir
1b		Diğer Büyükşehir
1c		Diğer Büyükşehir
2a	Akdeniz/Karadeniz/ İç Anadolu Bölgesi	Ankara (Büyükşehir)
2b		Antalya/İçel (Turizm Şehirleri)
2c		Diğer Büyükşehir Belediyeleri
2d		Diğer Belediyeler, Karadeniz (Orta/Küçük)
2e		Diğer Belediyeler, Akdeniz/İç Anadolu (Orta/Küçük)
3a	Doğu Anadolu/Güneydoğu Anadolu Bölgesi	Gaziantep (Büyükşehir)
3b		Diğer Büyükşehir Belediyeleri
3c		Diğer Belediyeler (Orta/Küçük)

Kaynak: (Envest, 2005).

Biyolojik olarak ayrışabilen atıkların düzenli depolama alanları dışına yönlendirilen miktarı ile ilgili şartları sağlamak için, ayrı toplama, uygun arıtma (kompostlaştırma) ve bertaraf yöntemlerinin (yakma/gazlaştırma) yoğun kullanımı gerekecektir (Envest, 2005).

EHCIP Projesi kapsamında AB ile uyum için gerçekleştirilen yeni atık toplama sistemleri, düzenli depolama sahaları ve arıtma yöntemlerinin değişik bölgelerdeki başlama tarihleri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.3'de verilmiştir

Geri dönüşüm merkezleri/atık kumbaraları ve geri dönüştürülebilir atık toplama konteynerleri tesisi ile ilgili yatırımlar iki aşamada gerçekleşecektir. Çizelge 4.3'deki tarihler bir taraftan farklı bölgelerdeki ihtiyaç ve kapasitelerdeki değişiklikleri yansıtırken, diğer taraftan hedefleri göstermektedir. Bir başka deyişle tesisler, çizelgede gösterilen ilk sene için bölgenin yarısına hizmet ederken, ikinci senede bölgenin tamamında hayata geçecektir.

Önerilen bölgesel entegre katı atık yönetimi planlaması, Türkiye genelinde yaklaşık 120 merkezi katı atık kompleksi ile AB katı atık direktiflerine uyumu mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım ile bütün bölgelerde, harcanabilir hane halkı gelirinin %1'ini aşmayan bir maliyetle AB direktifleri ile uyumlu entegre bir katı atık yönetim sistemi kurulması mümkündür (Envest, 2005).

Geri kazanıma yönelik yatırımlar ise iki aşamada gerçekleştirilecektir. Çizelge 4.3'deki hücrelerde yer alan farklı tarihler bir taraftan bölgelerin ihtiyaç ve kapasitelerindeki değişiklikleri yansıtırken, diğer taraftan hedeflenen yılları göstermektedir. Çizelgede gösterilen ilk senede bölgenin yarısına hizmet verilirken, ikinci senede sistem bölgenin tamamında hayata geçirilecektir. Parantez içlerinde yer alan yüzdelik değerler ise, proje boyunca sistemin hizmet vereceği nüfusun toplam nüfusa oranını işaret etmektedir. Çizelgeden görüldüğü üzere Büyükşehirler için olan hedef yıllar daha sıkı olmakla beraber diğer küçük ve orta ölçekli Belediyeler için AB standartlarında atık yönetimi daha ileriki yıllarda devreye sokulacaktır. Katı Atık Ana Planı'nın hedefi, Büyükşehirler dışındaki Belediyelere bölgesel katı atık yönetimi alanında yol göstermektir. Bu kapsamda, 2005 yılında tamamlanmış olan EHCIP Projesi (ENVEST, 2005) gözden geçirilerek, büyükşehir dışındaki belediyeler için AB Direktifleri ile uyumlu atık yönetim çizelgesi yeniden oluşturulmuştur. Burada esas olan AB mevzuatı ile uyumda geri kalınmaması ve ileriye dönük iyileştirmeler yapılabilmesidir. Örneğin kurulması gereken bir tesisin işletmeye alınma tarihi öne çekilebilirken ertelenemez. Çizelge 4.3'ün bu proje kapsamında düzenlenmiş yeni hali Çizelge 4.4'de verilmektedir (Mimko, 2006).

Çizelge 4.4, büyükşehir dışındaki atık birliklerini kapsayan 1c, 2d, 2e ve 3c Bölgeleri için atık yönetimini özetlemektedir. Çizelgede yapılan en önemli

düzenleme, geri kazanım sistemlerine yöneliktir. Maddesel geri kazanma tesislerinin işletmeye alınma tarihi, tıpkı tam kapasiteli reaktörlü kompost tesisinde olduğu gibi, ikili toplama sisteminin başlamasıyla aynı tarihe getirilmiştir. Atık toplama merkezleri ve atık kumbaraları için geçerli olan tedrici işletmeye alınma sistemi ve ilk pilot kompost tesisi, ikili toplamanın başlamasından en az 5 yıl önce kurulacak şekilde düzenlenmiştir (Envest, 2005).

Son olarak Çizelge 4.4'de dipnotlarda yer alan iller de sisteme entegre edilmiştir. Bu amaçla 3c Bölgesi de ikili toplamalı ve karışık toplamalı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Doğu ve Güneydoğu'da yer alan Elazığ, Iğdır, Malatya ve Van hariç diğer illerde ikili toplama sistemi uygulanmayacaktır; bu illerde geri kazanım, atık kumbaraları ve atık toplama merkezleri üzerinden yürütülecektir. Yakma uygulaması gereken Trabzon, Ordu, Rize ve Giresun ise, 2d'de yer alan Karadeniz'deki büyükşehir dışındaki diğer iller için uygulanan plana dahil edilmiştir.

Çizelge 4.3. EHCIP Projesi Türkiye için AB Atık Direktifleri ile uyumlu zaman çizelgesi.

Bölge	Tanım	Ayrı Toplama/ Kompostlaştırma	Atm/Mgt/Atık Kumbaraları		Termal Dönüşüm (Yakma/Gazifikasyon)	Düzenli Depolama	I & y Geri Dönüşüm/ Biyometanizasyon
			Kentsel Alan	Kırsal Alan			
1a	İstanbul, İzmir (Büyükşehirler)	2010 (%20)	2008 / 2010	2010 / 2015	2013-2017	2008/2009	2008/2011
1b	Diğer Büyükşehir Belediyeleri	2015 (%30)	2010 / 2015	2015 / 2020	2022	2011/2016	2011/2016
1c	Diğer Belediyeler (orta/küçük)	2015 (%100)	2015 / 2020	-	-	2016/2020	2014/2020
2a	Ankara (Büyükşehir)	2012 (%20)	2008 / 2010	2010 / 2015	2018	2008/2009	2008/2011
2b	Antalya/İçel (Turistik şehirler)	2012 (%30)	2008 / 2010	2010 / 2015	2019	2011	2009/2011
2c	Diğer Büyükşehir Belediyeleri	2015 (%20)	2010 / 2015	2015 / 2020	2022-2023	2011/2016	2012/2016
2d	Diğer Belediyeler Karadeniz (orta/küçük)	2015 (%64)**	2015 / 2020	-	2021 (4 Tesis)***	2016/2020	2016/2020
2e	Diğer Belediyeler Akdeniz ve İç Anadolu	2015 (%50)	2010 / 2015	2015 / 2020	-	2011/2016	2012/2016
3a	Gaziantep (Büyükşehir)	2013 (%20)	2008 / 2010	2015 / 2020	2019	2012	2008/2011
3b	Diğer Büyükşehir Belediyeleri	2014 (%100)	2010 / 2015	2015 / 2020	-	2011/2016	2012/2016
3c	Diğer Belediyeler (orta/küçük)	2020 (%24)****	2015 / 2020	-	-	2016/2020	2017/2020

Kaynak: (Envest, 2005).

** Trabzon, Rize, Giresun ve Ordu hariç

*** Trabzon, Rize, Giresun ve Ordu için yakma

**** Elazığ, Iğdır

Çizelge 4.4. Büyükşehir dışındaki belediyeler için AB ile uyumlu atık yönetimi zaman çizelgesi.

Bölge	Tanım	AyrıTop./Komp. (Kentsel)	MGT	ATM/Atık Kumbaraları		Yakma	Düz. Depolama	İ&Y Geri Dönüşm./Biyometanizasyon
				Kentsel	Kırsal			
1 c	Marmara/Ege (Büyükşehirler hariç)	2015 (%100)	2015	2010/2015	-	-	2016	2014/2020
2 d	Karadeniz (Büyükşehirler hariç)	2015 (%100)	2015	2010/2015	-	-	2016	2016/2020
2 e	Akdeniz/İç An. (Büyükşehirler hariç)	2015 (%50)	2015	2010/2015	2015/2020	-	2011	2012/2016
3 c	Doğu/G.Doğu An.-İkili toplamalı (Büyükşehirler hariç)	2020 (%100)	2020	2015/2020	-	-	2016	2017/2020
3 c	Doğu/G.Doğu An.-İkili toplamasız (Büyükşehirler hariç)	-	-	2015/2020	-	-	2016	2017/2020

Kaynak: (Envest, 2005).

Ulusal sera gazı emisyonları (salımları), 1996 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Rehberi kullanılarak hesaplanmaktadır. Salım envanteri, enerji, endüstriyel işlemler, solvent ve diğer ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklanan doğrudan sera gazları olan karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve F-gazları ile dolaylı sera gazları azot oksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOCs) ve karbon monoksit (CO) salımlarını kapsamaktadır (TÜİK, 2010b).

Türkiye'de yıllara göre toplam sera gazı salımları Çizelge 4.5'de, sektörlere göre toplam sera gazı salımları ise Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Türkiye'de yıllara göre toplam sera gazı salımları, (milyon ton CO_2 eşdeğeri), 1990–2010.

Bileşen Adı	1990	1995	2000	2005	2010
CO_2	141,36	173,90	225,43	259,61	326,47
CH_4	33,50	46,87	53,30	52,38	57,54
N_2O	11,57	16,22	16,62	14,18	13,03
F Gazları	0,60	0,52	1,66	3,73	4,89
Toplam	187,03	237,51	297,01	329,90	401,92

Kaynak: (TÜİK, 2010b).

Çizelge 4.6. Türkiye'nin sektörlere göre toplam sera gazı salımları (milyon ton CO_2 eşdeğeri), 1990-2010.

	1990	1995	2000	2005	2010
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,75	285,07
Endüstriyel İşlemler	15,44	24,21	24,37	28,78	53,90
Tarımsal Faaliyetler	29,78	28,68	27,37	25,84	27,13
Atık	9,68	23,83	32,72	33,52	35,83
Toplam	187,03	237,51	297,01	329,90	401,92
1990 yılına göre artış (%)	.	26,99	58,80	76,39	114,90

Not: Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan salımlar envantere dâhil edilmemiştir. Kaynak: (TÜİK, 2010b).

Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6'daki envanter sonuçlarına göre, 2010 yılında toplam sera gazı salımı CO_2 eşdeğeri olarak 401,9 milyon ton olarak tahmin edilmiştir. CO_2 eşdeğeri olarak 2010 yılı sera gazı salımlarında en büyük payı %71 ile enerji kaynaklı salımlar oluştururken, ikinci sırayı %13 ile endüstriyel işlemler almaktadır. Atık %9, tarımsal faaliyetler ise %7 paya sahiptir.

CO_2 eşdeğeri olarak 2010 yılı toplam sera gazı salımı 1990 yılına göre yaklaşık %115 artış göstermiştir. 2010 yılında kişi başı CO_2 eşdeğer salımı 5,51 ton/kişi olarak hesaplanmış olup, bu değer 1990 yılında 3,39 ton/kişi idi.

Çizelge 4.7'de verildiği gibi, 2010 yılında toplam CO_2 salımlarının yaklaşık % 85'i enerji, %15'i ise endüstriyel işlemlerden kaynaklanmaktadır. CH_4 salımlarının %59'unun atıktan, %30'unun tarımsal faaliyetlerden, %10'unun enerjiden, N_2O salımlarının ise %74'ünün tarımsal faaliyetlerden, %14'ünün atıktan ve %12'sinin enerjiden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

2010 yılında enerjiden kaynaklı CO_2 salımı incelendiğinde, toplam enerji kaynaklı CO_2 salımının %41'inin çevrim ve enerji sektöründen kaynaklandığı, % 20'sinin sanayiden, %16'sının ulaştırma sektörü, %23'ünün ise diğer sektörlerden kaynaklandığı görülmüştür.

Çizelge 4.7. Doğrudan sera gazı salımlarının sektörel dağılımı (%).

	1990	1995	2000	2005	2010
CO_2					
Enerji	89,63	89,33	91,85	91,04	84,99
A. Yakıt Yanması	89,63	89,33	91,85	91,04	84,94
1.Çevrim ve Enerji Sektör	24,06	27,21	34,06	34,11	34,43
2.Sanayi	26,55	24,14	26,56	25,96	17,41
3.Ulaştırma	18,36	18,88	15,51	15,61	13,61
4.Diğer Sektörler	20,66	19,10	15,72	15,36	19,49
B. Kaçak Salımlar	-	-	-	-	0,04
Endüstriyel İşlemler	10,37	10,67	8,15	8,96	15,01
1.Mineral Ür.	9,71	10,05	8,04	8,69	9,72
2.Kimyasal Üretim	0,58	0,55	0,07	0,23	*
3.Metal Üret.	0,08	0,06	0,05	0,04	5,29
CH_4					
Enerji	13,24	9,23	7,86	7,42	10,46
A. Yakıt Yanması	8,97	6,15	4,82	4,59	6,42
1.Çevrim ve Enerji Sektör	0,04	0,04	0,06	0,06	0,16
2.Sanayi	0,19	0,15	0,21	0,24	0,19
3.Ulaştırma	0,21	0,25	0,25	0,23	0,22
4.Diğer Sektörler	8,53	5,71	4,30	4,05	5,85
B. Kaçak Salımlar	4,27	3,08	3,03	2,83	4,04
Endüstriyel İşlemler	0,15	0,11	0,09	0,09	*
Tarımsal Faaliyetler	61,73	42,92	33,61	31,70	30,37
Atık	24,89	47,74	58,44	60,80	59,17
Enerji	8,59	6,85	7,84	10,68	12,23
1.Çevrim ve Enerji Sektör	1,00	1,00	1,40	1,73	3,20
2.Sanayi	1,22	0,89	1,41	1,67	1,37
3.Ulaştırma	2,26	2,06	2,47	4,64	4,36
4.Diğer Sektörler	4,12	2,90	2,57	2,64	3,30
Endüstriyel İşlemler	1,11	31,36	25,83	12,41	(*)
Tarımsal Faaliyetler	78,68	52,80	56,89	65,11	74,09
Atık	11,63	8,98	9,43	11,80	13,67

(*): 5429 sayılı Kanun gereği gizlilik ilkesine göre istatistiki birim sayısı üçten az olduğu için birimlere ilişkin bilgiler verilememiştir. Kaynak: (TÜİK, 2010b).

Türkiye'de, 2010 yılında 25,28 milyon ton belediye atığı toplanmıştır. Tüm belediyelere uygulanan 2010 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, 2950 belediyenin 2879'unda atık hizmeti verildiği tespit edilmiştir. Atık hizmeti verilen belediyelerden, 2010 yılı yaz mevsiminde 14,43 milyon ton, kış mevsiminde 10,85 milyon ton olmak üzere toplam 25,28 milyon ton atık toplandığı belirlenmiştir. Kişi başı günlük belediye atık miktarı 1,14 kg'dır. Anket sonuçlarına göre kişi başı günlük ortalama belediye atık miktarı, yaz mevsimi için 1,15 kg, kış mevsimi için 1,10 kg, yıllık ortalama ise 1,14 kg olarak hesaplanmıştır.

Belediye atık miktarının %55'i bertaraf ve geri kazanım tesislerine götürülmüştür. 2010 yılında atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerde toplanan 25,28 milyon ton atığın, %54,4'ü düzenli depolama sahalarına, %43,5'i belediye çöplüklerine, %0,8'i kompost tesislerine götürülmüş, %1,3 ise diğer yöntemler ile bertaraf edilmiştir.

Düzenli depolama tesislerinde 14 milyon ton atık bertaraf edilmiştir. Bertaraf tesislerinden derlenen verilere göre 2010 yılında 52 adet düzenli depolama tesisinin toplam kapasitesinin 423 milyon ton olduğu ve tesislere 14.376.674 ton atık geldiği belirlenmiştir. Gelen atığın %95,6'sı belediye atıklarını, %4,4'ü ise diğer sektörler tarafından getirilen atıkları ve yakma tesisi ve kompost tesisinden aktarılan atıkları kapsamaktadır. 14.309.356 ton atık düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmiş, 67.318 ton atık ise satılmış ya da hibe edilmiştir.

Ayrıca, 2010 yılında faaliyette olan 60 bin ton/yıl kapasiteli 18 sterilizasyon tesisinde toplam 18.445 ton tıbbi atık sterilize edilmiş, sterilize edilen tıbbi atığın 13.883 tonu düzenli depolama tesislerinde, 4.562 tonu ise belediye çöplüğünde bertaraf edilmiştir**.**

2010 yılında kapasitesi 556 bin ton/yıl olan 5 kompost tesisine 216.471 ton atık gelmiştir. Ayrıştırma işleminden sonra 134.227 ton atık kompostlanmış ve 38.412 ton kompost üretilmiştir. Kompostlaşabilir nitelikte olmayan 65.383 ton atık düzenli depolama tesislerine transfer edilmiş, 16.861 ton atık ise satılmıştır. (TÜİK, 2010c). Çizelge 4.8'de belediyelerin 2010 yılına ait temel göstergeleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Belediyelerin katı atık temel göstergeleri.

Temel Göstergeler	Miktarı
Toplam Belediye Sayısı	2950
Katı Atık Hizmeti Verilen Belediye Sayısı	2879
Toplanan Belediye Katı Atık Miktarı (milyon ton/yıl)	25,28
Kişi başı ortalama belediye katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,14
Düzenli Depolama Sahasında Bertaraf Edilen Atık Miktarı (bin ton)	14309
Yakma tesislerinde yakılan Tehlikeli Atık Miktarı (bin ton)	28
Kompost tesislerinde üretilen kompost miktarı (bin ton)	38

Kaynak: (TÜİK, 2010c).

4.1. İzmir İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi

5216 sayılı Büyükşehir Belediyeler Kanununun 7.maddesinin'' i'' fıkrası aşağıda verildiği gibi ifade edilmiştir:

Büyükşehirler, katı atık yönetim plânını yapmak, yaptırmak; katı atıkların kaynakta toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması hariç, katı atıkların ve hafriyatın yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek, bu amaçla tesisler kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmekle yükümlüdürler. Kanun nezdinde İzmir ilinde, katı atık yönetim sistemini oluşturmak, İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin sorumluluğundadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesinin uygulamakta olduğu katı atık yönetim sistemi, transfer istasyonları, düzenli depolama tesisi ve geri kazanım uygulamalarını içermektedir.

23 Temmuz 2004 tarihinde 5216 Sayılı "Büyükşehir Belediyeler Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle İzmir anakent alan sınırları genişlemiştir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne 19 ilçe ve 38 ilk kademe belediyesi dahil edilmiştir. 2009 yılı yerel seçimlerinin hemen öncesinde yapılan değişiklik sonrasında ise Karşıyaka ve Bornova sınırları içerisinde Bayraklı ilçesi; Konak sınırları içerisinde Karabağlar ilçesi olmak üzere iki yeni ilçe kurulmuştur. Selçuk ilçesinin İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisine dahil edilmesinin ardından hizmet alanına giren ilçe sayısı 21'e yükselmiştir. Büyükşehir Belediye sınırları

içerisindeki ilk kademe belediyeleri 2009 yerel seçimleri öncesinde kaldırılmıştır (İBB, 2011a).

4.1.1. Organik Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

Bitki ve hayvan kaynaklı atıklara, organik atık adı verilir. Evlerden ve işyerlerinden toplanarak çöp alanlarına taşınan atıkların önemli bir bölümünü bu atıklar oluşturur. Organik atıklar, doğada mikroorganizmalar yardımıyla kolayca bozunarak temel bileşenlerine ayrılır. Organik atıkların biriktirilip karıştırılmak suretiyle kontrollü olarak bozunmaları sağlandığında, bitkiler için çok zengin bir gübre elde edilebilmektedir.

Organik atıklar geri kazanılabilir atıklardan ayrı olarak biriktirilmeli ve toplanmalıdır. Toplama sıklığı haftada iki veya üçtür. Bu atıklar da genellikle konteynerlerde biriktirilmelidir.

Konteyner büyüklükleri ve sayıları, bina ve sitede bir toplama periyodunda oluşan atığı almaya yeterli olmalıdır. Organik atıkların konduğu konteynerlerin rengi kahverengi, gri veya yeşilin tonlarında olmaktadır. Konteyner ile toplamanın önemli faydaları aşağıda verilmiştir:

- Atıklar görüntü kirliliğine neden olmamaktadır.
- Kokunun etrafa yayılması daha azdır.
- Atıkların iklim şartlarından etkilenmesi daha azdır.
- Toplamak için harcanan zaman, poşetli sistemin 1/2-1/3'üdür.
- Vaktinde çıkarılmayan atıklar gelecek toplamaya kadar muhafaza edilir.
- Atıkların başıboş hayvanlar tarafından karıştırılması imkânsızdır.

Bazı uygulamalarda karışık atıklar poşetlerde toplanmaktadır. Kullanılan poşetler standart boyut, kalınlık ve renkte olmaktadır. Atık konulan poşetler toplama zamanına yakın bir vakitte uygun yere çıkarılmaktadır. Restoran, otel ve pazar yerlerinden kaynaklanan organik atıklar değerlendirilmek üzere ayrı toplanmalı ve işlenmelidir.

İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB) sınırları içerisinde atıklar ilçe belediyeleri tarafından toplanmakta ve 8 adet transfer istasyonuna (Urla Transfer İstasyonu faal değil) getirilmektedir. Organik atıkların ayrı toplanması sistemi

bulunmamaktadır. Organik atıkların toplanması, bertarafı vb. ile ilgili ayrıntılar "Park ve Bahçe Atıklarının Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertaraftı" başlığı ile "Evsel Katı Atıkların Toplanması ve Geri Kazanımı ve Bertarafı" başlığı altında verilmiştir.

Çizelge 4.9'da verildiği gibi, İzmir Büyükşehir Belediyesi 2008-2011 yılları arası atık karakterizasyonu çalışması verilerine göre; evsel atık miktarının %60,85'i organik olarak parçalanabilir atıklardan oluşmaktadır. Organik atıklar kompost yapılarak değerlendirilebilir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin kompost tesisi kurarak/kurdurtarak organik atıkları değerlendirme yönündeki araştırma ve fizibilite çalışmaları devam etmektedir (İBB, 2011a).

Çizelge 4.9. Atık karakterizasyonu çalışması organik atık değerleri.

Katı Atık Bileşenleri	2008	2009	2010	2011	Ortalama (%)
Mutfak Atıkları	48,78	39,71	49,1	54,66	48,06
Kâğıt	8,61	6,36	6,58	5,81	6,84
Karton	2,38	2,75	2,45	2,02	2,4
Hacimli Karton	1,98	2,05	0,42	1,8	1,56
Park ve Bahçe Atıkları	1,12	4,7	0,85	1,29	1,99

Kaynak: (İBB, 2011a).

4.1.2. Evsel Katı Atıkların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ile, sınırları İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırlarına dahil olan ilçe belediyeleri tarafından evsel atıkların bertarafı için kullanılan 26 düzensiz çöp depolama alanından 23'ü çöp dökümüne kapatılarak düzenlenmiştir. Bu bölgelerin atıkları katı atık transfer istasyonu ya da bertaraf tesislerine yönlendirilmiştir.

Torbalı'da düzensiz atık depolama alanının kapatılması işlemi sonlandırılmış olup, bu bölgedeki atıklar, Torbalı'da kurulan evsel katı atık transfer istasyonu vasıtasıyla HDDA'na taşınmaktadır. Ayrıca, Aliağa, Kemalpaşa düzensiz atık depolama tesislerinde düzenleme çalışmaları yapılmış olup, bu bölgelerdeki atıkların ilgili düzensiz atık depolama tesislerinde depolanması çalışmaları faal olarak devam etmektedir. İki alanda bulunan düzensiz atık

depolama alanlarının kapatılmasına yönelik olarak Kemalpaşa ve Türkelli'de 2 yeni transfer istasyonu kurulması planlanmış olup, bu doğrultuda çalışmalar devam etmektedir.

Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisinde ayrı lotlarda evsel atık, evsel nitelikli sanayi atığı, tıbbi atıklar ve arıtma çamurlarının bertaraftı ve imha işlemleri yapılmaktadır. 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan ve 01.04.2010 tarihinde yürürlüğe giren "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" hükümlerinin Ek-2'sinde yer alan II. Sınıf Depolama Tesisi atık kabul kriterlerini sağlayan atıklar Harmandalı Düzenli Katı Atık Depolama Tesisine kabul edilmektedir. Arıtma çamurlarının tesise kabulünde, nem tayin ölçüm cihazı ile su içerikleri ölçülmektedir. Depolama tesisinde atıkların serilmesi, sıkıştırılması ve üzerinin toprak ile örtülmesi işlemleri yapılmaktadır.

İlçe belediyelerine ait evsel katı atıklar, ilçe belediyeleri tarafından çöp kamyonları ile transfer istasyonlarına getirilmekte buradan da İBB' ye ait yüksek sıkıştırma kapasiteli yarı römorklara yüklenerek, çekicilerle Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisine taşınmaktadır (İBB, 2011a).

Çizelge 4.10. Yıllara göre Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde bertaraf edilen atık miktarları.

Atık	Atık (ton/gün)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Evsel	1.969	2.308	2.758	2.495	2.845	2.844
Tıbbi	9	11	13	13,5	16	18,7
Sanayi, İmha, Biyolojik Çamur, Kimyasal Çamur	162	176	144	207	225	199

Kaynak: (İBB, 2011a).

Çizelge 4.11. İBB sınırları içerisinde ilçelere göre belediyelerin kullandığı transfer istasyonları ve bertaraf alanları.

İlçe	Katı Atık Transfer İstasyonu	Bertaraf Alanı
Balçova	Gediz	Harmandalı DADT*
Bayraklı	Halkapınar, Karşıyaka	Harmandalı DADT
Bornova	Halkapınar	Harmandalı DADT
Buca	Halkapınar, Gediz	Harmandalı DADT
	Gediz	Harmandalı DADT,
Çiğli	-	Harmandalı DADT
Gaziemir	Gediz	Harmandalı DADT
	Kısık	Harmandalı DADT
Güzelbahçe	Gediz	Harmandalı DADT,
Karşıyaka	Karşıyaka	Harmandalı DADT
Konak	Halkapınar	Harmandalı DADT,
Narlıdere	Gediz	Harmandalı DADT,
Aliağa	-	Aliağa Düzensiz ADA**
Bayındır	Kısık	Harmandalı DADT
Foça	-	Harmandalı DADT
Selçuk	Selçuk	Harmandalı DADT
Kemalpaşa	-	Kemalpaşa Düzensiz ADA
Menderes	Kısık	Harmandalı DADT
	Gümüldür	Harmandalı DADT
Menemen	-	Harmandalı DADT
Seferihisar	Gümüldür	Harmandalı DADT
Torbalı		Torbalı Düzensiz ADA
	Kısık	Harmandalı DADT
Urla	-	Harmandalı DADT
Karabağlar	Gediz	Harmandalı DADT
	Halkapınar	Harmandalı DADT

* DADT: Düzenli atık depolama tesisi, **ADA: Atık depolama alanı. Kaynak: (İBB, 2011a).

4.1.3. Evsel Tehlikeli Atıkların Toplanması ve Bertarafı

Büyükşehir Belediyesi tarafından, 14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne istinaden "Evlerden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetim Planı" hazırlanarak, 02.11.2007 tarihinde İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'ne sunulmuştur. Bu kapsamda Belediye Başkanlığımızca evlerden kaynaklanan tehlikeli atıkların toplanması amacıyla bir araç temin edilmiş olup İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'nce (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (yeni ismi))

lisanslandırılmıştır. Ayrıca, İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir halkının daha sağlıklı bir çevrede yaşamasını sağlamak ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak amacıyla elektronik atıklarla ilgili geri kazanım sisteminin kurulmasını amaçlamıştır. Bu doğrultuda belediye sınırları içindeki elektrikli ve elektronik atıkların çevreye zarar verilmeden ayrı olarak toplanması, geri kazanılması ve uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi amacıyla; 28.07.2010 tarihinde Karşıyaka Belediyesi, Gaziemir Belediyesi ve Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan elektronik atıkların işlenmesi ile ilgili "uygunluk belgesi" almış Exitcom Recycling Atık Taşıma Toplama Depolama ve Elektronik San. Tic. Ltd. Şirketi ile imzalanan dörtlü protokolle "Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Ayrı Toplanması ve Değerlendirilmesi Projesine" başlanmıştır (İBB, 2011a). Şekil 4.1'de proje kapsamında kullanılan bir elektronik atık toplama konteyneri görülmektedir.



Şekil 4.1. Elektronik atık toplama konteyneri (İBB, 2011a).

Proje kapsamında ilk etapta pilot bölge olarak Karşıyaka ve Gaziemir ilçeleri seçilmiş ve süreç içerisinde projenin tüm İzmir geneline yayılması hedeflenmiştir (İBB, 2011a).

Vatandaşlar, elektrikli ve elektronik atık eşyalarını 2 ilçede oluşturulan e-atık toplama noktalarına mesai saatleri içerisinde getirerek görevlilere teslim edebilmektedirler. Ayrı toplanan e-atıklar düzenli olarak lisanslı firma tarafından, ADR sertifikalı şoförler ve lisanslı araçlarla Kocaeli'ndeki lisanslı Elektronik Atık Geri Dönüşüm Tesisine gönderilmektedir. Bu tesiste e-atıkların geri kazanımı sağlanmakta, geri kazanımı mümkün olmayan kısımlar ise yine Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan lisanslı tehlikeli atık bertaraf tesislerine gönderilerek bertaraf edilmektedir (İBB, 2011a).

4.1.4. Park ve Bahçe Atıklarının Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

Atıkların toplanması ve transfer istasyonlarına kadar taşınması ilçe belediyelerin sorumluluğundadır. Çoğu ilçe belediyesinde park ve bahçe atıkları evsel katı atıklarla birlikte toplanmaktadır. Sadece Bornova Belediyesi tarafından park ve bahçe atıkları ayrı olarak toplanmaktadır. Çizelge 4.12'de park-bahçe atıklarının karakterizasyon çalışma verileri verilmiştir.

Çizelge 4.12. Yıllara göre atık karakterizasyon çalışması, park-bahçe atığı değerlerleri.

Katı Atık Bileşenleri	2008	2009	2010	2011	Ortalama (%)
Park ve Bahçe Atıkları	1,12	4,70	0,85	1,29	1.99

Kaynak: (İBB, 2011a).

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2008-2011 yılları arasında yapılan "Katı Atık Karakterizasyonu Çalışması" verilerine göre park ve bahçe atıklarının, evsel katı atık miktarının ortalama %2,03'ünü oluşturduğu görülmektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012) verileri doğrultusunda kişi başı atık miktarı 1,28 kg/gün kabulü ve park-bahçe atıklarının katı atık miktarının %1.99'unu oluşturacağı kabulü ile 2010 yılı nüfus verileri doğrultusunda, İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırlarında oluşacak park-bahçe atığı miktarı hesaplanarak Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. İzmir anakent Park-Bahçe atık miktarları.

Belediye	Nüfus	*Kişi Başı Evsel Atık Miktarı Kabulü (kg/kişi-gün)	Kişi Başı Evsel Atık Miktarı (kg/gün)	Evsel Atık Miktarı (ton/yıl)	**Park-Bahçe Atığı Miktarı Kabulü (%)	Park-Bahçe Atığı Miktarı (kg/gün)	Park-Bahçe Atığı Miktarı (ton/yıl)
Torbalı	116326	1,28	148897,28	54347,51	1,99	2963,06	1103,25
Urla	45244	1,28	57912,32	21138	1,99	1152,46	429,1
Balçova	77767	1,28	99541,76	36332,74	1,99	1980,88	737,55
Bornova	412275	1,28	527712	192614,88	1,99	10501,47	3910,08
Buca	419693	1,28	537207,04	196080,57	1,99	10690,42	3980,44
Çiğli	157530	1,28	201638,4	73598,02	1,99	4012,60	1494,04
Gaziemir	129691	1,28	166004,48	60591,64	1,99	3303,49	1230,01
Güzelbahçe	23048	1,28	29501,44	10768,03	1,99	587,08	218,59
Karşıyaka	309790	1,28	396531,2	144733,89	1,99	7890,97	2938,1
Konak	405580	1,28	519142,4	189486,98	1,99	10330,93	3846,59
Narlıdere	72832	1,28	93224,96	34027,11	1,99	1855,18	690,75
Aliağa	53624	1,28	68638,72	25053,13	1,99	1365,91	508,58
Bayındır	21793	1,28	27895,04	10181,69	1,99	555,11	206,69
Foça	40592	1,28	51957,76	18964,58	1,99	1033,96	384,98
Kemalpaşa	71409	1,28	91403,52	33362,28	1,99	1818,93	677,25
Menderes	55501	1,28	71041,28	25930,07	1,99	1413,72	526,38
Menemen	119230	1,28	152614,4	55704,26	1,99	3037,03	1130,8
Seferihisar	29232	1,28	37416,96	13657,19	1,99	744,60	277,24
Selçuk	27880	1,28	35686,4	13025,54	1,99	710,16	264,42
Bayraklı	307898	1,28	394109,44	143849,95	1,99	7842,78	2920,15
Karabağlar	457999	1,28	586238,72	213977,13	1,99	11666,15	4343,74
Toplam	3354934	1,28	4294315,52	1567425,16	1,99	85456,88	31818,73

***** Kişi başı atık üretim miktarı Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012) verileri doğrultusunda kabul edilmiştir.

**Park-bahçe atığı miktarı İzmir Büyükşehir Belediyesi 2008-2011 yılları arasında yapılan atık karakterizasyonu çalışmaları doğrultusunda kabul edilmiştir. (Kaynak: İBB, 2011a).

4.1.5. Bitkisel Atık Yağların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

2005 yılında yürürlüğe giren Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği gereği, İzmir Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediye başkanlıkları, yetki sınırları içinde faaliyet gösteren bitkisel atık yağ üreticilerini saptayarak Çevre ve Orman Bakanlığına (Yeni ismi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) bildirmek üzere İzmir İl Çevre ve Orman Müdürlüğüne iletmiştir. Kızartmalık bitkisel atık yağların denetimi Belediyemiz ve ilçe belediyeler tarafından yapılmaktadır. Sınırları dahilinde kullanılmış kızartmalık yağ üreten işletmelerin lisanslı geri kazanım

tesisleriyle veya Valilikten Geçici Depolama İzni almış toplayıcılarla yıllık sözleşme yapmaları sağlanmaktadır (İBB, 2011a).

Çizelge 4.14. Bitkisel atık yağlar ile ilgili yapılan çalışmalar, 2010.

No	İlçe Belediyesi	Bitkisel Atık Yağ Üreticileri	Evlerden Kaynaklanan Bitkisel Atık Yağlar	Miktar (kg)
1	Bayındır	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.		335
2	Bornova	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.	Konutlardan kaynaklanan kızartmalık yağların toplanması için lisanslı geri kazanım firması ile protokol yapma aşamasında.	
3	Foça	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.		
4	Gaziemir	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.		46235
5	Karşıyaka	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.155 adet işletmenin sözleşme yapması sağlandı.	Mavişehir Mahallesi pilot bölge seçilmiş olup, bitkisel atık yağlar 01.04.2010 tarihinde yapılan protokol gereği lisanslı firmalar tarafından toplanmaya başlanmıştır.	
6	Konak	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.	113 adet muhtarlık binası bitkisel atık yağ toplama bidonu yerleştirilecek olup, toplanan atık yağlar lisanslı geri kazanım tesisine teslim edilecektir.	39000
7	Narlıdere	Bitkisel Atık Yağ Üreticilerinin atık yağlarını lisanslı geri kazanım tesisine vermeleri sağlatılıyor.		340 (2011 yılı)
8	Seferihisar		Belediye binası ve köy pazarı binası önünde bitkisel atık yağ toplama bidonu bulunmaktadır	

Kaynak: (İBB, 2011a).

4.1.6. Madeni Atık Yağların Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

İzmir Büyükşehir Belediyesi, atık yağları Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisine kabul etmemektedir. Gerek sanayi tesislerine yapılan rutin denetimlerde, gerekse GSM ruhsatına esas görüş verilmesi aşamasında, madeni atık yağ üreten tesisler lisanslı bertaraf/geri kazanım tesislerine yönlendirilmekte, atık madeni yağın geri kazanım/bertarafına ilişkin belgeler istenmektedir.

Büyükşehir Belediyesi mücavir alanında oluşan atık yağlar, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak faaliyet göstermekte olan Halkapınar Transfer İstasyonu'nda geçici olarak depolanmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı'nca yetkilendirilmiş tek kuruluş olan PET-DER (Petrol Sanayi Derneği) ile sözleşme yapılmasına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Hazırlanan protokolün yürürlüğe girmesiyle birlikte, geçici olarak depolanan atık yağlar ulusal atık taşıma formu doldurulmak suretiyle PET-DER'e teslim edilerek bertarafı sağlanacaktır.

Katı atık transferinde kullanılan yarı römorkların periyodik bakımları çoğunlukla ESHOT Genel Müdürlüğü'nde yapıldığından, hidrolik yağ değişimi sırasında oluşan atık hidrolik yağlar ESHOT Genel Müdürlüğü bünyesinde kalmaktadır. Ayrıca, kullanılan motor yağlarının bir bölümü yağ değişiminin yapıldığı servislerde ve ESHOT Genel Müdürlüğü bünyesinde kalmaktadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Genel Müdürlükler olan İZSU ve ESHOT Genel Müdürlükleri, bünyelerinde oluşan atık yağları PET-DER'e vermektedirler (İBB, 2011a).

4.1.7. Tıbbi Atıkların Toplanması ve Bertarafı

İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde resmi-özel, büyük-küçük ölçekli sağlık kuruluşlarından tıbbi atıklar ayrı olarak toplanmakta, Harmandalı Düzenli Depolama Tesisinde sızdırmazlığı sağlanmış ayrı bir alanda (lotta) kireçlenerek, gömülüp bertaraf edilmektedir (İBB, 2011a).



Şekil 4.2. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisinde tıbbi atıkların bertarafı (İBB, 2011a).

2010 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi, sınırları içerisinde bulunan toplam 2129 sağlık kuruluşundan, günde ortalama 18,7 ton olmak üzere yaklaşık 6.831 ton/yıl tıbbi atık toplanmıştır. Çizelge 4.15'de, 2010 yılında İBB sınırları içerisinde ilçelere göre toplanan tıbbi atık miktarı görülebilmektedir (İBB, 2011a).

Çizelge 4.15. İBB sınırları içerisinde ilçelere göre tıbbi atık toplanan sağlık kurum sayısı ve tıbbi atık miktarları.

İlçe	Kurum sayısı	Atık (ton/yıl)	İlçe	Kurum sayısı	Atık (ton/yıl)
Aliağa	44	43,6	Karşıyaka	230	233,4
Balçova	54	753,4	Kemalpaşa	51	26,1
Bayındır	11	15	Kiraz	1	6,9
Bayraklı	84	115,3	Konak	723	1594,6
Beydağ	1	0,3	Menderes	23	6,6
Bornova	241	1180,5	Menemen	29	76,6
Buca	154	279,4	Narlıdere	23	30,6
Çiğli	66	182	Seferihisar	14	14,6
Foça	12	12,3	Selçuk	15	18,2
Gaziemir	54	36,4	Torbalı	65	35
Güzelbahçe	11	1,7	Urla	27	57,5
Karabağlar	196	1111	Harmandalı		1000
Toplam (1)	928	3730,9	Toplam (2)	1201	3100,1
Genel Toplam ((1)+(2))				2129	6831

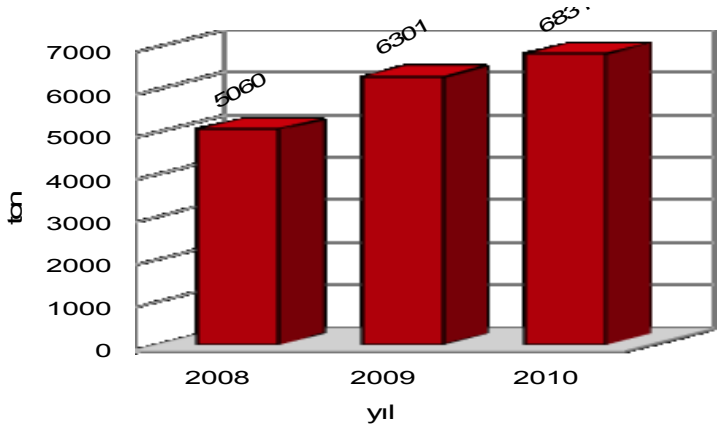
Kaynak: (İBB, 2011a).

İzmir Büyükşehir Belediyesi bünyesinde, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nce lisanslandırılmış 12 adet tıbbi atık toplama aracı hizmet

vermektedir. Bu araçlar ADR (Tehlikeli malların karayolu ile uluslararası taşımacılığına ilişkin Avrupa anlaşması) sertifikalı sürücüler tarafından kullanılmaktadır.

4.1.8. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

Şekil 4.3, ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımı ve bertarafı amacıyla yıllara göre toplanan miktarları göstermektedir.



Şekil 4.3. Ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımı ve bertarafı amacıyla toplanan miktarları (İBB, 2011a).

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından ömrünü tamamlamış lastikler, katı atık depolama tesislerine kabul edilmemekte, lisanslı bertaraf/geri kazanım tesisine yönlendirilmektedir. İzmir ilinde 1 adet geri kazanım tesisi, 2 adet ömrünü tamamlamış lastik geçici depolama tesisi bulunmaktadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB) bünyesinde oluşan yılda 100 adet (64.500 kg) ömrünü tamamlamış lastik kaplama işlemi yapılarak yeniden kullanımı sağlanmaktadır. Ayrıca 5400 kg ömrünü tamamlamış lastik, 22.11.2010 – 26.11.2010 tarihleri arasında bertarafının sağlanması amacıyla Makine ve Kimya Endüstrisi Hurda İşletmesi Müdürlüğü'ne teslim edilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yetkilendirilmiş kuruluş olarak faaliyet gösteren LASDER (Lastik Sanayicileri Derneği) ile İBB arasında protokol yapılmasına yönelik çalışmalar devam etmekte olup, yapılacak olan protokol çerçevesinde İBB birimlerinden çıkan ömrünü tamamlamış lastiklerin, 25.11.2006 tarih ve 26357 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesi sağlanacaktır.

Balçova ve Bayındır Belediyeleri'nde de ÖTL (Ömrünü Tamamlamış Lastik) ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Balçova Belediyesi 42 adet ve Bayındır Belediyesi 100 kg ÖTL toplayarak, yetkili kuruluşa vermiştir (İBB, 2011a).

4.1.9. Atık Pillerin ve Akümülatörlerin Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

İzmir Büyükşehir Belediyesi atık pillerin ayrı toplanması çalışmalarına 1992 yılında başlamıştır. Toplanan atık piller, 2004 yılı öncesinde Harmandalı Düzenli Atık Depolama Alanı'nda açılan çukurlara betonlaşarak gömülmüştür. 31.08.2004 tarih ve 25569 sayılı Resmi Gazete ‘de yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde İzmir ilinde atık pillerin toplanması ve uygun şartlarda bertaraf edilmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş kuruluş olan Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği (TAP) ile beraber çalışmalara başlanmıştır. 2004-2007 yılları arasında toplanan atık piller, bertaraf edilmek üzere TAP'a teslim edilmiştir.

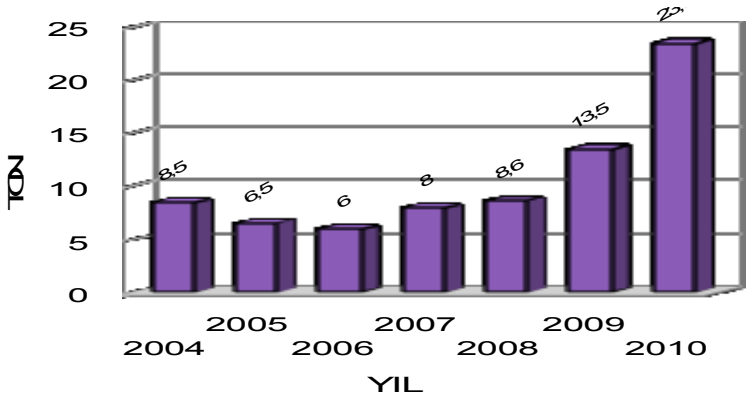
2007-2010 yılları arasında Büyükşehir Belediyesi koordinatörlüğünde TAP ve ilçe belediyeleri (21 ilçe) ile beraber okullara, muhtarlıklara, alışveriş merkezlerine, küçük ölçekli sağlık kuruluşlarına, hastanelere, fotoğraf stüdyolarına vb. noktalara atık pil bidonları ve atık pil kutuları yerleştirilmiştir. İlçe belediyeleri tarafından bidon ve kutu yerleştirilen noktalardan toplanan atık piller ile Büyükşehir Belediyesince 5 Haziran günü Çevre Haftası'nda gerçekleştirilen kampanya kapsamında toplanan atık pillerden geri kazanımı mümkün olanları, lisanslı araçlarla taşınarak TAP ile anlaşmalı firmalar tarafından geri kazanılmaktadır. Geri kazanımı mümkün olmayan atık piller ise, TAP (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği) tarafından Ekim 2007 tarihinde ilgili yönetmeliğe uygun olarak Harmandalı Düzenli Atık Depolama Alanı'nda yaptırılan, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmış Atık Pil Bertaraf Deposu'nda bertaraf edilmektedir. 2004-2010 yılları arasında toplam 74,6 ton atık pil toplanarak bertaraf edilmiştir (İBB, 2011a). Yıllara göre toplanan atık pil miktarları Çizelge 4.16’da verilmektedir.

Çizelge 4.16. İzmir anakent yıllara göre toplanan atık pil miktarları.

Yıl	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Toplama Miktarı (ton)	8,5	6,5	6,0	8,0	8,6	13,5	23,5

Kaynak: (İBB, 2011a).

Şekil 4.4, yıllara göre toplanan atık pil miktarlarını, Şekil 4.5 ise 2010 yılında yapılan atık pil kampanyası sırasında çekilmiş bir görüntüyü yansıtmaktadır.



Şekil 4.4. Yıllara göre toplanan atık pil miktarları (İBB, 2011a).



Şekil 4.5. Atık pil toplama kampanyası, (İBB, 2011a).

4.1.10. Ambalaj Atıklarının Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında 20 Temmuz 2004 tarihinde yayımlanan "Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" çerçevesinde İzmir Büyükşehir Belediyesi koordinatörlüğünde Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanması Projesi, üç ilçede seçilen pilot bölgelerde bulunan konutlardan, poşetli toplama olarak 08.11.2004 tarihinde başlamıştır (İBB, 2011a).

24.06.2007 tarihinde yayımlanan "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nde yapılan değişiklikler kapsamında, Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanması Projesi'nin tüm İzmir geneline yaygınlaştırılması amacıyla İzmir Büyükşehir Belediyesi koordinatörlüğünde ilçe belediyeler ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan Ambalaj Atığı Toplama-Ayırma Tesisi Lisansı almış firmalar arasında 30 Kasım 2007 tarihinde protokol imzalanmıştır. Bu kapsamda, yürütülen proje 21 ilçede toplam 282.000 konut, büyük oteller, hastaneler, okullar, resmi kurum ve kuruluşlar, alışveriş merkezleri, AOSB, ESBAŞ, tüm askeri birlikler, hipermarketler ve üniversitelerde sürdürülmektedir (İBB, 2011a).

İmzalanan protokol kapsamında bulunan 21 ilçe belediyesini içeren "İzmir Ambalaj Atıkları Yönetim Planı" ise 30 Temmuz 2008 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca onaylanmıştır.

Kasım 2007 tarihinde imzalanan protokol çerçevesinde, vatandaşlarımızın evlerinden ve işyerlerinden evsel atıklardan ayrı olarak biriktirdikleri ambalaj atıkları (kâğıt, karton, cam, plastik, metal, içecek kutusu, vb.) ve ambalaj dışı olarak değerlendirilen gazete, dergi, ofis, arşiv atığı, resmi yazılarda kullanılan kâğıtlar, İzmir'de bulunan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan Toplama ve Ayırma Tesisi Lisanslı 8 firmanın oluşturduğu İzmir Atık Toplama ve Geri Kazanım Sanayi Anonim Şirketi (İZGEP) tarafından toplanarak, firmaların tesislerinde türlerine göre ayrılıp lisanslı geri kazanım tesislerinde geri kazanımı sağlanmaktadır. İzmir'de konutlardan geri kazanılabilir atıkların kaynağında ayrı toplanması sistemi kapıdan poşetli toplama olup, poşetli toplamanın yapılamadığı bölgelerde ise konteyner sistemi ile toplama yapılmaktadır.

Yönetim planı doğrultusunda; İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde "Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanması Projesi" sistemli bir

şekilde yaygınlaştırılmaktadır. 2012 yılı sonuna kadar, tüm İzmir genelinden, ambalaj atıklarının diğer atıklardan ayrı olarak toplanması sağlanmış olacaktır.

Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanması Projesi kapsamında; 2004 yılından itibaren 2010 yılı sonuna kadar 71.835 ton ambalaj atığının kaynağında ayrı toplanarak geri kazanımı sağlanmıştır (İBB, 2011a).

İzmir anakent sınırları içerisinde yıllara göre toplanan ambalaj atık miktarları Çizelge 4.17'de verilmiştir Ambalaj atıklarını toplayan araçlara ait çekilmiş görüntüler ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Yıllara göre toplanan ambalaj atıklarının içerik dağılımı Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde yıllara göre geri kazanım çalışmaları kapsamında toplanan ambalaj atıkları miktarları.

Toplama Tesisi	Atık (ton/yıl)					
	2004-2005	2006	2007	2008	2009	2010
Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi	4.641	1.497	2.225	--	--	--
Uzundere Kompost Tesisi	5.825	5.072	8.729	--	--	--
Kaynakta Ayrı Toplama	3.424	5.053	6.037	8.315	26.247	22.759
Toplam	14.646	12.33	17.69	8.315	26.247	22.759

Kaynak: (İBB, 2011a).



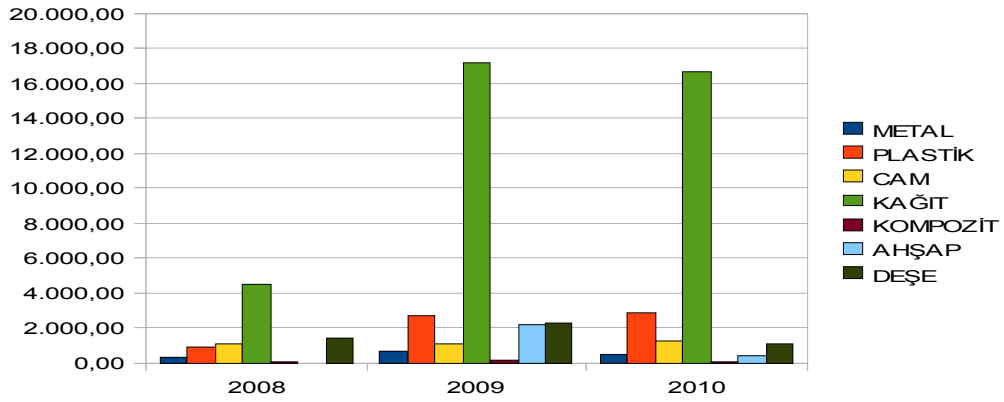
Şekil 4.6. Ambalaj atığı toplama araçları, (İBB, 2011a).

Çizelge 4.18. İzmir anakent yıllara göre toplanan ambalaj atığı dağılımları.

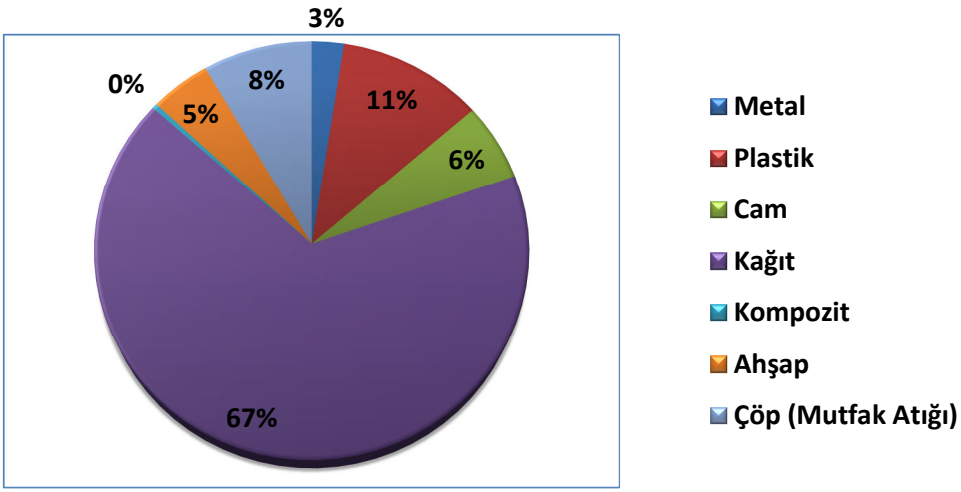
Çıkan Malzeme Cinsi	2008 (ton)	2009 (ton)	2010 (ton)	Toplam (ton)	%
Metal	306,9	647,81	459,12	1413,83	2,47
Plastik	887,53	2687,06	2838,56	6413,15	11,19
Cam	1102,28	1113,36	1239,29	3454,93	6,03
Kağıt	4486,95	17199,59	16651,45	38337,99	66,88
Kompozit	70,62	116,5	38,22	225,34	0,39
Ahşap	-	2222,26	436,96	2659,22	4,64
Çöp (Mutfak Atığı)	1460,7	2260,11	1095,01	4815,82	8,4
Genel Toplam	8314,98	26246,69	22758,61	57320,28	100

Kaynak: (İBB, 2011a).

Şekil 4.7, yıllara göre toplanan ambalaj atığı miktarlarını grafiksel olarak göstermektedir. Yıllara göre toplanan ambalaj atığının ortalaması, Şekil 4.8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Yıllara göre toplanan ambalaj atığı miktarları, (İBB, 2011a).



Şekil 4.8. Ambalaj atık dağılım (2008-2009-2010 ortalaması) yüzdeleri (İBB, 2011a).

4.1.11. Hafriyat, İnşaat Atıklarının Toplanması, Geri Kazanımı ve Bertarafı

18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı Resmi Gazete'de yürürlüğe giren Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği gereğince; hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının, Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisine kabulü yapılmamaktadır. İBB sınırları içerisinde oluşan hafriyat toprağı inşaat ve yıkıntı atıkların bertaraftı, İzmir Büyükşehir Belediyesince çalışma izni verilen 6 adet Hafriyat Toprağı, İnşaat/Yıkıntı Atıkları Depolama Tesisinde yapılmaktadır. Bu tesislerin denetimi İzmir Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. İzmir İlinde mevcut olan ve İzmir Büyükşehir Belediyesince çalışma izni verilen döküm alanları Çizelge 4.19'da verilmiştir (İBB, 2011a).

Çizelge 4.19. İzmir ili hafriyat, inşaat/yıkıntı atıkları depolama tesisleri.

Hafriyat Toprağı, İnşaat/Yıkıntı Atıkları Depolama Tesisinin Yeri	Kapasite	İşleten Firma	Döküm Yapan Araç Sayısı (Adet)
Bornova İlçesi Erzene Mahallesi Şeytan deresi Mevkii	574.006 m^3	Yücel Yapı İnşaat San.ve Tic. Ltd. Şti.	8.591
Bornova İlçesi Gökdere Köyü	2.481.000 m^3	İzbeton A.Ş.	17.037
Buca İlçesi Kırıklar Köyü	454.548 m^3	İzbeton A.Ş.	1.945
Urla İlçesi Yelki Çalıcası Mevkii	1.155.180 m^3	İzbeton A.Ş	8.04
Gaziemir İlçesi Evka 7 (kapasitesi dolmuş, rehabilitasyon çalışmaları tamamlanmıştır)	575.868 m^3	İzbeton A.Ş	50.099
Aliağa İlçesi Güzelhisar Elbirdi Mevkii	18.052 m^2	Saka Beton İnş. Taah. Tic.San.Ltd.Şti.	
Toplam			85.712

Kaynak: (İBB, 2011a).



Şekil 4.9. Buca-Kırıklar hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıkları depolama alanı, (İBB, 2011a).

4.1.12. Evsel Katı Atık Transfer Sistemi ve Transfer İstasyonları

5216 Sayılı Büyükşehir Belediyeler Kanunu uyarınca, evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların toplanıp taşınmak suretiyle katı atık aktarma istasyonlarına getirilmesi ilçe ve belde belediyelerinin, bu istasyonlardan düzenli depolama sahalarına taşınmaları büyükşehir belediyelerinin görevidir. Transfer istasyonları özellikle büyükşehirler için katı atıkların bertaraf edilecekleri alanlara ulaştırılması aşamasında önemli bir fonksiyonu yerine getirmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi evsel katı atık transferini, aktarma istasyonları aracılığıyla yapmaktadır.

Aktarma istasyonları, çöp toplama bölgelerinin imha sahalarına uzak olmaları durumunda daha ekonomik bir çöp toplama bölgeleri ile imha sahası arasındaki uzaklığın tipik olarak 20 km'den çok olduğu durumlarda, toplanan çöpün doğrudan depolama sahasına taşınmasının ekonomik olmadığı, bu koşullarda aktarma istasyonu uygulamasına ihtiyaç vardır.

Aktarma istasyonu uygulamasının genel prensibi, daha küçük olan çöp toplama araçları ile toplanan çöpün, aktarma istasyonlarında daha büyük ve ekonomik aktarma araçlarına uygun bir teknoloji ile aktarılması ve buralardan çöp imha tesislerine kapasitesi daha büyük olan çöp taşıma araçları ile taşınmasıdır. Herhangi bir çöp bölgesinin çöp yönetiminde, aktarma istasyonu uygulanıp uygulanmaması tamamen sisteme, ekonomisine bağlıdır. Sağlanacak sistem ekonomisi, en basit biçimde "büyük bir miktar atığın daha büyük parçalar halinde uzak bir mesafeye taşınması, aynı miktar atığın daha küçük parçalar halinde uzak bir mesafe taşınması, aynı miktar atığın daha küçük parçalar halinde aynı mesafeye taşınmasından daha ucuz olacaktır" prensibi ile açıklanabilir. Taşıma

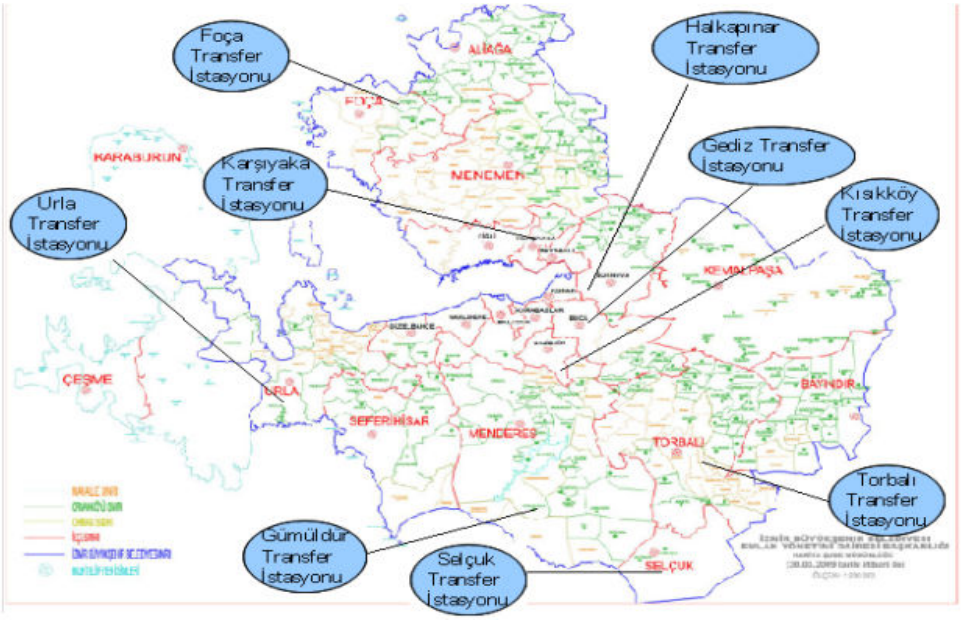
giderlerinde sağlanacak tasarrufun yanında, aktarma istasyonları uygulaması başka yararlar da sağlamaktadır. Tüm bu yararlar aşağıda verildiği gibi sıralanır:

1. Taşıma ekonomisi
2. Personel ekonomisi
3. Gerekli araç (toplama + taşıma) sayısının azalması
4. Yönetim ekonomisi
5. Daha az trafik yoğunluğuna yol açılması.

Toplanan çöpün, 3-4 adet toplama aracının aldığı kadar çöpü taşıyabilen bir taşıma ya da aktarma aracı ile taşınması gerekli araç sayısını azaltırken, beraberinde gerekli personel sayısını da azaltmaktadır. Toplama araçlarının topladıkları çöpü, çöp toplama bölgelerine uzak olan imha sahalarına götürmeleri durumunda, çöp toplama araçlarında görevli personel imha sahasına gidiş dönüş sürecinde atıl kalmaktadır. Hâlbuki çöp taşıma araçlarında yalnızca aracı kullanan bir şoför bulunmaktadır. Sağlanan bu personel ekonomisi, beraberinde yönetim ekonomisi de getirmektedir. Daha az sayıda araç ve personel daha kolay yönetilebilmektedir. Tüm bunların yanında, imha sahasına daha az aracın gitmesi nedeni ile çöp toplama süresi daha az trafiğe yol açmaktadır.

Yukarıda sıralanan tüm bu yararlar, görüldüğü gibi tamamen çöp yönetim sisteminin daha etkin, daha ekonomik hale getirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yararların sağlanabilmesi, öncelikle fayda-maliyet analizlerinin çok iyi yapılmasını, daha sonrada teknoloji seçimi ve yönetim gibi etkenlerin çok iyi değerlendirilmesini gerektirmektedir.

İzmir Büyükşehir Belediyesi evsel katıkları, aktarma istasyonları vasıtasıyla yapmaktadır. İzmir Büyükşehir Belediyesi transfer istasyonlarına ilçe ve belde belediyelerine ait günde ortalama 412 araç gelmekte, bu araçlarla getirilen evsel katı atıklar, transfer istasyonlarından bertaraf alanına günde ortalama 81 sefer (tırlarla) yapılarak taşınmaktadır. Böylece hem taşıma işleminin daha ekonomik hale gelmesi, hem de trafik yükünün azaltılması sağlanmaktadır. Şekil 4.10'da transfer istasyonlarının yerleri harita üzerinde gösterilmiştir.



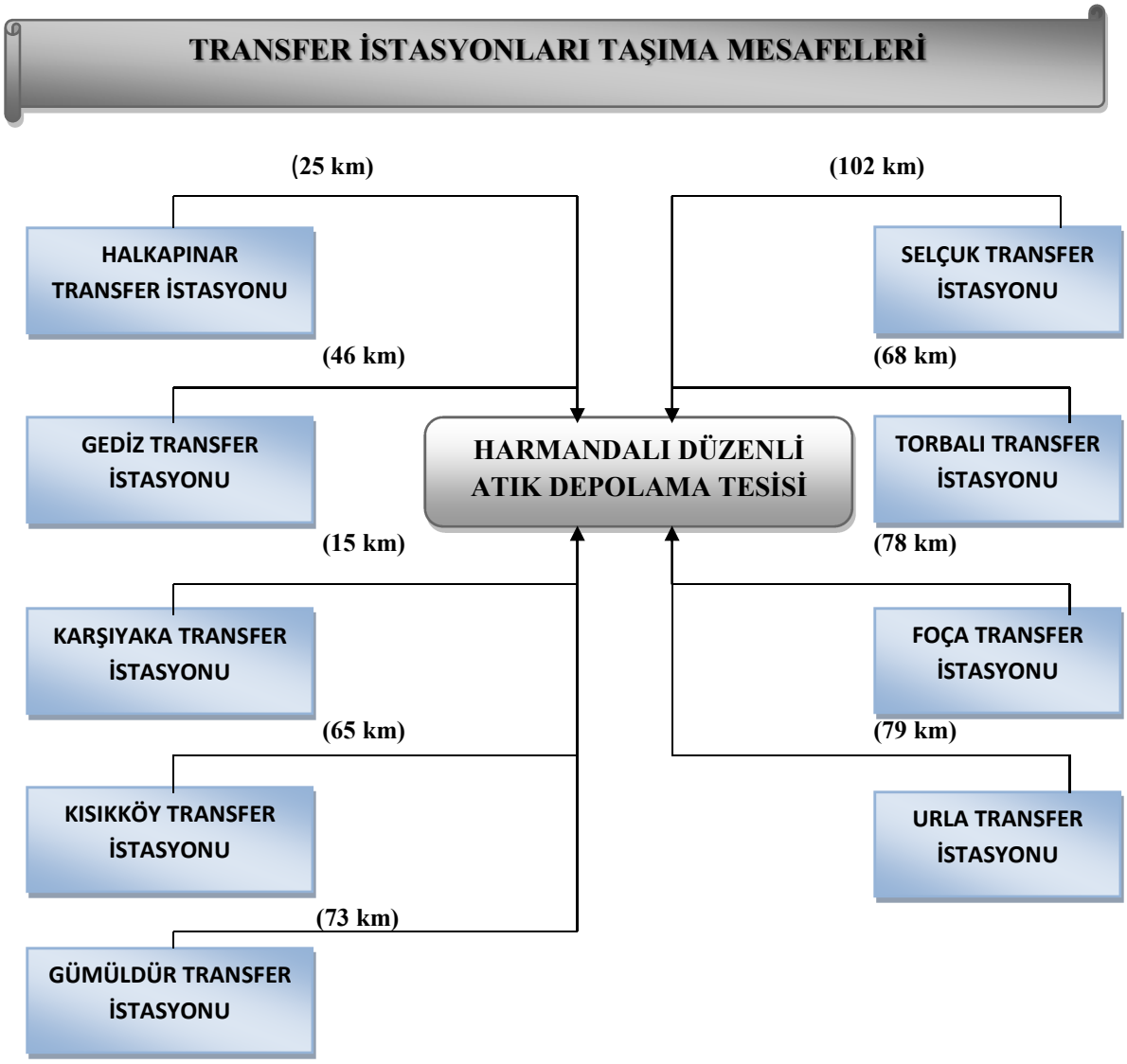
Şekil 4.10. Evsel katı atık transfer istasyonları, (İBB, 2011a).

Günde ortalama 2296 ton evsel katı atık miktarı, İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları dahilinde toplam 9 adet evsel katı atık transfer istasyonu (Urla Transfer İstasyonu faaliyete geçme aşamasındadır) ile transfer edilmektedir. Transfer istasyonlarının Harmandalı Düzenli Depolama Tesisine olan mesafeleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Ayrıca 2129 sağlık kuruluşundan günde ortalama 19 ton enfekte atık toplanmaktadır. Hastanelerin geçici depolama tesisinde biriktirilen enfekte atıklar, kırmızı renkli ve özel işaretli torbalarda biriktirilmekte ve İBB'ne ait sıkıştırmasız özel araçlar ile toplanmaktadır. Enfekte olmayan, mavi renk polietilen torbalarda toplanan tıbbi atıklar ise ilçe belediyeleri tarafından toplanarak taşınmakta; diğer evsel atıklar ile birlikte bertaraf edilmektedir. İBB tıbbi atık toplama araçlarında toplanan enfekte atıkları, Harmandalı Düzenli Depolama Tesisinde Tıbbi Atık Depolama Bölümünde bertaraf edilmektedir.

İzmir Büyükşehir Belediyesi, transfer istasyonlarının yapımına 1992 yılında başlamıştır. Mevcut transfer istasyonlarına ilçe ve ilk kademe belediyelerinden döküm yapmak üzere gelen araçlar, istasyon girişlerinde bulunan kantarlarda tartılarak alınmaktadır. Daha önceden darası alınarak bilgisayar ortamına kaydedilen araçların tartım sonrası katı atık miktarı belirlenmektedir.

Katı atık transfer istasyonlarına yalnızca evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atıkların getirilmesine izin verilmektedir (İBB, 2011a).



Şekil 4.11. Evsel Katı Atık Transfer İstasyonlarının Harmandalı Düzenli Depolama Tesisine olan taşıma mesafeleri.

4.1.12.1. Halkapınar Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Konak ilçesine bağlı Halkapınar semtinde yer almaktadır. HDDA'na 25 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe, belde belediyeleri ve kurumlar; Konak, Bornova, Bayraklı, Karabağlar, Buca, Balçova (nadiren dökmekte), Belediyeleri, İzfaş, İzelman A.Ş., İzotaş, İ.B.B. Yeşil Alan Bakım Müdürlüğü, Mezarlıklar Müdürlüğü, Askeri Birimler, Manifaturacılar Sitesi, Eşrefpaşa Hastanesi'dir. İstasyonun maksimum kapasitesi 2160 ton/gün olup,

2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 1151 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 200 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na 30 ton kapasiteli tırlarla, günde ortalama 40 sefer yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.2. Gediz Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Buca ilçesine bağlı Gediz semtindedir. HDDA'na 46 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe, belde belediyeleri ve kurumlar; Konak, Bayındır, Bayraklı, Karabağlar, Buca, Balçova, Narlıdere, Gaziemir, Güzelbahçe Belediyeleri, İzfaş, Esbaş, İ.B.B. Mezarlıklar Müdürlüğü, Buca Cezaevi, Askeri Birimler, İzmir Atlı Spor İhtisas Kulübü 'dür. İstasyonun maksimum kapasitesi 1440 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 609 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 100 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na 30 ton kapasiteli tırlarla, günde ortalama 21 sefer yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.3. Karşıyaka Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Karşıyaka ilçesi Örnekköy mevkiindedir. HDDA'na 15 km uzaklıktadır. İstasyonun maksimum kapasitesi 2160 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 319 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 55 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na 30 ton kapasiteli tırlarla, günde ortalama 12 sefer yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.4. Kısıkköy Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Gaziemir Kısıkköy mevkiindedir. HDDA'na 65 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe ve belde belediyeleri; Menderes, Torbalı, Gaziemir, Bayındır Belediyeleri ve Askeri birimlerdir. İstasyonun maksimum kapasitesi 720 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 122 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 26 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan 30 ton kapasiteli tırlarla HDDA'na, günde ortalama 4 sefer yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.5. Gümüldür Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Gümüldür mevkiindedir. HDDA'na 73 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe, belde belediyeleri ve kurumlar; Menderes ve Seferihisar Belediyeleri, Askeri birimler vb. özel firmalardır. İstasyonun maksimum kapasitesi 360 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 95 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 17 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na günde ortalama 2 sefer (30 ton kapasiteli tır ile) yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.6. Selçuk Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Selçuk ilçesi Zeytinköy mevkiindedir. HDDA'na 102 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe ve belde belediyeleri; Selçuk ve Torbalı Belediyeleridir. İstasyonun maksimum kapasitesi 360 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 60 ton atık gelmektedir. Aynı yıl verilerine göre istasyona günde ortalama 14 sefer yapılarak çöp dökümü yapılmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na günde ortalama 2 sefer (30 ton kapasiteli tır ile) yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.7. Torbalı Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Torbalı ilçe merkez sınırları içerisindedir. HDDA'na 68 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe ve belde belediyeleri; Torbalı ve Bayındır Belediyeleri ve bu ilçelere bağlı beldelerdir. İstasyonun maksimum kapasitesi 360 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 120 ton atık gelmektedir. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na günde ortalama 4 sefer (30 ton kapasiteli tır ile) yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.8. Foça Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Foça ilçe merkez sınırları içerisindedir. HDDA'na 78 km uzaklıktadır. Bu istasyona çöp dökümü yapan ilçe ve belde belediyeleri; Foça Belediyesi ve bu ilçeye bağlı beldelerdir (Bağarası, Gerenköy, Komanda Tabur Komutanlığı). İstasyonun maksimum kapasitesi 360 ton/gün olup, 2010 yılı verileri dikkate alındığında istasyona günlük ortalama 60 ton atık gelmektedir. Evsel katı atıklar

buradan HDDA'na günde ortalama 2 sefer (30 ton kapasiteli tır ile) yapılarak taşınmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.12.9. Urla Evsel Katı Atık Transfer İstasyonu

Urla ilçesi Zeytinalanı mevkiindedir. HDDA'na 79 km uzaklıktadır. Transfer istasyonunun yapımı tamamlanmış olup, faaliyete geçmeyi beklemektedir. Bu istasyona çöp dökümü yapacak ilçe ve belde belediyeleri; Urla Belediyesi, Güzelbahçe ve bu ilçelere bağlı beldelerdir. İstasyonun maksimum kapasitesi 720 ton/gün olup, istasyona tahmini 100 ton/gün atık gelmesi planlanmaktadır. Evsel katı atıklar buradan HDDA'na günde ortalama 3 sefer (30 ton kapasiteli tır ile) yapılarak taşınacağı hesaplanmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.13. Evsel Katı Atık Karakterizasyon Çalışmaları

Katı atık karakterizasyon çalışmaları, Çevre ve Orman Bakanlığı (29.06.2011 tarihinde ismi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olarak değiştirilmiştir) tarafından yayımlanan "Katı Atık Karakterizasyon ve Katı Atık Bertaraf Tesisleri Bilgi Güncellemesi" konulu 2007/10 sayılı Genelge kapsamında; İzmir Büyükşehir Belediyesince anakent sınırları içerisinde, 2008 yılında 2 adet, 2009 yılında 2 adet, 2010 yılında 1 adet ve 2011 yılında 9 adet olmak üzere, yaz ve kış dönemlerini yansıtacak şekilde yapılmıştır. 2011 yılında yapılan atık analiz çalışmaları, gelir gruplarına göre ayrılmamıştır. Yapılan katı atık karakterizasyon çalışmalarına ait görüntüler Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Ayrıca, bu çalışmalara ait veriler Çizelge 4.20-4.24'de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde organik içerikli atıkların (Mutfak, kâğıt, karton, hacimli karton ve park-bahçe atıkları) oranının yüksek miktarda oldukları görülmektedir. Bunlar sırasıyla, 2008 yılı için %62,87, 2009 yılı için %55,57, 2010 yılı için %59,40 ve 2011 yılı için %65,58'dir.

Ayrıca, 2011 yılına ait evsel katı atık karakterizasyon çalışmasının grafiksel gösterimi Şekil 4.14'de, 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarında yapılan atık karakterizasyon çalışmalarının ortalama değerleri ise Şekil 4.15'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Katı atık karakterizasyon çalışması, (İBB, 2011a).



Şekil 4.13. Katı atık karakterizasyon çalışması (eleme), (İBB, 2011a).

Çizelge 4.20. Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, 2008.

Kış Dönemi						Yaz Dönemi						
Katı Atık Bileşenleri	Gelir Seviyelerine Göre Atık Değerleri (%)					Katı Atık Bileşenleri	Gelir Seviyelerine Göre Atık Değerleri (%)					Yıl Ortalaması
	Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	Ortalama		Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	Ortalama	(%)
Mutfak atıkları	25,81	37,47	35,45	45,54	36,07	Mutfak atıkları	75,89	65,67	61,99	42,43	61,5	48,78
Kâğıt	3,07	7,19	7,29	12,14	7,42	Kâğıt	4,28	4,97	9,15	20,8	9,8	8,61
Karton	0	0,71	0,76	2,28	0,94	Karton	1,84	2,76	4,07	6,66	3,83	2,38
Hacimli karton	0,54	1,77	3,51	4,17	2,5	Hacimli karton	0,98	0	4,07	0,83	1,47	1,98
Plastik	9,31	6,91	7,64	7,02	7,72	Plastik	3,06	11,04	6,5	14,98	8,89	8,31
Cam	2,17	3,19	9,47	4,74	4,89	Cam	3,67	7,17	5,08	7,49	5,85	5,37
Metal	0,11	0,53	4,97	5,88	2,87	Metal	0,12	0,55	0,2	0,83	0,43	1,65
Hacimli metal	0	0	0	0	0	Hacimli metal	0	0	1,02	0	0,25	0,13
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0	0,53	0	0	0,13	Atık elektrik ve elektronik ekipman	0	0	0	0	0	0,07
Tehlikeli atık	0,37	0,35	0,31	0,19	0,3	Tehlikeli atık	0,12	1,1	0	0	0,31	0,31
Park ve bahçe atıkları	0	0,09	8,1	0,57	2,19	Park ve bahçe atıkları	0	0	0,2	0	0,05	1,12
Diğer yanmayanlar	1,06	0,89	1,22	0,76	0,98	Diğer yanmayanlar	3,06	0,55	0,41	0,83	1,21	1,1
Diğer yanabilenler	12,48	9,76	8,37	8,35	9,74	Diğer yanabilenler	6,73	6,07	7,11	4,16	6,02	7,88
Diğer yanabilir hacimli atıklar	1,27	0	0	0	0,32	Diğer yanabilir hacimli atıklar	0,12	0	0	0,83	0,24	0,28
Diğer yanmayan hacimli atıklar	3,91	0	0	0,95	1,22	Diğer yanmayan hacimli atıklar	0	0	0	0	0	0,61
Diğerleri	0,21	0,11	0,69	0,38	0,35	Diğerleri	0,12	0,11	0,2	0,17	0,15	0,25
Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	39,7	30,5	12,22	7,02	22,36	Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	0	0	0	0	0	11,18
Toplam	100	100	100	100	100	Toplam	100	100	100	100	100	100

Kaynak: (İBB, 2011a).

Çizelge 4.21. Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, 2009.

Kış Dönemi						Yaz Dönemi						
Katı Atık Bileşenleri	Gelir Seviyelerine Göre Atık Değerleri (%)					Katı Atık Bileşenleri	Gelir Seviyelerine Göre Atık Değerleri (%)					Yıl Ortalaması
	Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	Ortalama		Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	Ortalama	(%)
Mutfak atıkları	31,52	22,51	19,93	11,21	21,29	Mutfak atıkları	57,86	57,32	63,64	53,67	58,12	39,71
Kâğıt	1,45	3,63	4,74	13,36	5,79	Kâğıt	3,43	4,59	6,93	12,74	6,92	6,36
Karton	1,16	1,4	2,65	6,51	2,93	Karton	1,76	1,99	2,89	3,67	2,57	2,75
Hacimli karton	1,11	1,06	1,5	0	0,92	Hacimli karton	2,15	1,74	1,73	7,14	3,19	2,05
Plastik	1,6	2,64	1,25	9,4	3,72	Plastik	9,5	8,93	11,98	12,55	10,74	7,23
Cam	1,91	5,51	4,11	8,1	4,91	Cam	1,52	8,81	5,77	5,02	5,28	5,09
Metal	0,22	0,23	0,36	0,45	0,32	Metal	0	0	1,15	0,19	0,34	0,33
Hacimli metal	0	0	0	0	0	Hacimli metal	0	0,74	0	0	0,19	0,09
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0	0,23	0	0,45	0,17	Atık elektrik ve elektronik ekipman	0,08	0	0,14	0,19	0,1	0,14
Tehlikeli atık	0,45	0,3	0,27	1,02	0,51	Tehlikeli atık	0,24	0,62	1,01	0,58	0,61	0,56
Park ve bahçe atıkları	0,85	0,42	29,76	0,45	7,87	Park ve bahçe atıkları	0,88	5,21	0	0	1,52	4,7
Diğer yanmayanlar	17,81	24,62	12,78	32,73	21,99	Diğer yanmayanlar	1,44	0	0,29	0	0,43	11,21
Diğer yanabilenler	30,03	18,81	13,67	9,4	17,98	Diğer yanabilenler	13,09	7,57	3,61	1,93	6,55	12,26
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0	0	0	0	0	Diğer yanabilir hacimli atıklar	6,38	1,36	0	0	1,94	0,97
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0	0	0	0	0	Diğer yanmayan hacimli atıklar	0	0	0	0	0	0
Diğerleri	0	0	0	0	0	Diğerleri	1,68	1,12	0,87	2,32	1,49	0,75
Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	11,89	18,65	8,99	6,91	11,61	Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	0	0	0	0	0	5,8
Toplam	100	100	100	100	100	Toplam	100	100	100	100	100	100

Kaynak: (İBB, 2011a).

2010 yılında sadece kış döneminde katı atık karakterizasyon çalışması yapılmış olup, Çizelge 4.22'de sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, (Kış), 2010.

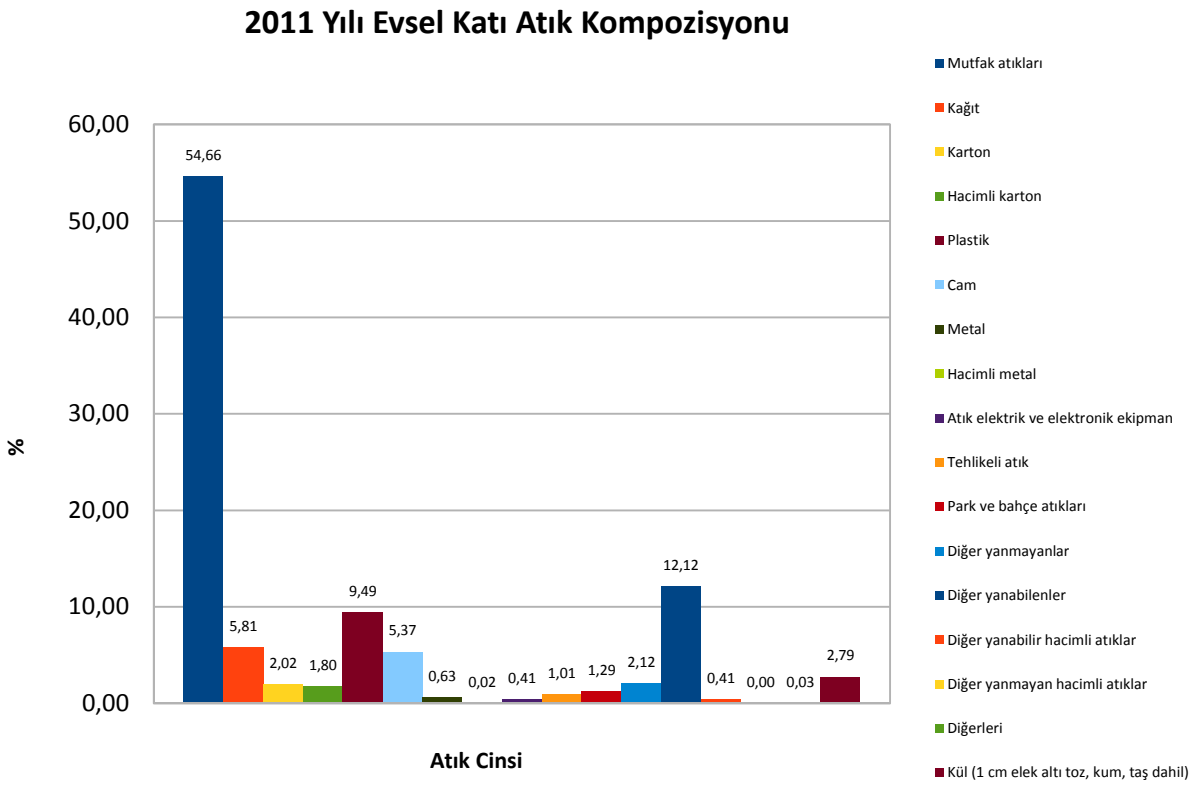
Katı Atık Bileşenleri	Gelir Seviyelerine Göre Atık Değerleri (%)				
	Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	Ortalama
Mutfak atıkları	26,84	74,86	48,39	46,30	49,10
Kâğıt	2,63	5,19	10,28	8,20	6,58
Karton	1,40	3,46	2,39	2,54	2,45
Hacimli karton	0,00	0,00	0,31	1,39	0,42
Plastik	5,96	6,92	12,36	8,20	8,36
Cam	1,23	4,76	8,62	3,12	4,43
Metal	0,00	0,00	0,42	1,62	0,51
Hacimli metal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0,18	0,00	0,10	0,23	0,13
Tehlikeli atık	0,35	0,04	0,01	0,12	0,13
Park ve bahçe atıkları	2,63	0,00	0,21	0,58	0,85
Diğer yanmayanlar	0,00	0,00	2,80	0,12	0,73
Diğer yanabilenler	12,46	4,76	8,20	5,66	7,77
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0,00	0,00	2,60	0,00	0,65
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diğerleri	40,53	0,00	0,00	10,97	12,87
Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	5,79	0,00	3,32	10,97	5,02
Toplam	100	100	100	100	100

Kaynak: (İBB, 2011a).

Çizelge 4.23. Evsel katı atık karakterizasyon sonuçları, 2011.

Katı Atık Bileşenleri	2011 Kış (%)	2011 Yaz (%)	Ortalama (%)
Mutfak atıkları	51,88	57,45	54,66
Kâğıt	5,10	6,52	5,81
Karton	2,22	1,83	2,02
Hacimli karton	1,61	1,98	1,80
Plastik	10,35	8,63	9,49
Cam	4,34	6,41	5,37
Metal	0,66	0,59	0,63
Hacimli metal	0,04	0,00	0,02
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0,31	0,51	0,41
Tehlikeli atık	0,81	1,21	1,01
Park ve bahçe atıkları	1,45	1,14	1,29
Diğer yanmayanlar	1,66	2,58	2,12
Diğer yanabilenler	13,25	10,99	12,12
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0,68	0,15	0,41
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,01	0,00	0,00
Diğerleri	0,07	0,00	0,03
Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	5,57	0,00	2,79
Toplam	100	100	100

Kaynak: (İBB, 2011a).



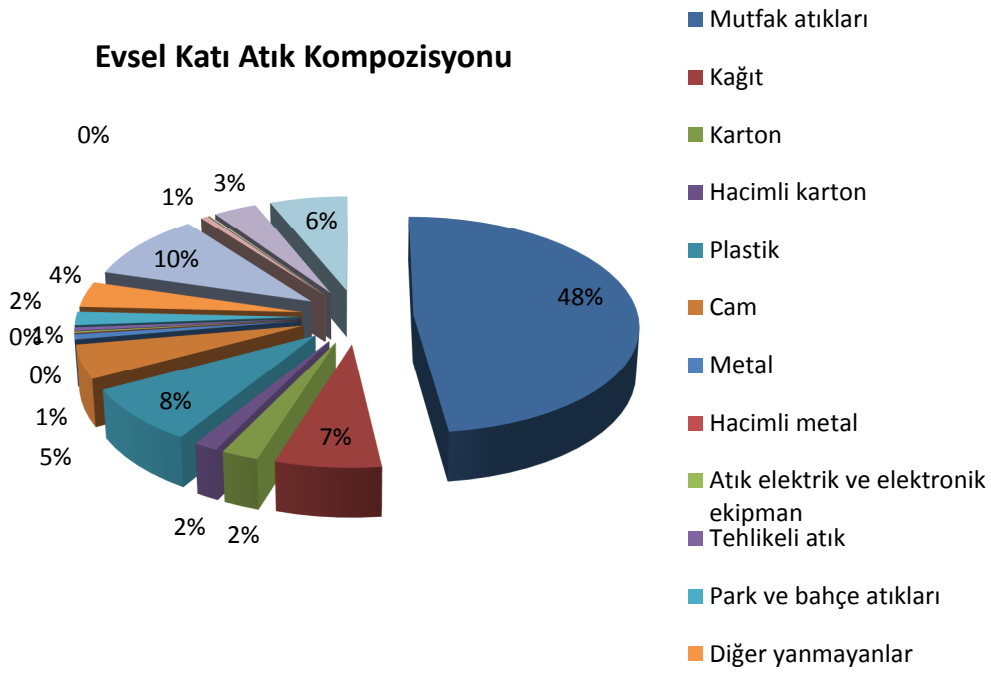
Şekil 4.14. Evsel katı atık kompozisyon sonuçları, (İBB, 2011a).

Çizelge 4.24. Evsel katı atık karakterizasyonu genel (2008-2009-2010-2011) sonuçları.

Katı atık Bileşenleri *	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)	Ortalama (%)
Mutfak atıkları	48,78	39,71	49,1	54,66	48,06
Kâğıt	8,61	6,36	6,58	5,81	6,84
Karton	2,38	2,75	2,45	2,02	2,4
Hacimli karton	1,98	2,05	0,42	1,8	1,56
Plastik	8,31	7,23	8,36	9,49	8,34
Cam	5,37	5,09	4,43	5,37	5,06
Metal	1,65	0,33	0,51	0,63	0,78
Hacimli metal	0,13	0,09	0	0,02	0,06
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0,07	0,14	0,13	0,41	0,19
Tehlikeli atık	0,31	0,56	0,13	1,01	0,51
Park ve bahçe atıkları	1,12	4,7	0,85	1,29	1,99
Diğer yanmayanlar	1,1	11,21	0,73	2,12	3,79
Diğer yanabilenler	7,88	12,26	7,77	12,12	10
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0,28	0,97	0,65	0,41	0,58
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,61	0	0	0	0,15
Diğerleri	0,25	0,75	12,87	0,03	3,48
Kül (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	11,18	5,8	5,02	2,79	6,2
Toplam	100	100	100	100	100

Kaynak: (İBB, 2011a).

Şekil 4.14 incelendiğinde, 2011yılında yapılan evsel katı atık analiz çalışmalarında, mutfak atıklarının oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yine 2011 yılı için yapılan analiz çalışmasında, organik bazlı atıkların oranının %65,58 olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.24 ve Şekil 4.15'den görüleceği üzere, mutfak atıkları ve organik bazlı atıkların oranının en yüksek olduğu çalışma yılı 2011'dir.



Şekil 4.15. Evsel katı atık kompozisyonu genel (2008-2009-2010-2011) sonuç grafiği.

4.1.13.1. Evsel Katı Atık Nem İçeriği

Kentsel katı atıklardaki nem içeriği genelde iki türlü ifade edilebilir:

1- Islak atıkta ölçülmüş ağırlık metodu:

Örnek bir atıkta, malzemenin ıslak ağırlığının yüzdesi olarak ölçülür.

2- Atık içindeki kuru atık ağırlık ölçümü:

Malzemenin kuru atık yüzdesi olarak Denklem (4.1)'e göre ifade edilir (Tadesse, 2004).

$$M = \frac{w-d}{w} \times 100 \qquad (4.1)$$

M = Atık nem içeriği, (%)

$_W$ = İlk verilen atığın kütlesi, (kg)

d = İlk verilen atığın kurutulduktan sonraki kütlesi, kg

Kuru atık oranını belirlemek için, atık malzemesi 77°C'de (170 F) bir fırın içinde 24 saat tutuluyor. Bu sıcaklık ve zaman, malzemeyi tamamen kurutmak için belirlenmiştir. Aynı zamanda bu değerler, uçucu malzemelerin sınır değerleridir (Tadesse, 2004).

Birçok endüstriyel atığın nem içeriği, %10-35 arasında değişmektedir. Kentsel katı atıkların nem içeriği;

- ✓ Atığın kompozisyonuna
- ✓ Yılın mevsimine
- ✓ Rutubete
- ✓ Hava koşullarına (yağmur vb.) bağlı olarak değişir (Tadesse, 2004).

Tipik bir kentsel katı atığın nem içeriği Çizelge 4.25 ile verilmiştir.

Çizelge 4.25. Kentsel katı atığın tipik nem içeriği (%).

Bileşen	Nem İçeriği (%)	
	Oran	Genel Veriler
Mutfak Atıkları	50-80	70
Kâğıt	4 - 10	6
Karton	4 -8	5
Plastik	1 - 4	2
Tekstil	6 - 15	10
Kauçuk	1 - 4	2
Deri	8 - 12	10
Bahçe Atıkları	30 - 80	60
Odun	15 - 40	20
Kar. Organik	10 - 60	25
Cam	1 - 4	2
Teneke	2 - 4	3
Metal	2 - 4	2
Hacimli Metal	2 - 6	3
Kül vb.	6 - 12	8

Kaynak: (Tadesse, 2004).

İzmir ili kentsel katı atıkların kompozisyonu (2008-2012 yılı ortalama değerleri), nem içeriği ve kuru bazda ağırlık yüzdeleri Çizelge 4.26 ile verilmiştir.

Çizelge 4.26. İzmir kentsel katı atık içeriği (Kuru atık %).

Bileşenler	Atık Ağırlık (%)	Nem İçeriği (%)	Kuru Ağırlık (%)
Mutfak Atıkları	48,06	70	14,42
Kâğıt	6,84	6	6,43
Karton ve Hacimli Karton	3,96	5	3,76
Plastik	8,34	2	8,17
Cam	5,06	2	4,96
Metal (Teneke kutuları vb.)	0,78	3	0,76
H. Metal (Metal masa, dolap)	0,06	2	0,06
Atık Elektrik ve Elektronik Ekipman (Telefon, radyo vb.)	0,19	2	0,19
Tehlikeli Atık (Boya kutusu, pil vb.)	0,51	2	0,50
Park-Bahçe Atıkları	1,99	60	0,80
Diğer Yanmayanlar (Taş, kum, toz vb.)	3,79	8	3,49
Diğer Yanabilenler (Kumaş, çocuk bezi vb.)	10,00	10	9,00
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar (Tahtadan yapılmış mlz.ler, mobilya vb.)*	0,58	20	0,46
Diğer Yanmayan Hacimli Atıklar	0,15	0	0
Diğer karışık atıklar	3,48	20	2,78
Kül vb. (1 cm elek altı toz, kum, taş dahil)	6,20	8	5,70
Toplam	100	-	61,48

*Odunun nem içeriği olan %20 değeri alınmıştır.

Kentsel katı atıklardaki yanabilir özellikli atıkların Ultimate Analizine göre tipik verileri Çizelge 4.27'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Kentsel katı atıklardaki yanabilir atıkların nihai (Ultimate) analizine göre tipik verileri, (%, kuru atık).

Bileşen	C	H	O	N	S	Kül
Mutfak Atıkları	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Kâğıt	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Karton	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plastik	60	7,2	22,8	-	-	10
Tekstil	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Kauçuk	78	10	-	2	-	10
Deri	60	8	11,6	10	0,4	10
Bahçe Atıkları	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Odun	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Kar. Organik	48,5	6,5	37,5	2,2	0,3	5
Kül	26,3	3	2	0,5	0,2	68

Kaynak: (Tadesse, 2004).

4.1.13.2. Evsel Katı Atık Enerji İçeriği

Kentsel katı atıklardaki organik içerikli bileşenlerin enerji içeriği, aşağıdaki durumlara ve Denklem (4.2)'ye göre belirlenebilir;

- ✓ Kalorimetre olarak tam ölçekli olarak bir boyler (kazan) kullanarak,
- ✓ Bir laboratuvar ortamında kalorimetre kabı kullanarak,
- ✓ Elemental kompozisyonun bilinmesiyle hesaplanabilir.

$$\frac{kJ}{kg}(kuru) = \frac{kJ}{kg} \times \left(\frac{100}{100 - \%nem} \right) \tag{4.2}$$

Külsüz kuru atığın karşılığı olan enerji değeri, Denklem (4.3) ile bulunabilir;

$$\frac{kJ}{kg}(kuru) = \frac{kJ}{kg} \times \left(\frac{100}{100 - \%nem - \%kül} \right) \tag{4.3}$$

İnert ve kentsel katı atıkların tipik enerji değerleri Çizelge 4.28'de, İzmir ili kentsel katı atıkların hesaplanan enerji değerleri ise Çizelge 4.29 ile verilmiştir.

Çizelge 4.28. İnert atık ve kentsel katı atıkların enerji verilerinin tipik değerleri.

Bileşen	İnert Atık, % (Yanmadan sonra)		Enerji, kJ/kg	
	Aralık Değer	Tipik Değer	Aralık Değ.	Tipik Değer
Mutfak Atıkları	2-8	5	3500-7000	4650
Kâğıt	4-8	6	11600-18600	16750
Karton	3-6	5	13950-17450	16300
Plastik	6-20	10	27900-37200	32600
Tekstil	2-4	2,5	15100-18600	17450
Kauçuk	8-20	10	20900-27900	23250
Deri	8-20	10	15100-19800	17450
Bahçe Atıkları	2-6	4,5	2300-18600	6500
Odun	0,6-2	1,5	17450-19800	18600
Kar. Organik	2-8	6	11000-26000	18600
Cam	96-99	98	100-250	150
Teneke Kutuları	96-99	98	250-1200	700
Metal	90-99	96	-	-
H. Metal	94-99	98	250-1200	700
Kül	60-80	70	2300-11650	7000
Kentsel Katı Atık	-	-	9300-12800	10500

Kaynak: (Tadesse, 2004).

Çizelge 4.29. İzmir ili kentsel katı atıkların enerji değerlerinin hesaplanması.

Bileşen	Ağırlıkça Yüzde (%)	Enerji (kJ/kg)	Toplam Enerji (kJ), (100 kg ele alınırsa)
Mutfak Atıkları	48,06	4650	223479
Kâğıt	6,84	16750	114570
Karton ve H. Karton	3,96	16300	64548
Plastik	8,34	32600	271884
Bahçe Atıkları	1,99	6500	12935
Odun	0	18600	0
Metal (Teneke Kutuları)	0,78	700	546
H. Metal (Metal masa, dolap)	0,06	700	42
Cam	5,06	150	759
Diğer Yanmayanlar (Taş, toz vb.)	3,79	0	0
Diğer Yanabilenler (Kumaş, çocuk bezi vb.)	10	10500	105000
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar (Tahtadan yapılmış mlz.ler, mobilya vb.)	0,58	18600	10788
Diğer	4,18	10500	43890
Diğer Yanmayan Hac. Atıklar	0,15	0	0
Kül vb.	6,2	7000	43400
Toplam	100	-	891841

*Elektronik ve tehlikeli atıklar ilave edilmiştir.

Birim Enerji İçeriği (BEİ), Çizelge 4.29 verilerine göre;

$$BE\dot{I} = \frac{891841}{100} = 8918{,}41 kJ/kg$$ olarak hesaplanmıştır.

Kuru atığı temel alarak enerji içeriğine karar verme;

a) Nem içeriği;

Çizelge 4.26'daki kuru ağırlık yüzde verilerinin toplamı, Denklem (4.1)'e konulduğunda atığın nem oranı bulunur. Bu durum aşağıda gösterilmiştir.

$$M = \frac{100 - 61{,}48}{100} \times 100 = \%38{,}52$$

b) Kuru atık olarak enerji içeriği;

a)'da bulunan nem içeriği değeri, Denklem (4.2)'de yerine konursa,

$$\frac{kJ}{kg}(kuru) = 8918{,}41 \times \left(\frac{100}{100 - 38{,}52} \right) = 14506{,}20$$ değeri bulunur.

Külsüz kuru atık olarak enerji içeriğine karar verme ise;

Çizelge 4.26'daki kül oranı ve a)'da verilen nem içeriği değeri Denklem (4.3)'de yerine konursa,

$$\frac{kJ}{kg}(kuru) = 8918{,}41 \times \left(\frac{100}{100 - 38{,}52 - 6{,}20} \right) = 16133{,}16$$ değeri bulunur.

İzmir ili kentsel katı atıkların literatür esaslı değerlerine ait veriler Çizelge 4.30 ile verilmiştir.

Çizelge 4.30. İzmir ili kentsel katı atıklara ait literatür esaslı spesifik değerler.

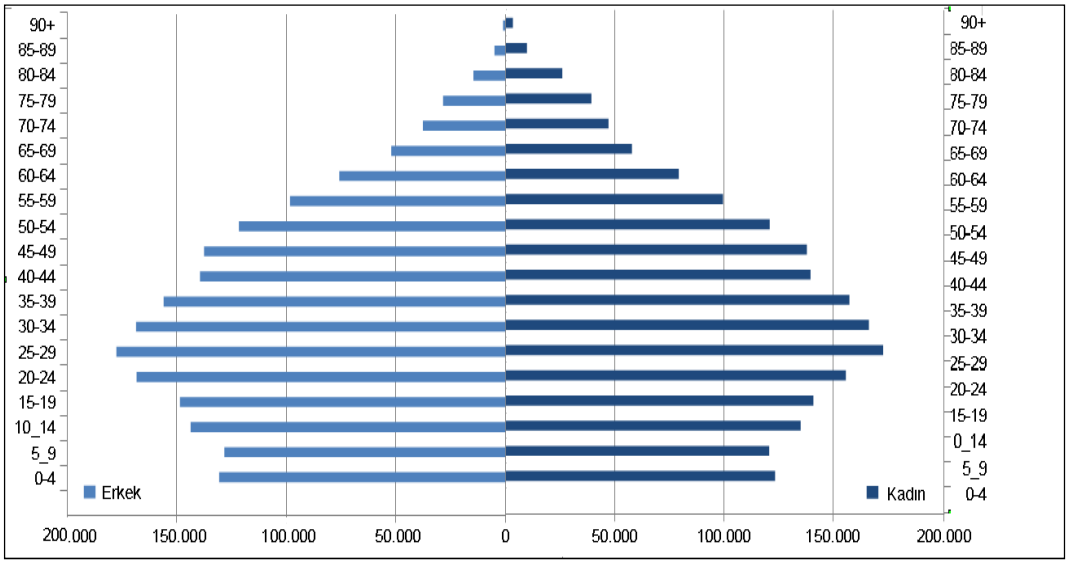
Nem İçeriği (%)		38,52
Enerji Miktarı (kJ/kg)	Yaş Atık	8918,41
	Kuru Atık	14506,20
	Külsüz Kuru Atık	16133,16

4.1.14. Nüfus Projeksiyonu ve Kentsel Katı Atık Miktarları

4.1.14.1. Nüfus Projeksiyonu

Türkiye'nin 3. büyük metropolü İzmir'in nüfusu, 1927 yılında 531.579 iken ülke nüfusu 13.648.270 kişiydi ve 1945 yılına kadar, nüfus açısından İstanbul'dan sonra Türkiye'nin ikinci büyük iliydi. Kentin hızlı nüfus artışı artarak günümüze kadar devam etti. İl genelinde en düşük yıllık nüfus artış hızı % 1,02 ile 1940–1945 döneminde, en yüksek yıllık nüfus artış hızı %3,39 ile 1950–1955 döneminde görülmüştür. Yıllık nüfus artış oranı 2007–2008 arası bir yıllık dönemde %1,5 iken 2008-2009 döneminde %1,9'a ulaşmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu İzmir Bölge Müdürlüğü'nün (TÜİK) 2009 Yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerinden derlenen bilgilere göre, 2007-2008 yılları arasında nüfus artış hızı İzmir'de binde 15, Türkiye genelinde binde 13,1 oldu. 2008-2009 yıllarında ise bu oran Türkiye genelinde 14,5 iken İzmir'de binde 18,9'a çıkarak, ülke ortalamasından oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır (TÜİK, 2009).

Türkiye nüfusunun yaşlara göre dağılımı bir piramide benzerken (genç nüfus yaşlı nüfusa göre daha kalabalık), İzmir için yaşlara göre dağılım diyagramı baklava dilimini andırmaktadır (Şekil 4.16). Şekilde, 15 yaşına kadar olan çocukların sayısı ile 40 yaş üstü kişilerin dağılımı birbirine yakındır. İzmir'de 0-19 yaş arası nüfus, toplamın %27,1'ini oluştururken, ülke genelinde bu oran %34,1 olarak tespit edildi. Türkiye genelinde en fazla nüfus 10-14 yaş arasında görülürken İzmir'de yaşayanların ağırlıklı olarak 30-34 yaş dönemi olduğu görülmüştür. 0-4 yaş arası çocukların oranı ise %6,6 ile %8,4 olan Türkiye ortalamasının altındadır. Orta yaş üstüne bakıldığında, İzmir'de bu yaş gruplarının dağılımının ülke genelinden daha fazla olduğu görülmektedir. Kentte 40 yaş üstü nüfusun oranı ise yaklaşık %32 ile ülke ortalamasıyla hemen hemen aynıdır (TÜİK, 2010d).



Şekil 4.16. İzmir ili yaş grubu ve cinsiyete göre nüfus (TÜİK, 2010d).

İzmir ili için gelecek yıllara ilişkin yapılacak nüfus projeksiyonunda İller Bankası Yöntemi seçilmiştir. ADNKS ile tespit edilen toplam nüfusları üzerinden yapılan hesaplarda, Karabağlar ve Bayraklı ilçelerinin yeni ilçe olmaları göz önünde bulundurulmuştur. Çoğalma katsayısı olan $Ç$ değerleri, nüfus miktarları arasındaki değişimi göstermekte olup, Denklem (4.4)'de ifade edildiği hesaplanmaktadır.

$$Ç = \left(\sqrt[a]{\frac{N_y}{N_e}} - 1 \right) \times 100 \qquad (4.4)$$

Ç =Çoğalma katsayısı

a = İki nüfus arasında geçen süre (yıl)

N_y =Beldenin yeni nüfus sayım değeri

N_e =Beldenin eski nüfus sayım değeri

Çizelge 4.31'de İzmir anakent belediyesine bağlı ilçelere ait nüfus sayım sonuçları (2007-2010) ve nüfus artış katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.31. İzmir Büyükşehir Belediyesi nüfus sayımı sonuçları ve nüfus artış katsayıları.

İlçeler	2007	2008	2009	2010	Ç 2007-2008	Ç 2008-2009	Ç 2009-2010	Ç Seçilen
Torbalı	119506	121963	113211	116326	2,06	1	2,75	2,75
Urla	48058	49774	43386	45244	3,57	1	4,28	3
Balçova	74837	76219	77915	77767	1,85	2,23	1	2,23
Bornova	476153	399023	402453	412275	1	1	2,44	2,44
Buca	400.93	407526	412639	419693	1,65	1,25	1,71	1,71
Çiğli	144251	153508	154397	157.53	6,42	1	2,03	3
Gaziemir	109291	112149	121255	129691	2,62	8,12	6,96	3
Güzelbahçe	19255	22138	22.99	23048	14,97	3,85	1	3
Karşıyaka	515184	296031	304.22	309.79	*x	2,77	1,83	2,77
Konak	848226	411112	411112	405.58	x	1	1	1
Narlıdere	61455	59161	65714	72832	1	11,07	10,83	3
Aliağa	60043	62258	51108	53624	3,67	2	4,92	3
Bayındır	42152	41965	21407	21793	1	1	1,8	1,8
Foça	30549	29018	27074	40592	1	1	49,93	3
Kemalpaşa	81777	87147	69605	71409	6,57	1	2,59	3
Menderes	64065	68029	53.8	55501	6,19	2	3,16	3
Menemen	126934	125478	116147	119.23	1	2	2,65	2,65
Seferihisar	25.83	26945	25308	29232	4,32	6,7	15,5	3
Selçuk	34002	34459	27801	27.88	1,34	1	1	1,34
Bayraklı	x	303816	306427	307898	x	1	1	1
Karabağlar	x	443159	448846	457999	x	1,28	2,04	2,04
Toplam	3282498	3330878	3276815	3354934	14,97	11,07	49,93	3

*x: Karabağlar ve Bayraklı ilçeleri, 2009 yılında sırasıyla Konak ve Karşıyaka ilçelerinden ayrılarak oluşmuş olup, bu nedenle hesaplamalarda 2009 yılı baz alınmıştır.

Denklem (4.4)'e göre bulunan nüfus artış katsayısı 1' den küçük bulunduğu takdirde nüfus artış katsayısı 1 olarak, 1 ile 3 arasında bulunduğu takdirde hesap edilen değer olarak, 3' ten büyük bulunduğu takdirde ise 3 olarak kabul edilir. Denklem (4.4)'e göre bulunan çoğalma katsayısını, Denklem (4.5)'de yerine koyarsak söz konusu yerleşim yerinin nüfus hesabı bulanabilir.

$$N_y = N_e \times \left(1 + \frac{\bar{Ç}}{100}\right)^n \quad (4.5)$$

Ny = Beldenin yeni nüfus sayım değeri

Ne = Beldenin eski nüfus sayım değeri

Ç = Çoğalma Katsayısı

İzmir Anakent belediyesine bağlı ilçeler için hazırlanan nüfus projeksiyonu değerleri (2011-2014) Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Plana esas nüfus projeksiyonu değerleri.

İlçe	Yıl	Nüfus (kişi)	İlçe	Yıl	Nüfus (kişi)
Torbalı	2011	119524	Urla	2011	46601
	2012	122812		2012	47999
	2013	126189		2013	49439
	2014	129659		2014	50922
Balçova	2011	79501	Bornova	2011	422334
	2012	81274		2012	432639
	2013	83086		2013	443195
	2014	84939		2014	454009
Buca	2011	426788	Çiğli	2011	162256
	2012	434086		2012	167123
	2013	441509		2013	172137
	2014	449059		2014	177301
Gaziemir	2011	133581	Güzelbahçe	2011	23739
	2012	137589		2012	24451
	2013	141417		2013	25185
	2014	145968		2014	25.94
Karşıyaka	2011	318371	Konak	2011	409635
	2012	327.19		2012	413732
	2013	336253		2013	417869
	2014	345567		2014	422048
Narlıdere	2011	75016	Aliağa	2011	55233
	2012	77267		2012	56889
	2013	79585		2013	58596
	2014	81973		2014	60354
Bayındır	2011	22185	Foça	2011	41809
	2012	22584		2012	43064
	2013	22991		2013	44355
	2014	23404		2014	45686
Kemalpaşa	2011	73551	Menderes	2011	57166
	2012	75757		2012	58881
	2013	78.03		2013	60647
	2014	80371		2014	62466
Menemen	2011	122389	Seferihisar	2011	30109
	2012	125632		2012	31012
	2013	128962		2013	31942
	2014	132.38		2014	32901
Selçuk	2011	28253	Bayraklı	2011	310977
	2012	28632		2012	314087
	2013	29016		2013	317228
	2014	29404		2014	320399
Karabağlar	2011	467342	Toplam	2011	3426360
	2012	476876		2012	3499576
	2013	486604		2013	3574235
	2014	496.53		2014	3651280

Çizelge 4.33. Plana esas ilçelere göre nüfus projeksiyonu değerleri.

Yıllar	Torbalı	Urla	Balçova	Bornova	Buca	Çiğli	Gaziemir	Güzelbahçe	Karşıyaka	Konak	Narlıdere
2015	133224	52449	86833	465086	456737	182620	150347	26718	355139	426268	84432
2016	136888	54023	88769	476434	464548	188098	154857	27519	364976	430531	86965
2017	140652	55643	90749	488059	472491	193741	159503	28345	375086	434836	89574
2018	144520	57313	92772	499968	480571	199553	164288	29195	385476	439184	92261
2019	148495	59032	94841	512167	488789	205540	169216	30071	396154	443576	95029
2020	152578	60803	96956	524664	497147	211706	174293	30973	407127	448012	97880
2021	156774	62627	99118	537466	505648	218057	179522	31902	418404	452492	100816
2022	161085	64506	101329	550580	514295	224599	184907	32860	429994	457017	103840
2023	165515	66441	103588	564014	523089	231337	190455	33845	441905	461587	106956
2024	170067	68434	105898	577776	532034	238277	196168	34861	454146	466203	110164
2025	174744	70487	108260	591874	541132	245426	202053	35907	466726	470865	113469
2026	179549	72602	110674	606316	550385	252788	208115	36984	479654	475574	116873
2027	184487	74780	113142	621110	559797	260372	214358	38093	492940	480329	120380
2028	189560	77024	115665	636265	569369	268183	220789	39236	506595	485133	123991
2029	194773	79334	118244	651790	579106	276229	227413	40413	520628	489984	127711
2030	200129	81714	120881	667694	589008	284516	234235	41626	535049	494884	131542
2031	205633	84166	123577	683985	599080	293051	241262	42874	549870	499833	135488
2032	211288	86691	126333	700675	609325	301843	248500	44161	565101	504831	139553
2033	217098	89292	129150	717771	619744	310898	255955	45485	580755	509879	143740
2034	223069	91970	132030	735285	630342	320225	263634	46850	596842	514978	148052
2035	229203	94729	134974	753226	641121	329832	271543	48256	613374	520128	152493
2036	235506	97571	137984	771604	652084	339727	279689	49703	630365	525329	157068
2037	241982	100498	141061	790432	663235	349918	288080	51194	647826	530583	161780
2038	248637	103513	144207	809718	674576	360416	296722	52730	665770	535888	166634
2039	255475	106619	147423	829475	686111	371228	305624	54312	684212	541247	171633
2040	262500	109817	150710	849714	697844	382365	314793	55941	703165	546660	176782
2041	269719	113112	154071	870448	709777	393836	324237	57620	722643	552126	182085
2042	277136	116505	157507	891686	721914	405651	333964	59348	742660	557648	187548
2043	284757	120001	161019	913444	734259	417821	343983	61129	763232	563224	193174
2044	292588	123601	164610	935732	746815	430356	354302	62963	784373	568856	198969
2045	300634	127309	168281	958564	759585	443266	364931	64852	806100	574545	204939
2046	308902	131128	172034	981952	772574	456564	375879	66797	828429	580290	211087
2047	317397	135062	175870	1005912	785785	470261	387156	68801	851377	586093	217419
2048	326125	139114	179792	1030456	799222	484369	398770	70865	874960	591954	223942
2049	335094	143287	183801	1055600	812889	498900	410733	72991	899196	597874	230660
2050	344309	147586	187900	1081356	826789	513867	423055	75181	924104	603853	237580

Çizelge 4.33. Plana esas ilçelere göre nüfus projeksiyonu değerleri (devam).

Yıllar	Aliağa	Bayındır	Foça	Kemalpaşa	Menderes	Menemen	Seferihisar	Selçuk	Bayraklı	Karabağlar
2015	62164	23825	47056	82782	64339	135888	33888	29798	323602	506659
2016	64029	24254	48468	85265	66270	139489	34904	30197	326839	516995
2017	65950	24690	49922	87823	68258	143185	35951	30601	330107	527541
2018	67928	25135	51419	90458	70306	146979	37030	31012	333408	538303
2019	69966	25587	52962	93172	72415	150874	38141	31427	336742	549285
2020	72065	26048	54551	95967	74587	154873	39285	31848	340109	560490
2021	74227	26517	56188	98846	76825	158977	40464	32275	343511	571924
2022	76454	26994	57873	101811	79130	163190	41678	32707	346946	583591
2023	78748	27480	59609	104865	81503	167514	42928	33146	350415	595496
2024	81110	27974	61398	108011	83949	171953	44216	33590	353919	607645
2025	83544	28478	63240	111252	86467	176510	45542	34040	357459	620041
2026	86050	28991	65137	114589	89061	181188	46908	34496	361033	632689
2027	88631	29512	67091	118027	91733	185989	48316	34958	364643	645596
2028	91290	30044	69104	121568	94485	190918	49765	35427	368290	658766
2029	94029	30584	71177	125215	97319	195977	51258	35902	371973	672205
2030	96850	31135	73312	128971	100239	201171	52796	36383	375693	685918
2031	99755	31695	75511	132841	103246	206502	54380	36870	379449	699911
2032	102748	32266	77777	136826	106344	211974	56011	37364	383244	714189
2033	105831	32847	80110	140931	109534	217591	57692	37865	387076	728759
2034	109006	33438	82513	145158	112820	223357	59422	38372	390947	743625
2035	112276	34040	84989	149513	116205	229276	61205	38887	394857	758795
2036	115644	34653	87539	153999	119691	235352	63041	39408	398805	774275
2037	119113	35276	90165	158619	123282	241589	64932	39936	402793	790070
2038	122687	35911	92870	16337	126980	247991	66880	40471	406821	806187
2039	126367	36558	95656	168279	130789	254563	68887	41013	410889	822634
2040	130158	37216	98526	173327	134713	261309	70954	41563	414998	839415
2041	134063	37886	10148	178527	138755	268234	73082	42120	419148	856539
2042	138085	38568	104526	183883	142917	275342	75275	42684	423340	874013
2043	142228	39262	107662	189399	147205	282638	77533	43256	427573	891843
2044	146495	39969	110891	195081	151621	290128	79859	43836	431849	910036
2045	150889	40688	114218	200933	156170	297817	82255	44423	436167	928601
2046	155416	41420	117645	206961	160855	305709	84722	45018	440529	947545
2047	160079	42166	121174	213170	165680	313810	87264	45622	444934	966875
2048	164881	42925	124809	219565	170651	322126	89882	46233	449384	986599
2049	169827	43698	128554	226152	175770	330663	92578	46853	453878	1006725
2050	174922	44484	132410	232937	181043	339425	95356	47480	458416	1027263

Plan dahilinde hazırlanan İzmir Anakent belediyesine bağlı 21 ilçeye ait nüfus tahmin değerleri (2015-2050) Çizelge 4.33'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.34'de, anakentin 2015-2050 yıllarını kapsayan nüfus tahmin değerleri de verilmiştir.

Çizelge 4.34. İzmir Anakent nüfus projeksiyon sonuçları (2015-2050).

Yıllar	Nüfus	Yıllar	Nüfus
2015	3729862	2033	5518013
2016	3810326	2034	5641947
2017	3892718	2035	5768932
2018	3977090	2036	5899047
2019	4063491	2037	6032375
2020	4151973	2038	6168999
2021	4242590	2039	6309005
2022	4335396	2040	6452481
2023	4430449	2041	6599518
2024	4527805	2042	6750210
2025	4627524	2043	6904651
2026	4729668	2044	7062940
2027	4834297	2045	7225178
2028	4941478	2046	7391468
2029	5051275	2047	7561917
2030	5163757	2048	7736635
2031	5278992	2049	7915733
2032	5397053	2050	8099327

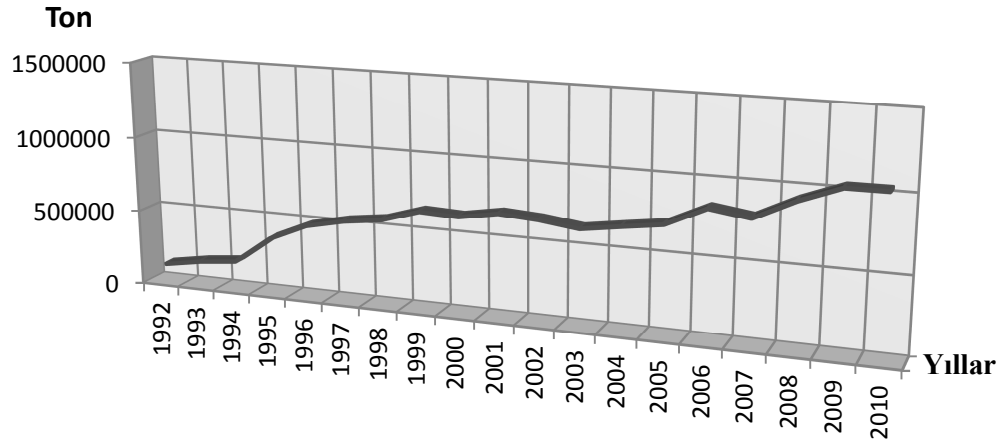
4.1.14.2. Kentsel Katı Atık Miktarları

İzmir için kişi başına kentsel katı atık oluşumu hesaplanırken, HDDA'da bertaraf edilen toplam evsel katı atık miktarları göz önüne alınmıştır. İzmir'deki tek düzenli katı atık depolama tesisi olan Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde 1992-2010 yılları arasında bertaraf edilen toplam katı atık miktarları Çizelge 4.35 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Çizelge 4.35, incelendiğinde evsel katı atık miktarlarının, 1992 ile 1994 yılları arasında düzenli olarak arttığı, 1994 ile 1998 yılları arasında ise parabolik bir artış gösterdiği görülmektedir. 1998-1999 yılları arasında ise atık miktarındaki düzenli artış sürmekte, 1999-2007 yılları arasında hafif eğimli düşüşler görülse de, 2007-2009 yılları arasında yine artış gözlenmektedir.

Çizelge 4.35. 1992-2010 yılları arasında Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde bertaraf edilen evsel katı atık miktarları.

Yıllar	Evsel Katı Atık Miktarları (ton)	Yıllar	Evsel Katı Atık Miktarları (ton)
1992	122520	2002	674430
1993	165300	2003	642130
1994	192201	2004	681440
1995	376400	2005	718550
1996	486945	2006	842550
1997	541870	2007	805959
1998	575240	2008	935309
1999	654760	2009	1036334
2000	644800	2010	1037951
2001	689870		

Kaynak: (İBB, 2011a).



Şekil 4.17. Harmandalı Düzenli Depolama Tesisi evsel katı atık verileri grafiksel gösterimi (1992-2010).

Kişi başına katı atık üretimini hesaplamak için katı atık miktarları nüfusa bölünmektedir. TUİK'den alınan nüfus verileri ile Harmandalı Düzenli Katı Atık Bertaraf Tesisinde bertaraf edilen katı atık miktarları kullanılarak yapılan kentsel katı atık miktarı hesaplama sonucunda Çizelge 4.36 elde edilmektedir. Çizelge 4.36 incelendiğinde; kişi başına katı atık miktarı 2007 yılında 0,74 kg/kişi-gün, 2008 yılında 0,85 kg/kişi-gün, 2009 yılında 0,94 kg/kişi-gün ve 2010 yılında 0,92 kg/kişi-gün olduğu görülmektedir. Söz konusu değerlerin düzenli bir artış gösterdiği gözlenmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atık Yönetimi Eylem Planı'nda (2008-2012) kabul edilen kişi başı evsel katı atık miktarı 1,28 kg/kişi-gün olarak kabul edilmektedir. Çizelge 4.36'daki değerler 1,28 kg/kişi-gün değerinden düşüktür. Kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı, İzmir anakent

alan sınırları içinde düzenli artış göstermektedir. Bu artış neticesinde gelecek yıllarda 1,28 kg/kişi-gün değerine ulaşılması mümkündür (İBB, 2011a).

Çizelge 4.36. İzmir anakent kişi başına düşen kentsel katı atık üretimi.

Yıllar	Kentsel Katı Atık Miktarı	
	kg/kişi-yıl	kg/kişi-gün
2007	269,81	0,74
2008	309,19	0,85
2009	343,72	0,94
2010	336,36	0,92

İzmir anakent alan sınırları içinde oluşacak katı atık miktarlarının tahmini yapılırken sokak toplayıcıları tarafından alınan %5-10'luk geri dönüştürülebilir/kazanılabilir atık değerleri de dikkate alınmıştır. 2007-2010 yıllarındaki kişi başına üretilen katı atık miktarları esas alındığında kişi başına üretilen katı atık artış miktarı yaklaşık olarak 1,08 hesaplanmıştır. 2010-2050 yılları arasındaki katı atık projeksiyonu, bu artış miktarı kullanılarak yapılmış ve Çizelge 4.37''de verilen kişi başına üretilen atık projeksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde; kişi başına katı atık üretim değerlerinin 2010-2050 döneminde 0,922 kg/kişi-gün ile 20,03 kg/kişi-gün arasında değiştiği görülmektedir. Kişi başına katı atık üretimi tahmin değerlerinden Atık Yönetimi Eylem Planı'nda (2008-2012) kabul edilen 1,28 kg/kişi-gün değeri kullanılmaktadır. Elde edilen kişi başına katı atık üretimi tahmin değerleri, 1,28 kg/kişi-gün değerine 2014 yılında ulaşmaktadır (İBB, 2011a).

Çizelge 4.37. Kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı tahminleri (2010- 2050).

Yıllar	Kentsel Katı Atık Miktarları		Yıllar	Kentsel Katı Atık Miktarları	
	kg/kişi-yıl	kg/kişi-gün		kg/kişi-yıl	kg/kişi-gün
2010	336,36	0,922	2031	1.693,18	4,641
2011	363,27	0,996	2032	1.828,63	5,012
2012	392,33	1,075	2033	1.974,93	5,413
2013	423,72	1,161	2034	2.132,92	5,847
2014	457,61	1,254	2035	2.303,55	6,314
2015	494,22	1,355	2036	2.487,84	6,819
2016	533,76	1,463	2037	2.686,86	7,365
2017	576,46	1,580	2038	2.901,81	7,954
2018	622,58	1,707	2039	3.133,96	8,591
2019	672,39	1,843	2040	3.384,68	9,278
2020	726,18	1,991	2041	3.655,45	10,020
2021	784,27	2,150	2042	3.947,89	10,822
2022	847,01	2,322	2043	4.263,72	11,687
2023	914,77	2,507	2044	4.604,81	12,622
2024	987,95	2,708	2045	4.973,20	13,632
2025	1.066,99	2,925	2046	5.371,05	14,723
2026	1.152,35	3,159	2047	5.800,74	15,900
2027	1.244,54	3,411	2048	6.264,80	17,173
2028	1.344,10	3,684	2049	6.765,98	18,546
2029	1.451,63	3,979	2050	7.307,26	20,030
2030	1.567,76	4,297			

4.1.15. Harmandalı Düzenli Depolama Alanı

İzmir ilinde katı atıkların bertarafını yapmakla yükümlü olan İzmir Büyükşehir Belediyesi, mücavir alan sınırları içerisinde katı atıkların bertarafı için Harmandalı Düzenli Depolama Alanını kullanmaktadır.

Harmandalı Düzenli Depolama Alanı, İzmir il sınırları içerisinde 38° 32' – 38° 33' kuzey enlemleri, 27° 05' – 27° 10' doğu boylamları arasında, Karşıyaka ilçesine bağlı Harmandalı köyünün 2,5 km doğusunda yer almaktadır. Şehir merkezine 25 km uzaklıkta olan alana, İzmir-Karşıyaka-Menemen devlet karayolunun 12. km`sinden ayrılan Harmandalı köyünden ulaşılabilmektedir. Şekil 4.18'de bu durum görülebilmektedir.



Şekil 4.18. Harmandalı Düzenli Depolama Alanı ulaşım haritası (İBB, 2011a).

Toplam 900 dönüm alana sahip tesiste, halen 170 dönümü evsel (ek sedde çalışmaları ile genişletilmiş) ve 56 dönümü tıbbi ve evsel nitelikli endüstriyel atıklar için olmak üzere toplam 226 dönümde aktif depolama yapılmaktadır. İzmir ilinin katı atık depolama ihtiyacını, 15-20 yıl karşılayabilmesi amacıyla 1992 yılında işletmeye alınan tesis, 2005 yılından itibaren İZSU Genel Müdürlüğü'nce işletilmekte ve atıklar sınıflarına bağlı olarak (evsel, evsel nitelikli endüstriyel ve tıbbi atıklar vb.) farklı lotlarda depolanmaktadır (İBB, 2011a).

4.1.15.1. HDDA'nın Jeolojik Yapısı ve Toprak Özelliği

Katı atık düzenli depolama alanı olarak seçilen Harmandalı mevkiinin jeolojik etütleri, 1990 yılında Hacettepe Üniversitesi UKAM'a (Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi) yaptırılmıştır. UKAM'ın düzenlemiş olduğu rapora göre, Harmandalı bölgesinde üç temel jeolojik formasyon gözlenmiştir:

Harmandalı filişi, proklastik seriler, yamaç molozları. Buradaki sıralama, yaşlı yapıdan genç yapıya doğrudur. Harmandalı filişinin önceki dönemlerde çalışılmış ve üst krearese yaşı filişinin özelliklerini gösterdiği bulunmuştur. Bu jeolojik formasyon 30-200 m derinliklerde görülebilmektedir. Formasyon tabakalı çamur yatakları ve kum taşı tabakaları arasında bulunan kuvars tabakalarını ihtiva

etmektedir. En sık gözlenen litolojik birim, kesin tabakalar halinde değil çok ince oluşumlar şeklinde bulunan çamur taşlarıdır. Bu formasyonların rengi koyu gri-siyahtan parlak kırmızı-kahverengiye dönüşebilmektedir.

Kumtaşı genellikle küçük ya da orta büyüklükte tabakalar halinde bulunmaktadır. Tabakalar genellikle kuzey batı yönünde ilerlemektedir. Yeni açılmış bir yüzeyin parlak ve kahverengimsi gri olduğu gözlemlenmiştir. Önemli çatlaklara kuzey-güney ve kuzey kuzeybatı-güney güneydoğu yünlerinde rastlanmıştır. Alanın batısında asimetrik bir senklinal gözlenmiştir.

Çamur taşı-kumtaşından kaynaklanan filişi derin ve yavaş bir şekilde çökelmiştir. Sediment tabakasındaki bir artış veya azalma enerjik koşulların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu değişim, rengin koyu kahverengiden griye dönmesine sebep olmaktadır.

Harmandalı filişini kaplayan proklastik kayalar alanda büyük bir dağılım göstermektedir. Proklastik kayaçların yapısı andezitli blokları, volkan parçaları ve andezit külleri içeren volkanik malzemelerden oluşmaktadır. Andezit bloklarının boyutları 1 m^3 ile 50 m^3 arasında değişmektedir. Proklastik malzemeler yüksek yerlerde gözlenmekte ve paleotopografik koşullara göre bir dağılım göstermektedir. Kil, su difüzyonu ile mineralojik andezit yapısındaki plajyoklazın yok olmasının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, piroklastik malzemenin üst tabakalarındaki kil içeriği oldukça yüksektir. Piroklastik seriler, Miyosen devrindeki volkanizmanın sonucu olarak üst kreatese yaşındaki filişinin üzerinde yer almaktadır.

Araştırma alanının batı kısmında, yamaç molozları gözlenmiştir. Bu kayaçlar muhtemelen piroklastik serisi malzemelerinin suyla taşınmasıyla oluşmuşlardır. Yamaç molozlarında, bazı kumtaşı çakılları ve kil-silt boyutlarında malzemeler gözlenmiştir. Kil-silt malzeme Harmandalı filişinden sürüklenmektedir. Yamaç molozun kalınlığının yaklaşık 19 m olduğu bulunmuştur (Tugal Mühendislik, 1999).

4.1.15.2. HDDA'nın Deprem Özelliği

İzmir birinci dereceden deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Şehirde fay hattı Bakırçay, Gediz ve Küçük Menderes düzlüklerinin her iki tarafından da geçmektedir. Batı Anadolu Paleozoik ve Alp hareketlerinden şiddetle

etkilenmektedir. Duruma göre, şehir ve civarı şiddetle depremlere maruz kalmıştır. Önemli depremler geçmişte yaşanmakla birlikte, şehir sık sık hafif sarsıntılar geçirmektedir (Tugal Mühendislik., 1999).

4.1.15.3. HDDA'nın Hidroloji ve Hidrojeolojisi

Harmandalı filişinin bir bileşeni olan çamur taşı yer altı suyu açısından geçirimsiz olarak nitelendirilmektedir. Ancak, kumtaşı bileşeni yüksek geçirimliliğe sahiptir. Genel olarak filiş geçirimsiz olarak düşünülmektedir. Geçirimlilik katsayısı 10^{-7}m/sn ve kil, silt malzeme ile kaplıdır.

Filişin üzerindeki piroklastik tabaka üzerinde bazı sığ artezyen kuyuları gözlenmiştir. Bununla birlikte, Harmandalı düzenli depolama alanı dışında bazı yüksek rakımlı kesimlerde, birtakım küçük su kaynakları bulunmaktadır. Harmandalı köyü su temininin bir bölümünü bu kaynakları kullanarak sağlamaktadır. Bu kaynaklardaki su toplanmakta ve bir boru ile düzenli depolama civarındaki bir depoya ulaştırılmakta, daha sonra köye verilmektedir (Tugal Mühendislik., 1999).

4.1.15.4. HDDA'nın Meteorolojik Özellikleri

Bölge, İzmir ili iklimi olan yazları sıcak ve kurak, kış ayları ılık ve yağmurlu olan Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Denizlere kadar erişen dağlar ve dağlar arasında yer alan alüvyon ovalar sayesinde batıdan Anadolu Bölgesinin iç kısımlarına kadar deniz etkisi taşınmaktadır. Ancak deniz kıyısından mesafe ve yükseklik gibi şartlar yağış ve sıcaklıkta değişikliklere sebep olmaktadır. Bölgeyi etkisi altına alan İzmir iline ait meteorolojik veriler Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39'da özetlenmektedir.

Çizelge 4.38. İzmir ili meteorolojik verileri (1975-2010).

İZMİR	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (Saat)	Ort. Yağışlı Gün Sayısı	Ort. Yağış Miktarı (kg/m²)
Ocak	8,9	12,6	5,9	4,3	11,2	125,2
Şubat	9,3	13,3	6	4,9	10,4	97,6
Mart	11,8	16,5	7,9	6,5	8,5	79,4
Nisan	16	21	11,5	7,4	8,1	48,1
Mayıs	20,9	26,1	15,6	9,7	5	26,4
Haziran	25,8	31	20,2	11,6	2,3	11,4
Temmuz	28,1	33,3	22,8	12,1	1,7	9,6
Ağustos	27,6	32,9	22,6	11,6	1,3	4,6
Eylül	23,6	29,1	18,8	9,9	3,9	34,9
Ekim	19	24,1	14,9	7,4	5,6	51,6
Kasım	13,8	18,3	10,5	5,3	8,9	110,5
Aralık	10,4	13,9	7,6	3,8	12,3	135

Kaynak: (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2010).

Çizelge 4.39. En yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (1975-2010).

İZMİR	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Ocak	22,4	-4
Şubat	23,8	-5
Mart	30,5	-3,1
Nisan	32,1	0,6
Mayıs	37,5	7
Haziran	41,3	10
Temmuz	42,6	16,1
Ağustos	43	15,6
Eylül	40,1	12,6
Ekim	36	5,7
Kasım	29	0
Aralık	25,2	-2,7

Kaynak: (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2010).

(En çok yağış: 29.09.2006 145 kg/m^2, En hızlı rüzgar: 31.01.2003 107,3 km/h, En yüksek kar: 04.01.1979 8,0 cm).

Harmandalı Düzenli Depolama Alanı, genel olarak bulunduğu bölgeye oranla yüksek bir kesime kurulmuştur. Bu hava sirkülasyonunun iyi olmasını ve salım dağılımını sağlamaktadır. Sahanın incelenmesi sırasında, rüzgar ve meltem esintisi tespit edilmiştir. Ham atıkta meydana gelen koku, saha içinde bile bunaltıcı değildir. Hakim rüzgar yönü Mayıs ve ekim ayları arasında kuzey (K)

yönündedir. Diğer önemli rüzgar yönleri olan, Batı-Güney Batı (BGB) ve Batı-Kuzey Batı (BKB), bu mevsimlerde sıkça rastlanan yönlerdir. Haziran – Eylül ayları arasında, BKB ikinci ve BGB üçüncü önemli rüzgar yönleridir. Kış aylarında (Kasım-Nisan), hakim rüzgar yönü Güney-Doğudur (GD). Bu mevsimde diğer önemli rüzgâr yönleri, Doğu-Güney-Doğu (DGD) ve Güney-Güney-Doğudur (GGD) (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2010).

4.1.15.5. HDDA'nın Lot Alanları ve Özellikleri

Harmandalı Düzenli Depolama Alanında atıklar sınıflarına göre, evsel, evsel nitelikli endüstriyel ve tıbbi atıklar olmak üzere farklı lotlarda depolanmaktadır. 1992 yılından beri alan, kapasite hacmine göre tasarlanmış lotlarla depolama faaliyetine devam etmektedir. Bu lotlardan evsel katı atık lotlarına ait özellikler aşağıdaki Çizelge 4.40'da gösterilmiştir.

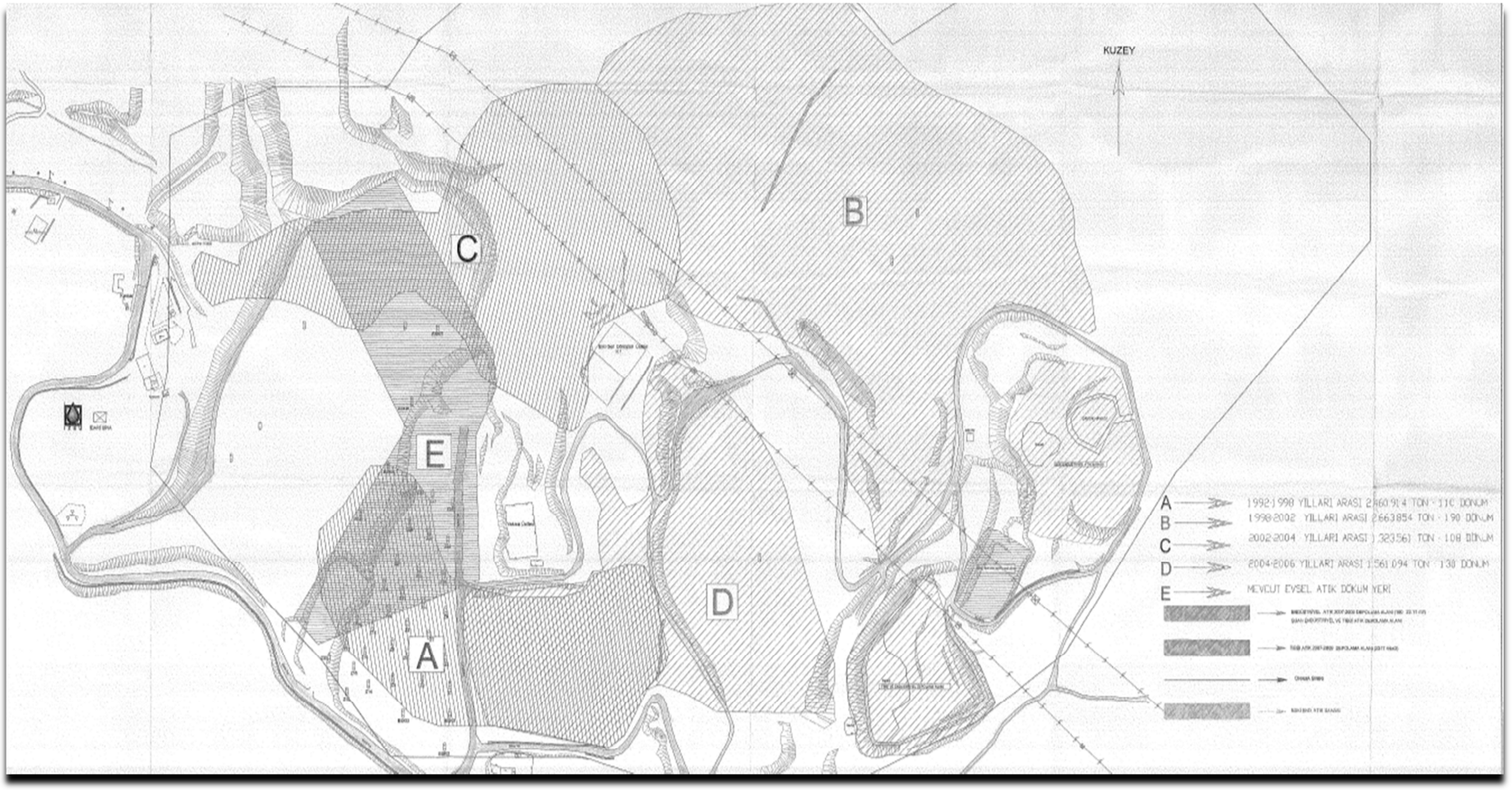
Harmandalı Düzenli Depolama Alanı'nda faaliyetteki evsel atık lotu olan E Lotunda 2007 yılından bu yana çöp depolanmakta ve lottaki depolamaya ait ortalama derinlik 21,68 m'dir. Eski döküm sahası olan A Bölgesi'nin yaklaşık % 25'lik kısmı, E Bölgesi'nin alt katmanında yer almaktadır. A Bölgesi'ne 1992-1998 yılları arasında 2.460.914 ton atık depolaması yapılmıştır. A Bölgesi'ndeki depolamaya ait ortalama derinlik, 19,09 m'dir. A ve E bölgelerinin kesiştiği atık döküm bölgesindeki depolama yüksekliği, 40,77 m'dir (İztek Mühendislik, 2011).

Harmandalı Düzenli Depolama Alanına ait genel vaziyet planı aşağıdaki Şekil 4.19'da görülmektedir.

Çizelge 4.40. Evsel katı atık lotları ve özellikleri, 2011.

Lot Adı	İşletme Yılı	Alan Ölçümü (Hektar)	Depolanan Atık Miktarı (Ton)
A	1992-1998	7,8	2460914
B	1998-2002	19,6	2663854
C	2002-2004	11,1	1323561
D	2004-2006	11,4	1561094
E	2007-depolama devam etmekte	7,1	3815553*

* 2007-2010 yılı evsel katı atık miktarları olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.19. Harmandalı Düzenli Depolama Tesisi lot sahalarının görünümü, (İBB, 2011a).

4.1.16. İzmir İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sisteminin Maliyet Analizi

İzmir'de 2010 yılında 1.116.015 ton katı atık toplanmıştır. Bu atıklardan 1.037.951 tonu evsel katı atık, 5.598 tonu tıbbi atık, 72.466 tonu endüstriyel atıktır. Atıkların 269.258 tonu kış mevsiminde (Aralık, Ocak, Şubat), 285.489 tonu yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) toplanmıştır. Evsel katı atıkların 720.257 tonu, transfer istasyonlarından sağlanmıştır. Büyükşehir belediye mücavir alan sınırı genelinde toplam 32 adet atık hizmeti veren belediye ve kurumdan toplanan atıklarla, kişi başına düşen atık miktarı ortalama 0,95 kg'dır. Kişi başına günlük ortalama atık miktarı, yaz mevsimi için ortalama 1,1 kg, kış mevsimi için ortalama 1,03 kg'dır.

2010 yılında toplanan ve Harmandalı döküm sahasına gönderilen 1.116.015 ton atık için herhangi bir bertaraf, yakma ve geri kazanım çalışması yapılmamıştır. 05.06.1996 tarihinde Harmandalı katı atık depolama sahasında toplanan atıkları bertaraf etmek için yaptırılan yakma tesisi (1250 m^3/saat kapasiteli), 5 yıl işletilmiş ve daha sonra depo sahasında işletme sorumluluğunun İzsu Genel Müdürlüğü'ne devrinden sonra kapatılmıştır (İBB, 2011a).

4.1.16.1. Evsel Katı Atık Maliyet Analizi

İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait güncel evsel atık toplama, taşıma ve bertaraf maliyetleri Çizelge 4.41'de verilmiştir. Çizelge 4.41 incelendiğinde, İzmir anakent sınırları içerisinde toplanan ve bertaraf edilen evsel katı atığın (çöpün) maliyetinin ton başına 100,77 TL olduğu görülebilmektedir.

Çizelge 4.41. İzmir Büyükşehir Belediyesi evsel çöpleri toplama, taşıma ve bertaraf maliyeti.

Çöp Yönetim Sistemi	Maliyet (TL/ton)
Çöp Toplama ve İlçelerden Transfer İstasyonuna Taşıma	64,93
Transfer İstasyonundan Düzenli Depolama Tesisine Transfer	23,58
Bertaraf (evsel atık)	3,12
Bertaraf (evsel nitelikli endüstriyel atık)	9,14
Toplam	100,77

Kaynak: (İBB, 2011a).

4.1.16.2. Tıbbi Atık Maliyet Analizi

Tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertarafının İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne maliyeti Çizelge 4.42'de verilmiştir (İBB, 2011a).

Çizelge 4.42. Tıbbi Atık Toplama, Taşıma ve Bertaraf Maliyetleri.

Tıbbi Atık Yönetim Sistemi	Maliyet (krş./kg)	Maliyet (TL/ton)
Toplama-Taşıma	31,65	316,5
Bertaraf	6,56	65,6
Toplam	38,21	382,1

Kaynak: (İBB, 2011a).

4.1.16.3. Ambalaj Atık Maliyet Analizi

Ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanması ve toplama ayırma tesisine getirilmesi aşamasında birçok maliyet kalemleri ortaya çıkmaktadır. Toplama elemanı çalıştırılması, eğitim çalışmaları, toplama ekipmanlarının temini (konteyner, kumbara, poşet vb.), toplama araçları (bakım, mazot v.b.), ayırma işleminde görev alan personel giderleri İZGEP (İzmir Atık Toplama ve Geri Kazanım Sanayi ve Ticaret A.Ş.) tarafından karşılanmaktadır.

İZGEP bünyesinde 1 tane Ambalaj Atığı Toplama-Ayırma Tesisi, 13 toplama aracı, 2 toplama bisikleti, 25 toplama elemanı, 1 çevre mühendisi, 5 idari personel, 12 ayıklama elemanı bulunmaktadır.

"Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanması Projesi" kapsamında İZGEP'in; toplama maliyeti 125 TL/ton, ayırma maliyeti 135 TL/ton, genel giderler 100 TL/ton olmak üzere toplam giderleri 360 TL/ton 'dur. Toplanan ambalaj atığının satışından da ortalama 210 TL/ton gelir sağlanmaktadır. Ambalaj atıklarına ait maliyet analizi aşağıdaki Çizelge 4.43'de gösterilmiştir (İBB, 2011a)

Çizelge 4.43. Ambalaj atık maliyet analizi, 2010.

Ambalaj Atık Yönetim Sistemi	Maliyet (krş./kg)	Maliyet (TL/ton)
Toplama	2,5	125
Ayırma	13,5	135
Genel Giderler	10	100
Toplam	36	360

Kaynak: (İBB, 2011a).

5. KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA DEPONİ GAZI OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, deponilerdeki atıkların bozunma süreci ele alınmıştır. Deponilerdeki atıkların organik bileşenlerinin bozunması, mikrobiyal popülasyonların art arda devam etmesi ile oluşan bir süreçtir. Bu süreç, doğru mikrobiyolojik ortamı oluşturmak için her bir aşamada başarı sağlayan dinamik bir sistemdir.

Deponiler, oksijenin kademeli olarak tükenmesi ile anaerobik (oksijensiz) sürece geçerler (Lamborn, 2010).

Deponi gövdesi içerisindeki O_2'nin önemli ölçüde azalması, anaerobik ayrışma fazının başladığını gösterir. Bir düzenli depolama sahası ekosisteminde, başlangıçta kısa süreli aerobik ayrışma fazı ve daha sonra daha uzun süren ve gaz oluşumu nedeniyle daha önemli olan anaerobik ayrışma safhası oluşur (Öztürk, 2008).

Anaerobik parçalanma biokütlenin oksijensiz ve mikroorganizmaların bulunduğu ortamda, mikroorganizmalar tarafından başka ürün ve yan ürünlere dönüştürülmesidir.

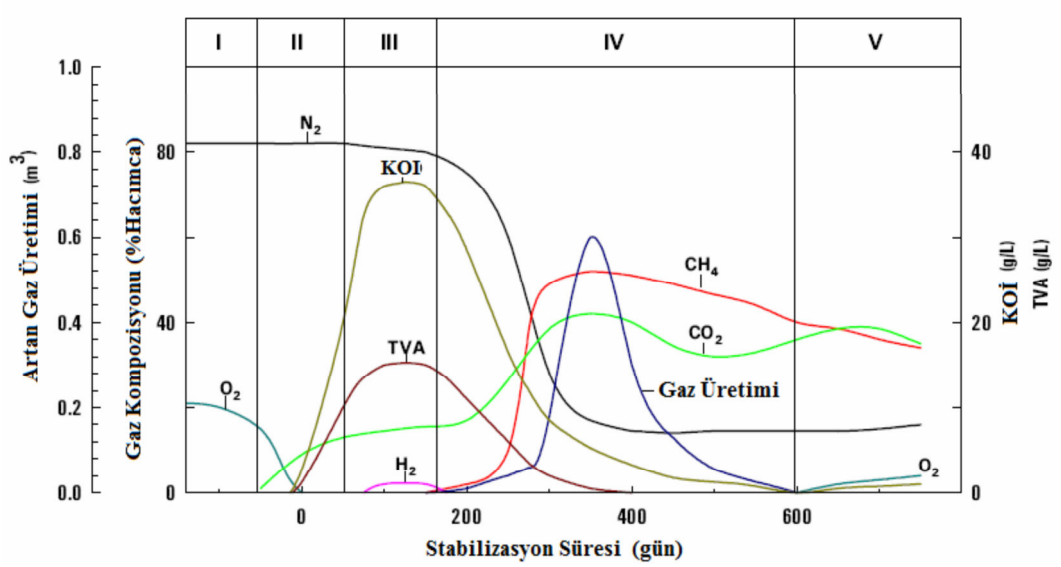
Anaerobik parçalanma temelde üç aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşum aşamalarıdır. Hidroliz aşamasında karmaşık yapılı organik moleküller, mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile daha küçük ve daha basit yapıda moleküllere dönüşmektedir. Bu aşamada selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler, polipeptid ve aminoasitlere, yağlar ise alkoller, asitler ve hidrojene dönüşmektedir.

Yapılan çalışmalarda gaz bileşiminde zamanla meydana gelen değişimler, beş safha olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar, aerobik safha, anaerobik metanojenik olmayan safha, anaerobik metanojenik kararsız safha, metanojenik kararlı safha ve aerobik şartlara geçiş safhası olarak sayılabilir (Öztürk, 2008).

Düzenli depolama sahalarında meydana gelen ayrışma ve gaz oluşum safhaları, sızıntı su oluşumlarıyla birlikte Şekil 5.1'de verilmiştir. Ancak, atıkların biyolojik ayrışması her zaman burada gösterildiği gibi sırayla gerçekleşmeyebilir. Bazı safhalar gerçekleşmezken bazıları da aynı anda meydana gelebilir. Biyolojik

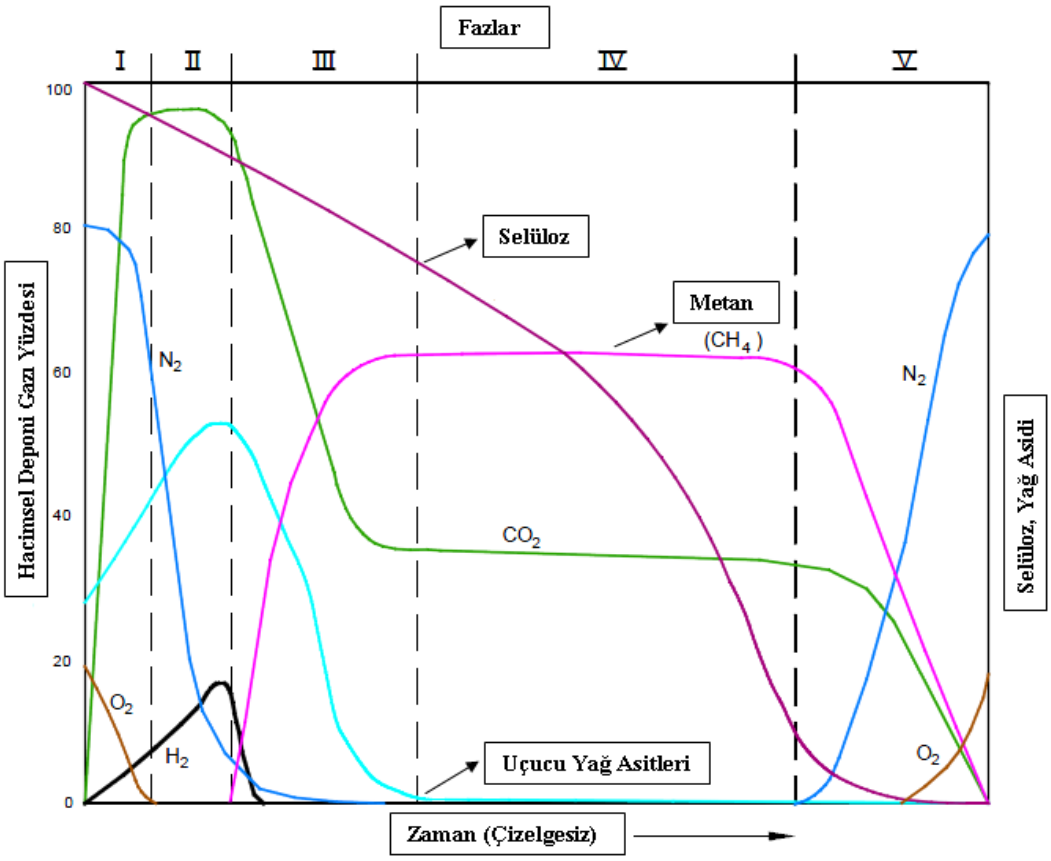
ayrışma, depolanan atığın bileşenlerine ve tane boyutlarına, ayrışabilir organik maddelerin özelliğine, ortamın pH'na ve ortamdaki nem muhtevasına bağlı olarak değişir. Ayrıca, çevresel şartlara bağlı olarak bir veya iki safha baskın hale gelebilir. Bunun yanında, atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda deponi sahasının farklı bölgelerinde farklı proseslerde meydana gelebilir (Öztürk, 2008).

Farquhar ve Rovers, 1970'lerde yaptıkları çalışmalarda, deponilerdeki gazın üretimini öngördüler (Esmap, 2004).



Şekil 5.1. Depolama alanı içinde deponi gazı ve sızıntı suyunda ideal gelişme (Öztürk, 2008).

Şekil 5.2'de gaz üretimi oluşumunun ayrıntılı grafiği görülmektedir. Ayrıca Çizelge 5.1'de bu oluşumun gerçekleşme süreleri belirtilmiştir. Fazlar arası geçiş aşamaları ise, Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.



Şekil 5.2. Deponi gazı üretim yapısı (Esmap, 2004).

Çizelge 5.1. Deponi gazı oluşum fazları ve süreleri.

Fazlar	Durum	Zaman Aralığı
I	Aerobik	0-1 Hafta
II	Anoksik	1-6 Ay
III	Anaerobik, Metanojenik, Kararsız	3 Ay-3 Yıl
IV	Anaerobik, Metanojenik, Kararlı	8-40 Yıl
V	Anaerobik, Metanojenik, Azalma	1-40+ Yıl
Toplam		10-80+ Yıl

Kaynak: (Esmap, 2004).

Çizelge 5.2. Fazlar arası geçiş safhaları.

	Evreler		Durum
Organik atık ⇓	I	Hidroliz	Aerobik ⇓ Anaerobik
Basit (Monomerik) bileşikler ⇓	II	Asit Oluşumu (Asidogenez)	Anaerobik
Organik Asitler (VFA, H_2) ⇓	III	Acetogenesis (Asetogenez)	Anaerobik
Asetik Asit (CO_2, H_2) ⇓ Metan ve Karbon Dioksit (CH4, CO_2)	IV	Metan Oluşumu (Metanogenez)	Anaerobik
	V	Faz Sonu	Anaerobik

Kaynak: (Lamborn, 2010).

5.1. Aerobik (Oksijenli) Safha

Bu safha, katı atık deponi sahasına atıkların depolanarak saha içerisinde su muhtevasının artmasıyla başlar. Elde edilen bu yeni ortamla birlikte aktif mikrobiyal bir topluluk ortaya çıkar ve biyokimyasal reaksiyon gerçekleşebilmesi için ilk birkaç gün ile birkaç hafta arasında çevresel şartlarda bazı değişiklikler meydana gelir. Bu safhaların karakteristik özelliği, atıkların depolandığı sırada atmosferden gelen O_2'nin varlığıdır. Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin reaksiyona girebilmesi için O_2 ihtiyacı çok yüksek olduğundan kısa süre sonra gaz fazındaki O_2 tamamen tükenir. Bu fazda, tüketilen O_2 ile orantılı miktarda CO_2 üretilir. Diğer yandan Azot (N_2) gazı konsantrasyonunda çok az bir azalma meydana gelir. Bu safhada çok fazla ısı üretilir ve deponi gövdesinin sıcaklığı 60-70 ^oC'ye kadar çıkabilir (Öztürk, 2008). Genellikle bu aşamada, kritik bakteri aktivitesinde artış görülür (Lamborn, 2010).

Aerobik safha;

Organik madde + O_2 + Aerobik Bakterileri → CO_2 + NH_3 + Ürünler + Enerji

verildiği gibi açıklanabilir (Öztürk, 2008).

5.2. Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Olmayan Safha

Bu safhada deponi gövdesindeki O_2'nin tükenmeye başlamasıyla birlikte aerobik ortamdan anaerobik ortama geçişin başladığı görülür (Öztürk, 2008).

Bu geçiş süresince (aerobikten anaerobik koşullara), hidroliz aşamasında oluşan organizmalar (su oluşumu), asit oluşumu (uçucu yağ asitlerinin oluşumu) ve asetik asit oluşumu aktivitede artış gösteriyor. Bu oluşan organizmalar, selülozik malzemelerden yapılan karmaşık polimerik malzemeleri parçalarlar (kâğıt, karton, paket vb.).

Bu evredeki ilk oluşum, karbondioksit ve hidrojen üretimini sağlayan hidroliz safhasıdır. Hidroliz safhası, aerobik safhadan anaerobik safhaya kadar devam ediyor. İkinci oluşum, basit bileşenleri, uçucu yağ asidi ve hidrojene dönüştüren asit oluşum safhasıdır. Bu safha;

Karbonhidratlar ⇒ Yağ asitleri (Asetat, propionat, bütirat, laktat ve bazı yüksek zincir asitleri) + $2CO_2$ + Hidrojen; yağlar ⇒ Gliserol + uzun zincirli yağ; amino asitler ⇒ asitler + amonyak olarak ifade edilir.

Bu safha (metanojenik olmayan safha), henüz başlamamış metan üretimi için çok asidik koşullara sahiptir. Buna ait kimyasal reaksiyon;

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O = 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$ ifade edildiği gibidir.

(Karbonhidrat + Su $\Longrightarrow$ Asetik Asit + Karbondioksit + Hidrojen)

Bu safhadaki son oluşum, CO_2, H_2 ve asetik asit (baskın yağ asidi) oluşumunu sağlayan asetik asit evresidir.

Bu safhada, yüksek konsantrasyonda amonyak, hidrojen, organik asitler ve karbondioksit üretilir. Bu, sızıntı suyunun 6,5 – 7 arasında olan pH değerini, yaklaşık 5 seviyelerine çeker. Sızıntı suyunda düşük seviyede amonyak oluşur. Yüksek seviyede karbondioksit oluşumuyla, en yüksek seviyelerine varan Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Biyolojik Oksijen İhtiyacına (BOİ'ye) rastlanır. Sızıntı suları, yağmur suları ve çöp sularının birleşimi ile oluşur.

Bu safhanın ilerlemesi ile oluşan deponi gazının kompozisyonunda değişmeler oluşur (N_2 seviyesi düşerken CO_2 ve H_2 yükselir).

5.3. Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Kararsız Safha

Depolama tamamlandıktan sonra ilk kez CH_4 oluşumu bu kademede baslar ve oluşum miktarı zamanla artar. Bu kademede hacimce %50 oranında metan oluşumu için ortamda yeterli oranda nemli atıkların olması halinde yaklaşık üç aylık bir zaman dilimi gereklidir. Atıkların yeterince nemli olmaması durumunda ise hiç oluşmayabilir (Öztürk ve Karali, 2009).

Birçok deponi, makul bir metanojenik aktivite seviyesine ulaşmak için, yeterli derinlik, içeriye hava girişini önleyecek kaplama ve diğer malzemelerin bozunmasını sağlayacak yapıda inşa edilirler. Metanojenik aktivite seviyesine ulaşmadaki süreç;

Hidrojenin azalması; $4H_2 + CO_2 \Leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$

Asetik asidin parçalanması; $CH_3COOH \Leftrightarrow CH_4 + CO_2$

verilen kimyasal reaksiyonlarla ifade edilir (Mc Bean et al. 1995).

Metanojenik safha için gerekli olan zaman, atığın deponi içindeki kompozisyonuna, mikro klima etkisine ve nem içeriği gibi fiziksel özelliklere bağlıdır. Birçok deponi bu safhaya, atığın depolanmasından sonra, 6 ile 12 ay arasında ulaşabiliyor. Mezofilik altivitesi için optimum koşullar 35^oC civarında, termofilik aktivitesi içinse 45^oC'nin üzerindedir. Mezofilik, ilgili bakterilerin büyümesi için en uygun ortam sıcaklığı olan 30-40^oC'i sağlamaktadır. Termofilik ise, 45^oC'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyüyen bakteriler için uygun ortamı sağlar. Bazı güçlü termofiller, 100^oC'ye varan sıcaklıklarda büyüyebilir (Lamborn, 2010).

5.4. Anaerobik (Oksijensiz) Metanojenik Kararlı Safha

Bu fazda gaz üretimi ve bileşenleri hemen hemen sabit olup %40-70 CH_4 ve %30-60 CO_2'den oluşur. En yüksek CH_4 konsantrasyonun görülmesi sebebiyle bu safha oldukça önemlidir. Yapılan saha çalışmalarında CH_4'ın molar fraksiyonu %50'nin altında olduğunda ve aynı zamanda gaz içerisinde H_2'de mevcut olduğunda, CH_4 üretiminin yavaş gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu safha gaz bileşimi sabit olmakla birlikte, gaz oluşum hızı zamanla düşer. Ancak, yine de deponi gazı basıncı atmosferik havanın deponi içerisine girmesini engelleyecek seviyelerdedir. Bu safha, gaz miktarının yavaş yavaş azalmasıyla ortalama 10-20

yılda tamamlanır. Bu safhanın bu kadar uzun olmasının ana sebebi, atık içindeki katı fazdaki organik maddelerin sıvı faza çok uzun süre içinde dönüşmesidir (Öztürk, 2008).

5.5. Aerobik (Oksijenli) Şartlara Geçiş Safhası

Bu safhada ayrışma prosesleri ve deponi gazı üretimi önemli oranda azalır. Başlangıçtaki atmosferik şartlar yeniden etkili olmaya başlar. Günümüze kadar depolama alanlarındaki atıkların ayrışma süreçleri tamamlanmamasına rağmen, eski sahalardan elde edilen verilere dayanarak mevcut organik karbon kullanıldıktan sonra metanojenik faaliyetin azaldığı ve CH_4 ve CO_2 konsantrasyonlarının ise hızla düştüğü ifade edilebilir. Sonuçta kalan artık madde ise biyolojik olarak inert ve stabil haldedir (Öztürk, 2008).

5.6. Deponi Gazı Kompozisyonu

Deponi gazı kompozisyonu deponiden deponiye değişir. Tipik deponi gazı kompozisyonu Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

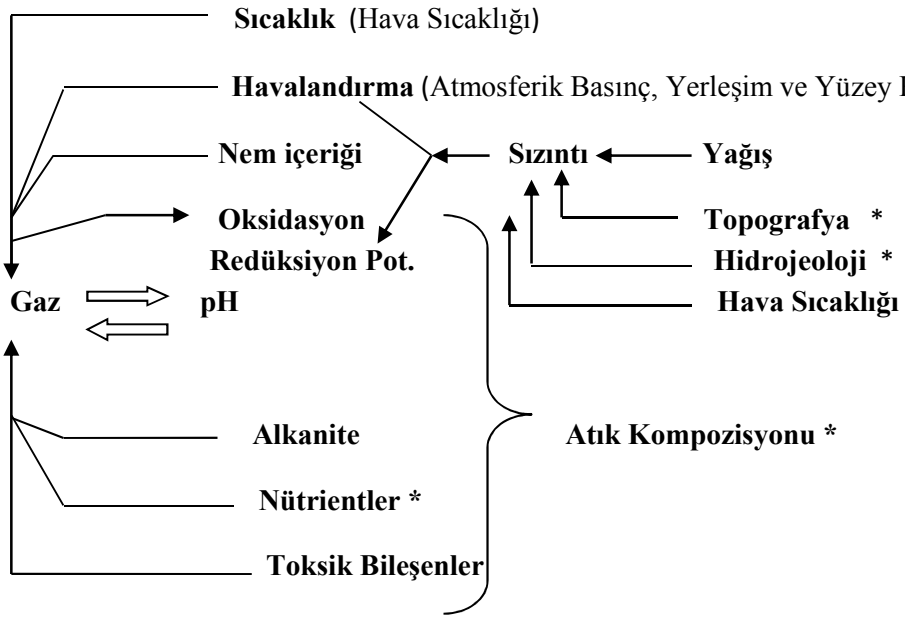
Çizelge 5.3. Tipik deponi gazı kompozisyonu.

Bileşen	Kaynağı	Konsantrasyon (%)	Etkisi
Metan (CH_4)	Biyolojik Parçalanma Ürünü	50 - 70	Patlayıcı, Sera gazı
Karbondioksit (CO2)	Biyolojik Parçalanma Ürünü	30 - 50	Yer altı suyunda asidik, Sera gazı
Su Buharı	Biyolojik Parçalanma Ürünü	5 – 10	
Hidrojen (H2)	Biyolojik Parçalanma Ürünü	< 5	Patlayıcı
Merkaptanlar (CHS)	Biyolojik Parçalanma Ürünü	0.1 – 1	Koku (toksin)
Hidrojen Sülfür (H2S)	Biyolojik Parçalanma Ürünü	< 2	Koku (toksin)
Solventler (toluen)	Kentsel Katı Atıkta Bulunan Kirletici	0.1 – 1	Zararlı
Benzen	Kentsel Katı Atıkta Bulunan Kirletici	0.1 – 1	Zararlı
Bisülfatlar	Kentsel Katı Atıkta Bulunan Kirletici	0.1 – 2	Zararlı
Diğer (Vinil klorid, tolüen, Siklohekzan vb.)	Kentsel Katı Atıkta Bulunan Kirletici	İzler	Zararlı

Kaynak: (Mc Bean et al. 1995).

5.7. Deponi Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Depolama sahasında oluşabilecek deponi gazı miktarı atığın organik madde muhtevasına bağlıdır. Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve CH_4 oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, besi maddeleri (nutrientler), inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası gibi abiyotik (biyolojik olmayan) faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı tekniklerden oldukça fazla etkilenmektedir (Öztürk, 2008). Şekil 5.3'de deponi gazı oluşumunu etkileyen bu faktörler gösterilmektedir.



* Deponi tasarımı ve işletilmesi sırasında uygulaması kontrol edilebilir faktörler.

Şekil 5.3. Deponi gazı üretimini etkileyen faktörler, (Lamborn, 2010).

5.7.1. Atık Kompozisyonu

Atık kompozisyonu, bir deponiden elde edilecek metan miktarını ve dolayısıyla üretilecek toplam gaz miktarını etkilemektedir. Atıklardan çıkan yüksek metan oranı, hızlı parçalanabilir organik atıklardan ileri gelmektedir (Mutfak, park-bahçe, kâğıt, karton, tekstil atıkları vb.).

Emcon (1982), bir deponinin, ortalama parçalanabilir organik atık miktarını tahmin etmede, ticari ve konut atıklarına ait mevcut en iyi literatürü kullandı. Bu analizde, atıkların %70-80'ninin parçalanabilirliği tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu analiz, selülozun evsel atıklar içindeki temel karbonhidrat malzemesi olduğunu göstermiştir. Evsel atık selülozunun biyobozunurluğu, doğal selülozdan daha yüksektir. Selüloz ve hemiselülozun parçalanması, lignin varlığı

nedeniyle inhibe edilir (zorlaştırılır) (Bileşenlere, mikrobiyal erişim engellenmektedir) (Barlaz, 2008).

5.7.2. Sıcaklık

Diğer bütün mikrobiyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik ayrışmayı sağlayan bakteriler sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. CH_4 bakterileri, 40^oC civarında yasayan bir mezofilik grup ve maksimum 70^oC civarında yasayan termofilik bir gruptan oluşurlar. Atıkların aerobik ve anaerobik ayrışmaları ısı veren reaksiyonlardır. Ancak, anaerobik ısı oluşumu genellikle ihmal edilebilir seviyededir. Buna örnek olarak glikozun aerobik ve anaerobik ayrışması verilebilir. Reaksiyonlar neticesinde anaerobik ayrışmada, aerobik ayrışmadan oluşan ısının sadece %7'sinin açığa çıktığı belirlenmiştir. Bu durum;

Aerobik ayrışma:

$C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O +$ biokütle + ısı

(1 kg) (0,64 kg) (0,88 kg) (0,34 kg) (0,40 kg) (9300 kJ)

Anaerobik ayrışma:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_4 + CO_2 +$ biokütle + ısı

(1 kg) (0,25 kg) (0,69 kg) (0,056 kg) (632 kJ) kimyasal reaksiyonlarla ifade edilmiştir.

Deponi gövdesinin sıcaklığı yoğunluk, yüzey alanı, nem muhtevası vb. faktörlerden etkilenir. Biyolojik ayrışmanın ilk safhasında 70^oC gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Anaerobik ayrışma safhası başladığında ise sıcaklık düşer ve 30-35^oC civarında sabit kalır. Bu sıcaklık değerleri mezofilik CH_4 bakterileri için optimum sıcaklıklardır. Sıcaklığın yükselmesi, genellikle gaz üretiminin de arttığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Hartz et al. (1982), biyolojik ayrışma ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ampirik bir ifadeyle belirtmiş ve deponi sahalarında metan oluşumu için optimum sıcaklığın 41^oC olduğunu belirlemiştir.

Buna göre Denklem (5.1);

$$Ln\frac{G_2}{G_1} = Ea \times \frac{T_2 - T_1}{RT_1T_2} \qquad (5.1)$$

olup, burada G_1 ve G_2, T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki (Kelvin) gaz oluşumları; R, gaz sabiti (1.987 cal/K/mol) ve Ea= aktivasyon enerjisini (20 kcal/mol) ifade etmektedir. Bu ifadeye göre sıcaklık arttıkça biyolojik ayrışma da logaritmik olarak artacaktır.

5.7.3. Nem İçeriği

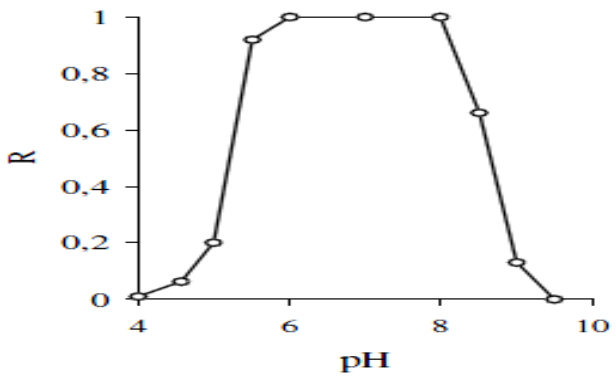
Birçok yazar (Westlake (1990), McBean (1995), Emcon (1982)), atık nem içeriğinin, atığın ayrışmasında ve gaz üretiminde en önemli faktör olduğunu belirtmektedir. Nem, depolama süresince bakteriler ve nütrientler için taşınma ortamını sağlar. Aynı zamanda ağır metaller ve asitler gibi toksinleri seyreltmeye yardımcı olur. Genel bir ifade olarak, daha doygun bir deponide metan üretimi daha iyi olur.

Metan çok kuru atık içeren deponilerde de üretilir. Fakat debi ve konsantrasyonu çok daha düşük olur. Bir deponideki nem içeriğinin fonksiyonları;

- Polimer hidrolizinde bir tepkendir
- Enzimlerin konformasyonal (uyumlu) yapısını değiştirir
- Metabolitlerin (metabolizmadan gelen maddeler) çözünmesine katkı sağlar
- Mikrobiyal koşulların oluşmasında yardımcı olur
- Hücre doygunluğunun kontrol edilmesine katkı sağlar şeklinde özetlenebilir.

5.7.4. pH ve Alkanite Seviyesi

CH_4 bakterileri, pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH_4 oluşumu pH 6.6-7.2 aralığında görülmektedir. pH değerinin 6'nın altına düşmesi, CH_4 bakterileri üzerinde toksin etki gösterebilir. Yapılan çalışmalarda pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir (Christensen and Cossu, 1998). Şekil 5.4'de farklı metanojen kültürlerinin karışımı için pH'a bağlı olarak CH_4 üretim oranları (R) verilmiştir.



Şekil 5.4. Anaerobik bir filtrede pH'ın rölatif metan oluşum hızı (R) üzerine etkisi (Öztürk, 2008).

Alkalinite, sistemin anaerobik ayrışma için gerekli olan pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler, pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korur. Alkalinitenin düşük olması uçucu yağ asitlerinin birikmesine yol açar. Evsel atık su çamurunun anaerobik ayrışması için gerekli toplam alkalinite değeri 2000 mg/l CaCO3 civarında olduğu belirlenmiştir (Öztürk, 2008).

5.7.5. Oksijen

Anaerobik bakterilerin ayrışma proseslerini gerçekleştirmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Metanojenik bakteriler, oksijene karşı çok duyarlı bakterilerdir. Oksijen, deponi sahasındaki atık içerisine her zaman nüfuz edebilir. Ancak deponi sahası yüzeyindeki aerobik bakteriler oksijeni tüketirler. Eğer depolama sahasında katı atıklar yeterli oranda sıkıştırılmamış ve üzeri günlük olarak 15 cm kalınlıkta toprakla örtülmemişse oksijen daha derinlere kadar nüfus edebilir. Depolama alanında yeterli sıkıştırma ve günlük örtü işleri yapılmadığı zaman yağmur veya karla gelen oksijenli su, çöp içine sızarak aerobik biyolojik faaliyeti geliştirebilir ve sızıntı suyu miktarını arttırabilir. Metanojenik bakterilerin spor oluşturan formu belirlenmemiş olmasına rağmen, metanojenik topluluklar, ortama O_2 girişiyle tamamen yok olmazlar. Aerobik çamurun ve aerobik toprağın anaerobik inkübasyonu CH_4 oluşumuyla sonuçlanır (Öztürk, 2008).

5.7.6. Hidrojen

H_2 fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen H_2'in basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkiler. Fermantasyon bakterileri, H_2 basıncı düşük olduğunda H_2, CO_2 ve asetik asit üretirken, yüksek H_2 basınçlarında ise H_2 ve CO_2 üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H_2 basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir. Propiyonik asidin oluşabilmesi için H_2 basıncının $9x10^{-5}$ atm değerinin altında olması gerekmektedir. Yani, H_2 basıncı yüksek ise propiyonik ve bütirik asit oluşacak, fakat bu bileşikler daha fazla ayrışmayacaktır. H_2, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir. 10^{-5} atm'den düşük basınçlar, H_2 ve CO_2'den CH_4 oluşumu için uygundur (Öztürk, 2008).

5.7.7. Nütrientler (Besi Maddeleri)

Atıkların ayrışmasını sağlayan bakterilerin gelişimi için nütrientlere (besi maddeleri) ihtiyaç vardır. Bu besi maddeleri, karbon, hidrojen, oksijen, azot, fosfor ve eser miktarda sodyum, potasyum, kükürt, kalsiyum, magnezyum, metal içerir. İyi derecede deponi gazı eldesi için, bakterilerin sindiriminde kullanabileceği çok fazla miktarda besi maddesine ihtiyaç vardır (Lamborn, 2010).

Anaerobik ekosistemlerde substratın sadece küçük bir kısmı yeni hücreler tarafından özümsenir. Bu nedenle aerobik sistemlerden çok daha az miktarlarda azot ve fosfor gereklidir. Organik maddeler için, azot ve fosfor arasındaki optimum oranlar; 100:0,44:0,08 olarak belirlenmiştir. Genel olarak, evsel ve endüstriyel atıkların birlikte depolandığı bir deponi sahasında azot ve fosfor sınırlayıcı değildir. Fakat evsel veya endüstriyel atıkların ayrı ayrı depolandığı sahalarda nütrient miktarının sınırlandırılmasına yol açabilir.

Fosfor, anaerobik ayrışma prosesini sınırlandıran en önemli nütrienttir. Suyu alınmış (%65 katı madde içeren) evsel arıtma çamurlarının günlük örtü olarak kullanılması bu problemi çözer (Öztürk, 2008).

5.7.8. Tane Boyutu

Deponi davranışlarını inceleyen birçok laboratuvar ölçekli test vardır. Lizimetre kullanarak, malzeme yoğunluğunun ve partikül boyutunun metan

üretiminde etkisini incelemek mümkündür. Lizimetreler, hemen hemen tüm ilgili verilerin ölçümlerini yapabilen laboratuvar ölçekli test hücreleridir.

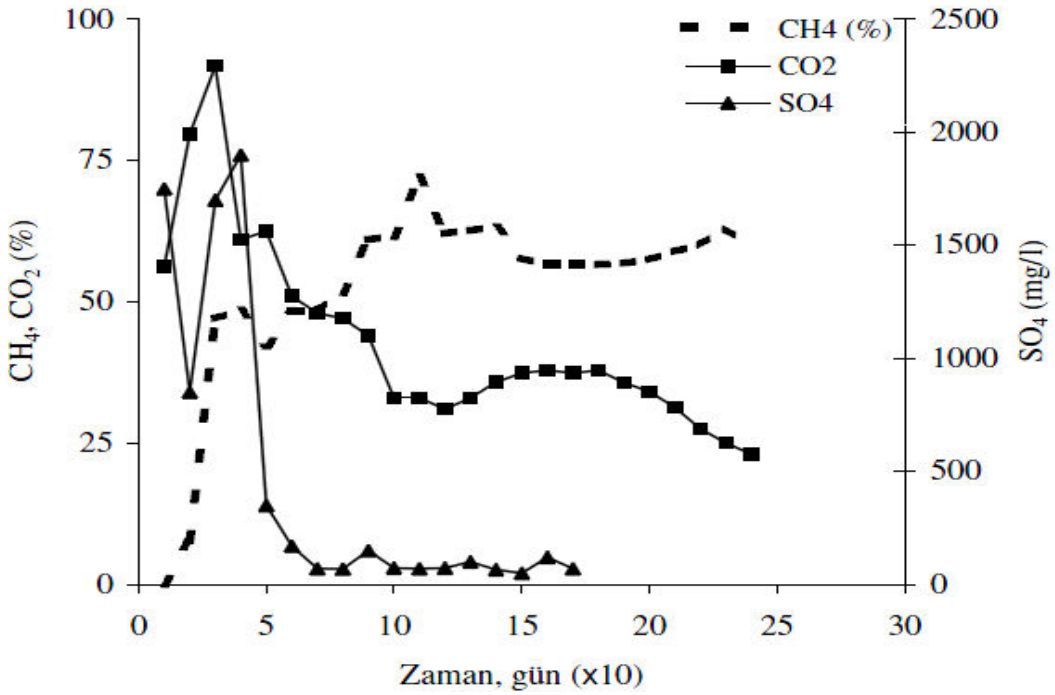
Westlake (1990), daha küçük boyutlu partiküllerin (yani parçalanmış atıkların), gaz debisi ve konsantrasyonunun artışında faydalı bir etkiye sahip olduğunu belirtti. Bu, atığın daha homojen bir yapı ve mikrobiyal etkileşimi için uygun olan yüzey alanı artışı nedeniyledir. Küçük bir partikül, bakterilerin yararı için daha fazla yüzey alanı ortaya çıkartıyor. Bu, yeterli besi maddesi ve nem olduğu sürece mikrobiyal aktivitenin artmasına yardım edecektir (Lamborn, 2010).

Tane çapının küçültülmesi ile mikroorganizmaların organik maddeleri tüketmek için kullandığı yüzey alanı artmaktadır. Yapılan çalışmada partikül çapının 250 mm'den 10 mm'ye düşürülmesi ile gaz üretim hızının 4.4 kat arttığı belirtilmiştir (Öztürk, 2008).

5.7.9. Sülfat

Hem sülfat bakterileri hem de CH_4 bakterileri, asetik asit ve H_2'in ayrışmasını sağlarlar.

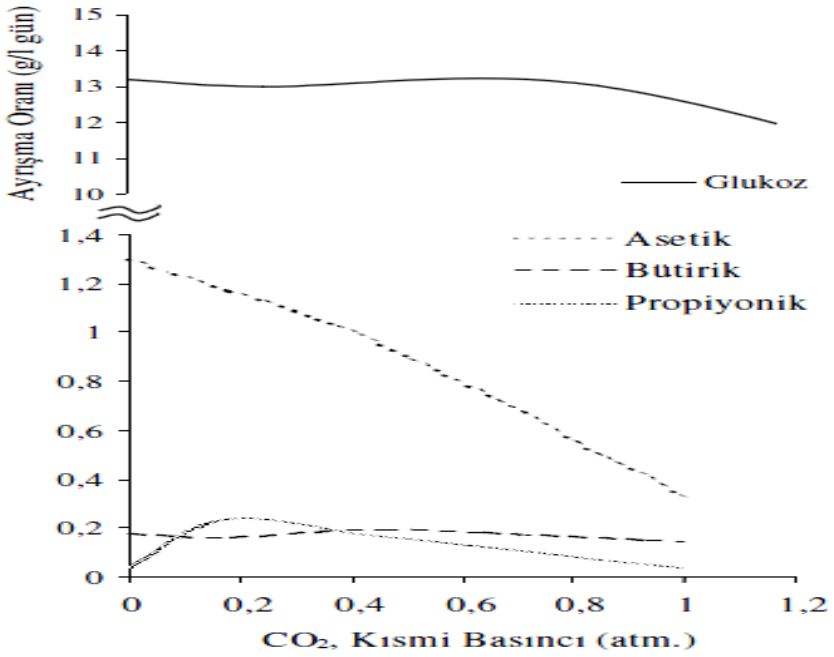
Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar, ortamda SO_4^{2-} (sülfat) mevcut iken CH_4 üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sülfat içeren atıkların düzenli depolama alanlarında depolanmasına dikkat edilmelidir. Sülfat içeren önemli atıklardan biride deri sanayi arıtma çamurlarıdır. Sekil 5.5'de deponi gazı bileşimi ile sızıntı suyundaki SO_4^{2-} konsantrasyonlarının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, CH_4 oluşumundaki artış ile SO_4^{2-} konsantrasyonlarındaki azalma aynı anda meydana gelmektedir. Yani atık içindeki sülfat biyokimyasal ayrışmaya uğramadan (yani sülfat hidrojen sülfüre dönüşmeden) organik maddeleri metana dönüşümü engellenmektedir (Öztürk, 2008).



Şekil 5.5. Deponi sahalarında SO_4^{2-} değişimi ile deponi gazı bileşenleri (CH_4 ve CO_2) arasındaki ilişki.

5.7.10. İnhibitörler

O_2, H_2 ve SO_4^{2-}'ın CH_4 oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi olduğu bilinmektedir. Uçucu yağ asitlerinin (VFA) CH_4 oluşumu üzerine etkisi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/l'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Ayrışma proseslerinin çoğunda CO_2 üretilir. CO_2'in CH_4 oluşumu üzerindeki inhibisyon etkisi çamur yataklı kesikli reaktörlerde belirlenmiştir. Şekil 5.6'da CO_2'in kısmi basıncının asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi verilmiştir. Asetik asidin ayrışma oranı, CO_2'in kısmi basıncından önemli ölçüde etkilenir. Deponi sahalarındaki CO_2'in kısmi basıncı başlangıç fazlarında 0,9 atm değerine çıkabilir ve daha sonra 0,5 atm seviyesine düşer. Amonyumun inhibasyon etkisi serbest amonyumdan kaynaklanmaktadır ve pH'ın artmasıyla artmaktadır (Öztürk, 2008).



Şekil 5.6. CO_2'in kısmi basıncına bağlı olarak bazı substratların ayrışma oranları (Öztürk, 2008).

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

Katı atık içinde mineral yağ ve tıbbi atık içeren atıkların depolanması yapılmamalıdır. Bu tür maddeler depolama içindeki biyokimyasal reaksiyonları olumsuz etkiler. Evsel atık depolama sahalarında tehlikeli atık içeren atıklar ayrı depolanmalıdır (Öztürk, 2008).

5.8. Deponi Gazının Bertaraf İhtiyacı (Çevresel Etkiler ve Bileşen Özellikleri)

Yetersiz çevre bilinci nedeniyle bir sorun yaratmayacağı düşünülerek katı atıkların gözlerden uzak yerlere dökülmesi, kontrol mekanizması sağlanmadan gelişigüzel bertaraf edilmesi, gerek insan sağlığı gerekse de çevreyi ciddi anlamda tehdit etmektedir. Bu düzensiz deponi alanlarındaki en büyük sorun ise mevcut deponi gazının kontrolünün sağlanamamasıdır.

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

5.8.1. Deponi Gazının Çevresel Etkileri

Deponi gazının içerdiği bileşenlerin özellikleri nedeniyle serbest olarak atmosfere verilmesi durumunda, bu bileşenlerin çevresel zararları söz konusudur. Bunları aşağıdaki alt başlıklar halinde toplayabiliriz.

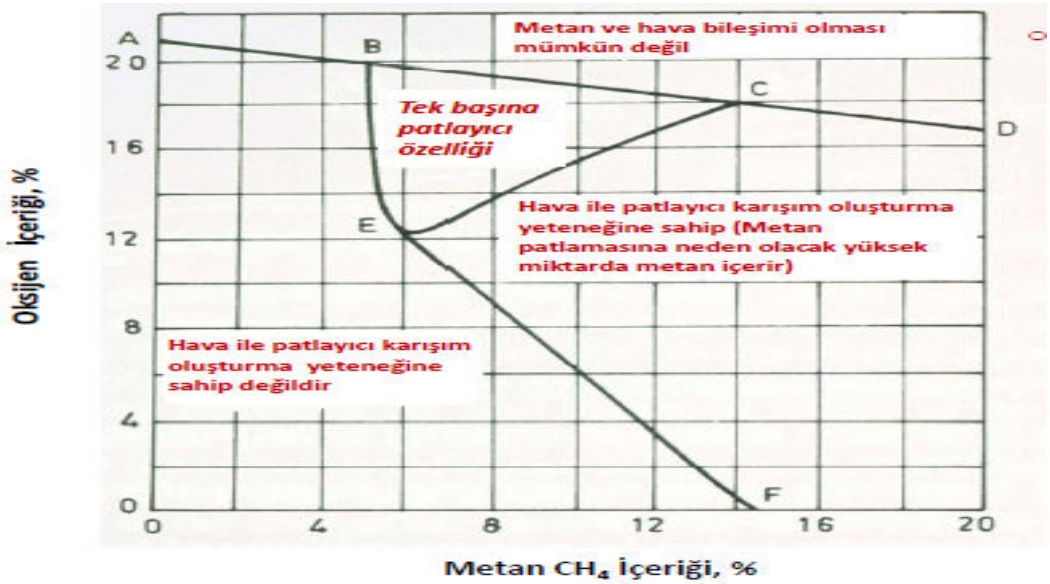
5.8.1.1. Yangın ve Patlama Tehlikesi

Patlama; katı, sıvı ve gaz halindeki yanabilir maddelerin veya bunların karışımlarının, yüksek ısı ve basınçla birlikte, tamamen gaz halinde yanma ürünleri verecek şekilde çok hızlı olarak yanmalarıdır. Katı atık depolama sahalarında çok sık görülen patlama ve yangınlara sebep olan yanıcı madde ise çoğunlukla metan gazıdır.

Metan gazı içeriği bakımından zengin olan (≈ %50) deponi gazı, enerji içeriği bakımından zengin olmasına rağmen, hava ile belli oranda karışımında patlayıcı özelliğe sahip olduğundan olumsuz özelliklere de sahiptir. Metan gazının hava ile yaptığı karışımdaki oranının %5-15'i patlama özelliğine sahiptir. En şiddetli patlama, ortamdaki oksijenin tamamen kullanıldığı, %9,5 metan gazı konsantrasyonunda olmaktadır. Hava ile %9,5 oranında karışım oluşması durumunda metan (CH_4), 650 ^oC 'de 10 saniyede, 1200 ^oC 'de 0,01-0,12 saniyede patlar (Keskinpala, 2011).

Şekil 5.7'de patlama diyagramı olan Coward Diyagramı'nda metan gazının hava ile birleşme oranlarına göre patlama riskleri görülmektedir.

Metan gazının yanma ısısı, ısı kaynağına bağlı olarak 650-750^oC arasında değişmekte, patlamadan sonra çevrede ısı 1800-2500 ^oC'ye ulaşmaktadır. Patlamadan sonra ortamın basıncı dokuz kat artış göstermekte, bu nedenle de ard arda gelen patlamalarda ikincil patlama bölgesi daha büyük hasara uğramaktadır (Durucan ve Güya, 1986).



Şekil 5.7. Coward Diyagramı (Ramlu, 1991).

5.8.1.2. Hava Kirliliği ve Koku

Metan ve karbondioksit gazları, katı atık depolama sahalarında oluşan gazların en büyük iki bileşeni olup, deponi gazı içinde insan ve çevre sağlığına olumsuz etki yapabilecek eser miktarda bileşenler bulunur. Özellikle evsel katı atıkların yanı sıra endüstriyel atıkların da depolanması nedeniyle uçucu organik bileşikler (VOC), tehlikeli hava kirleticiler (HAP_s) ve koku veren maddeler içerir. VOC salımlarının kanser riskini arttırdığı ve ozon tabakasına zarar verdiği bilinmektedir (Cooper et al., 1992). Bunun yanında eser gazlar, metanojenlerin büyümesini inhibe ederek, metan gazı oluşumunu etkileyebilir. Aşağıda bazı tehlikeli hava kirleticileri ve mevcut sağlık etkileri verilmektedir;

- Vinil Klorid: Karaciğer, bağışıklık sistemi, sinir sistemi ile üreme verimi üzerine zararlı etkilerinin yanı sıra potansiyel kanserojen ve mutojendir.
- Benzen: Kan kanseri, lenfoma, hodckin, kanser ile alerjik duyarlılığın artışına ve bağışıklık sistemi hastalıklarına sebep olur.
- Dikloroethan: Karaciğer, sinir sistemi ve akciğer hasarına neden olur.
- Tetrakloroetan: Karaciğer ve böbreklerde hasara neden olur.
- Trikloroetan: Kalp atışlarında düzensizliğe, karaciğer, akciğer ve sinir sisteminde hasara neden olur.
- Civa: Merkezi sinir sitemi, beyin, böbrekler, akciğer ve fetüs gelişimi üzerine olumsuz etkileri vardır. Civanın deponi alanlarındaki etki mekanizması çok daha tehlikelidir. Katı atık içindeki civa anaerobik

faaliyetlerle metil civa (mono metil ve di metil civa) olarak atmosfere karışır. Metil civa, canlı organizmada çok etkili biçimde birikir ve çok daha tehlikeli bir kirleticidir (Lindberg, 2001).

Katı atık depolama sahalarında bakteriyel ve kimyasal prosesler sonucu yaşam konforunu bozan veya insan sağlığına etki eden kokular ortaya çıkar. Kokunun depolama sahasından dışarı çıkması hava şartlarına bağlıdır. Ayrıca, oluşan kokunun mertebesi depolama sahasındaki atık yaşına, içeriğine ve gaz oluşum safhalarına bağlı olarak değişebilmektedir. Kokunun çevre bölgelerde vereceği rahatsızlığın etki mertebesinin ise mevcut rüzgar şiddeti ve yönüne bağlı olarak farklılık göstermesi beklenmelidir.

Koku oluşumuna neden olan bileşenler; kükürtlü maddeler, amonyak ve bazı metan gazı dışındaki organik maddelerdir ($NMOC_s$). Kokuya neden olan eser miktardaki bileşenler toksik olabilir. Katı atık depolama sahalarında kokuya neden olabilecek bazı bileşikler ve etkileri aşağıda verilmiştir;

- Kükürtlü maddeler: Depolama alanlarına yakın çevrelerde koku şikâyetlerinin başlıca kaynağı, kükürtlü maddelerdir. Depolama alanlarında oluşan kükürtlü bileşikler; hidrojen sülfür (H_2S), dimetilsülfid $(CH_3)_2S$ ve merkaptanlardır. Deponi gazında bunlardan en fazla H_2S vardır. Bu gazlar, çok düşük konsantrasyonlarda bile keskin çürük yumurta kokusu verirler. İnsan burnu, H_2S'e son derece duyarlıdır, 1 ppb'nin altındaki konsantrasyonları algılayabilir. Yüksek konsantrasyonlarda H_2S bulantı, kusma ve baş ağrısına neden olur.
- Amonyak: Depolama alanlarında katı atığın anaerobik parçalanması sırasında oluşan diğer bir koku kaynağı olan gaz, amonyaktır. İnsan burnu, amonyağa kükürtlü bileşiklerden çok daha az duyarlıdır.

Metan gazı dışındaki organik karbonlu maddeler ($NMOC_s$): Hidrokarbonlar ve vinil klorür gibi bazı metan dışı organik karbonlu maddeler kokuya sebep olabilir. Ancak genel olarak depolama alanlarında çok düşük konsantrasyonlarda oluşan bu gazlar, koku eşiğinin altında kaldıklarından kokuyla ilgili şikâyetlerin temel kaynağı değildir (İztek Mühendislik, 2011).

5.8.1.3. Yer altı Suyu Kirliliği

Deponi gazındaki yüksek konsantrasyondaki karbondioksitin ve eser miktardaki toksik gazların yer altı suyunu asidik yapma potansiyeli vardır (Hester and Harrison, 2002).

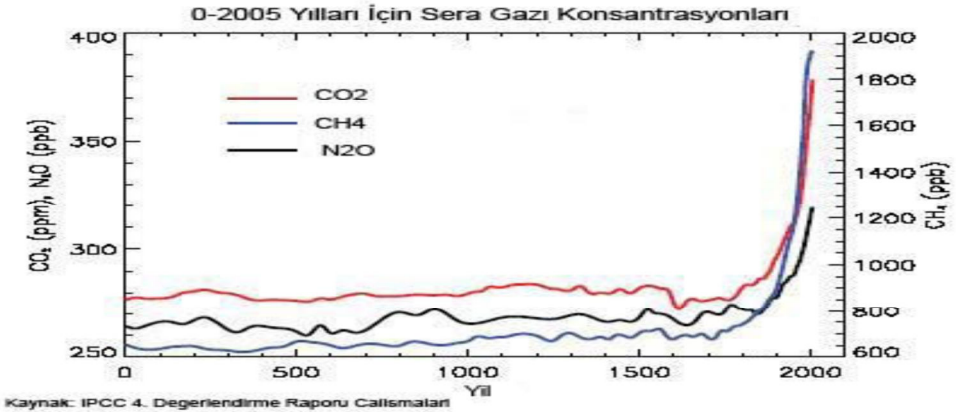
Literatürde düzenli depolama sahalarından uzak mesafelerdeki yer altı sularında vinil klorür ve diğer uçucu hidrokarbonların belirlendiğine dair çalışmalar mevcuttur. Ayrıca, katı atık içinde bulunan ağır metaller, zamanla çözünerek yeterli sızdırmazlığı sağlanmayan depolama alanlarında yer altı suyuna karışır (Öztürk, 2008).

5.8.1.4. Küresel Ölçekli Etkiler

Deponi gazı, içindeki ana bileşenleri olan metan ve karbondioksit gazları nedeniyle, küresel ısınmaya sebep olan bir gazdır.

Deponi gazı salımları lokal ölçekte çevresel etkiler yarattığı gibi, küresel ölçekte de önem arz etmektedir. Özellikle metan gazı, atmosferde, karbondioksit gazına göre 20-25 kat daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olması nedeniyle çok daha önemlidir. Literatürde, toplam küresel ısınmanın yaklaşık %15'inin metan gazından kaynaklandığı belirtilmektedir.

Her bir metan molekülü, bir karbondioksit molekülünün absorblayabileceği infraded fotonlarının 21 kat daha fazlasını absorblayabilir. Ancak, atmosferde 83 kat daha az miktarda CH_4 molekülü bulunduğundan, metan gazının sera etkisi, karbondioksit gazının sebep olduğu sera etkisinin ¼'ü kadardır. Atmosferde yıllara göre sera gazları dağılımı Şekil 5.8'de verilmiştir (Öztürk, 2008).



Şekil 5.8. Atmosfere salınan sera gazlarının yıllara göre dağılımı (Öztürk, 2008).

Atmosferdeki metan gazı konsantrasyonlarının son yıllardaki artışı, global CH_4 kaynaklarının karakterizasyon çalışmalarının daha kapsamlı yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Atmosferik CH_4 konsantrasyonlarının yılda ortalama %1-2 oranında arttığı belirlenmiştir. Toplam küresel ısınmanın yaklaşık %15-18'ine CH_4'ın neden olduğu belirtilmişti. Bu değer yılda yaklaşık 500 milyon tona karşılık gelmekte ve bunun 40-75 milyon tonu katı atık depolama sahalarından kaynaklanmaktadır. Deponi gazı bertaraf edilmedikçe veya enerji amaçlı kullanılmadıkça, nüfus artışı ve şehirleşmenin artmasına bağlı olarak katı atık depolama sahaları atmosferik metan gazı konsantrasyonlarının önemli kaynakları arasında yerini koruyacaktır (Öztürk, 2008).

Çizelge 5.4'de sera gazları ve sera gazlarının etki değerleri oranları ile verilmiştir.

Çizelge 5.4. Sera gazları ve sera gazlarının etkisi.

	Atmosferdeki Konsantrasyonu (ppm)	Atmosferdeki Yıllık Büyüme (%)	Atmosferdeki Ömrü (yıl)	Karbondioksite Kıyasla Etkisi (Kat)	Sera gazına Göreceli Etkisi (%)
Karbondioksit (CO_2)	346	0,4	40	1	50
Metan (CH_4)	1,7	1	10	21	19
Azot di oksit (N_2O)	0,3	0,3	150	150	4
Ozon (O_3)	0,02	0,5	0,1	2000	8
Freon (CFC)	0,001	5	100	15000	17

Kaynak: (Terraza and Willumsen, 2009).

5.8.1.5. Diğer Etkiler

Katı atık depolama sahaları kapatıldıktan sonra; park, golf sahası, kültürel alanlar ve bazen de ticari alanlar olarak kullanılabilir. Depolama sahasında deponi gazı kontrolünün olmadığı durumlarda, gaz yukarı doğru hareket ederek atmosfere ulaşabilir. Bu olaylar sırasında oksijenin yer değiştirmesiyle bitki kökleri, yüksek konsantrasyonlarda CH_4 ve CO_2'e maruz kalabilir. Normal bir bitki gelişimi için, CO_2 konsantrasyonu %5'e eşit veya bu değerden az olması istenir. %20'nin üzerindeki konsantrasyonlarda CO_2 bitkilere toksik etkisi söz konusudur (Hester and Harrison, 2002).

Ayrıca deponi gazında yer alan bileşenlerin, bitki örtüsü üzerinde doğrudan veya dolaylı olumsuz etki yaptığı literatürde belirtilmektedir (Hester and Harrison, 2002).

Direkt olarak CH_4'a maruz kalma bitki büyümesini etkilemeyebilir. Ancak CH_4'ın oksidasyonu sırasında, topraktaki O_2'inin azalması ve açığa çıkan ısının toprak sıcaklığını arttırması bitki kökünün havasız kalmasına sebep olur (Öztürk, 2008).

Deponi gazı içerisinde bulunan eser bileşenler, bitki örtüsüne toksik etkide bulunabilir. Amonyak, karbon monoksit ve hidrojen sülfür gibi inorganik bileşiklerin bitkilere zarar verdiği bilinmektedir. Uçucu organik asitler, holo-organik bileşikler, hidrokarbonlar ve siklik hidrokarbonlar bitkiler için çok tehlikelidir. Etilenin, 10 ppm gibi çok düşük seviyelerde dahi bitki örtüsüne zarar verdiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Öztürk, 2008).

5.9. Deponi Gazının Kontrolü

Deponi gazının hareketi atmosferik salımları azaltmak, deponi alanında oluşabilecek tehlikeleri asgari seviyeye indirmek ve metan gazından enerji elde edebilmek için kontrol edilir.

Deponi gazı, genellikle gaz toplama kuyuları, hendek veya örtme çalışmaları ile toplanılmaktadır. Burada örtme çalışmalarından kasıt olarak, sıkıştırılmış kil ve geomembranlar ifade edilmiştir.

Ana gazların ve eser gazların her ikisi de kil tabakalardan geçebileceğinden, birçok kuruluş deponi gazı hareketlerinin sınırlandırılması

amacıyla geomembran kullanmaktadır. Deponi alanlarında kullanılan geçirimsiz malzemeler Çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Deponilerde gaz ve sızıntı suyunun hareketinin kontrolünde kullanılan geçirimsiz malzemeler.

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

Kaynak: (Özaktaç, 2008).

Kontrol sistemleri pasif ve aktif olarak sınıflandırılabilir. Basit bir gaz toplama sistemi yaklaşık 50-60 cm kalınlığında düşük geçirimliliğe sahip kil tabakası üzerinde esnek bir membran tabaka, üstte su drenajını sağlayarak bir katman ve en üste de bitkilerin tutunmasını ve yetişmesini sağlayan ince bir toprak katmanından oluşmaktadır. Gaz kontrol sistemi ise atıklara mümkün olduğunca yakın ve yatay olarak döşenmiş gözenekli gaz toplama tabakasından ibarettir. Burada gösterilen gaz toplama sistemi pasif olabileceği gibi elde edilecek gazın üretim kapasitesine ve sonuçtaki kullanım amacına göre aktif gaz toplama sistemi seklinde de düşünülebilir. Özellikle gazın yeniden kullanım amacıyla tesis edilen atık alanlarında aktif sistem kullanılmaktadır (Öztürk ve Karali, 2009).

Pasif ve aktif gaz toplama sistemleri arasındaki temel farklar aşağıda verildiği gibidir;

- Pasif sistemler; bariyer ve ağızlık gibi düşük geçirgenliğe sahip malzemelerin kullanımı veya atık ve civarı arasındaki büyük iletkenlik farkı esasına dayanmaktadır. Bu sistemler hendeklerden, boru ağızlıklarından, membranlardan vs. oluşmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinde, depolama sahasında oluşan gaz basıncı, gazın hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır.
- Aktif sistemler, gaz akışını sağlayacak vakumu üretmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Özaktaç, 2004).

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

• Atık yaşı 20 den küçük olduğunda,

• Atık derinliği 10 m'den büyük olduğunda,

• Korunması düşünülen yerleşim yerinin depolama sahasına uzaklığı 1,5 km'den az olduğunda (Özaktaç, 2004).

Bu temel farklara ek olarak, aktif gaz kontrol sistemlerinde gaz, blover yardımıyla çekilir. Pasif gaz kontrol sistemlerinde ise deponi gazının difüzyonla hareket etmesi kontrol edilir. Aktif toplama ile deponi gazı daha verimli şekilde toplanabilir. Pasif kontrol maliyet açısından daha avantajlıdır (Akpınar, 2006).

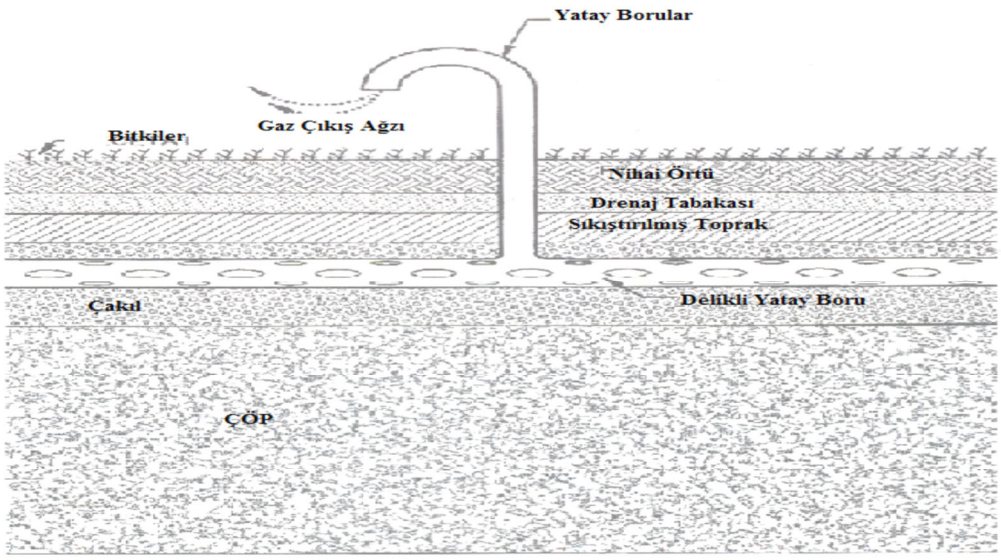
5.9.1. Pasif Gaz Kontrol Sistemleri

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

kontrolü hem pasif hem de aktif kontrol tesislerinin kullanımını gerekli kılabilmektedir (Özaktaç, 2004).

Pasif hava menfezleri bazen deponi gazı göçünü kontrol etmek için kullanılır. Pasif sistemler deponi gazını atmosfere vermek için doğal basınç ve konveksiyon mekanizmalarını kullanırlar.

Menfezlerin dışında çevre hendekleri, saha çevresi gaz çekme hendekleri ve saha çevresi hava enjeksiyon kuyuları da pasif gaz kontrol elemanları olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar ve sahaların gözlemlenmesi sonucu elde edilen veriler pasif sistemlerin sadece sınırlı bir koruma sağladığını ortaya koymuştur. Metanın binalarda birikerek önemli bir risk oluşturacağı alanlarda, pasif sistemler koruma açısından yeterli olmayabilirler. Depolama sahalarında önceden tahmin edilemeyen gaz hareketi nedeniyle modern depolama sahalarında pasif sistemlerin kullanımı tercih edilmemektedir. Aktif sistemler daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Akpınar, 2006). Şekil 5.9'da tipik bir pasif gaz toplama sisteminin kesiti görülmektedir.

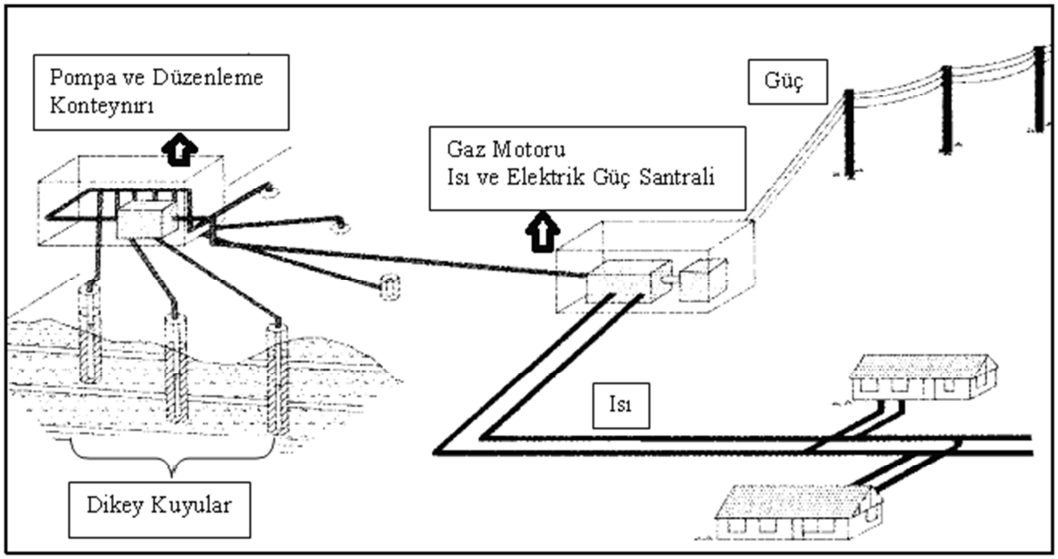


Şekil 5.9. Pasif gaz toplama sisteminin temel görünüşü (Öztürk, 2009).

5.9.2. Aktif Gaz Kontrol Sistemleri

Aktif gaz toplama sistemleri, deponi gazını depolama sahasından veya etraftaki topraktan bir vakum pompası yardımıyla uzaklaştırır. Bu sistemler gaz göçünün kontrolünü ve enerji amaçlı kullanımı için metanın geri kazanımını sağlar. Her iki durumda da gaz geri kazanım kuyuları ve vakum pompaları kullanılır. Kuyuların ve blover ekipmanının bağlantısını sağlayan bir boru ağı inşa

edilir (Akpınar, N., 2006). Şekil 5.10'da, bu duruma örnek olan, düşey kuyular kullanılan gaz geri dönüşüm tesisi görülmektedir.

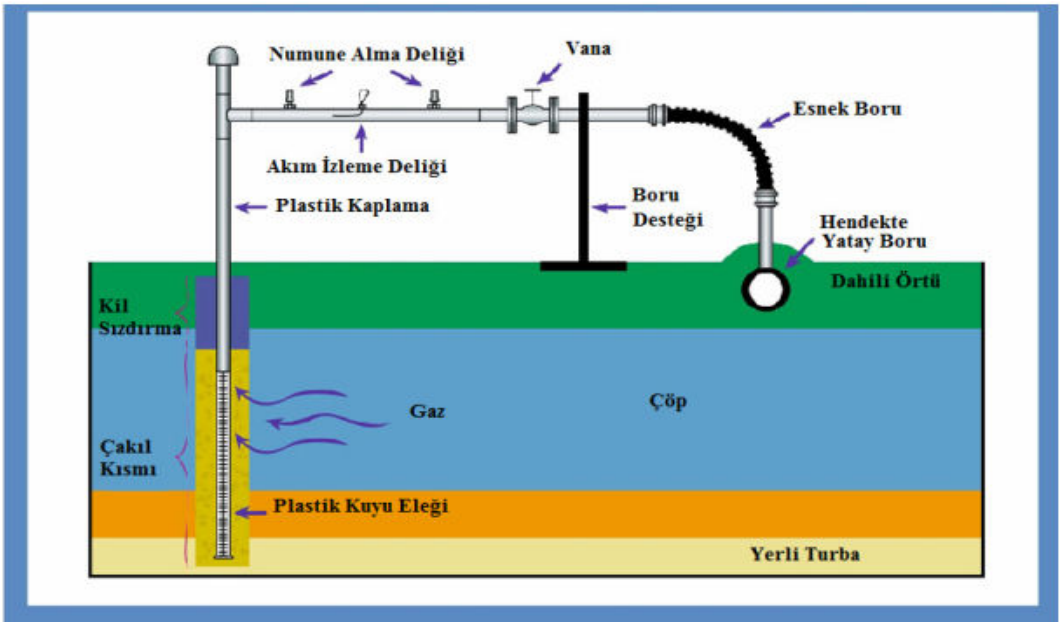


Şekil 5.10. Dikey kuyulu gaz geri dönüşüm tesisi (Willumsen, 2011).

Aktif gaz toplama sistemi aşağıda verilen bilgilerden ibarettir:

- Gaz çıkarma kuyuları: Bunlar deponi gazının toplanması için dikey veya yatay şekilde depolama gövdesine yerleştirilir.
- Gaz toplama noktası: Toplanan tüm gaz buraya getirilip birleştirilir. Toplama noktası bir tank veya bir boru olabilir. Gaz kuyularında biriken damıtma suyunun çökebilmesi için, gaz toplama noktasının kotu tercihen daha aşağıda olmalıdır. Gaz toplama noktası, ölçüm ve ayarlama ekipmanlarıyla donatılmalıdır.
- Su ayırıcısı: Damıtma suyu sıyırıcı veya soğutma tertibatıyla gaz debisinden ayrıştırılır, sonra pompa vasıtasıyla arıtma tesisine gönderilir.
- Gaz çekme borusu: Gaz toplama noktası ve fan arasındaki boru hattıdır.
- Fan ve basınç ayarı: Fan, gazı depolama gövdesinden çekmek için eksi basınç, alevlendirme veya yakma ünitesine göndermek için artı basınç üretir. Basınç ayarı, eksi ve artı basınçları optimum seviyede tutar. Gaz çekimi için gerekli olan basınçlar, 200-300 mbar mertebesindedir.
- Fan kulübesi: Küçük depolama sahalarında fan bir konteyner içinde ya da çatı altında durabilir. Büyük sahalarda, fan genellikle yakma ünitesinin bulunduğu binada bulundurulur.
- Yakma ünitesi: Yakma enerji üretim birimi ve yan ekipmanlarından (gaz temizleme birimi, gaz ayırma birimi, şalter dolapları) oluşur.

Saha çevresi gaz çekme kuyuları; katı atık derinliğinin en az 7,5 m olduğu depolama alanlarında ve deponi alanı ile civar yerleşimler arasındaki mesafenin az olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu sistem çok sayıda düşey kuyudan oluşmaktadır. Bu kuyular ya deponi alanı kenarı boyunca ya da deponi alanı köşesi ile saha sınırı arasındaki alanda inşa edilmektedir. Her bir gaz çekme kuyusunu birbirine bağlayan bir ana boru kullanılmaktadır. Bu ana boruda elektrikle çalışan santrifüj bir blovera bağlanmaktadır. Santrifüj blover, toplayıcı boruda ve kuyularda vakuma (negatif basınç) sebep olmaktadır. Vakum uygulandığında, her bir kuyu etrafındaki katı atık kütlesini etkileyecek şekilde bölgeler ya da etki yarıçapları oluşmaktadır. Çekilen gaz, blover istasyonunda kontrollü şartlarda ya atmosfere verilmekte ya da yakılmaktadır. Çekilen gazın kalitesi ve miktarı yeterli ise enerji kaynağı olarak kullanılır. Gaz çekme kuyularında kullanılan borunun çapı genellikle 10-15 cm (PVC veya PE) civarındadır ve borular 45-90 cm'lik sondaj deliklerine yerleştirilmektedir. Borunun 1/3-1/2'lik alt kısmı delikli oluşturulup çakıl bir dolgu içine yerleştirilir. Boru boyunun geri kalan kısmı ise, delikli değildir ve tercihen ya toprağa ya da katı atık dolgusunu gömülmektedir. Kuyular, etki yarıçapları birbiriyle örtüşecek şekilde yerleştirilmektedir. Düşey kuyular için etki yarıçapı, kuyudan her yöne doğru uzayan bir küreye denk gelmektedir. Bu nedenle, sistemden aşırı çekme yapılmamasına dikkat edilmelidir. Aşırı çekme hızları, civar topraklardan katı atık kütlesine hava sızmasına sebep olabilmektedir. Hava girişine engel olmak için, her bir kuyudaki gaz debisi dikkatle kontrol edilmelidir. Bu amaçla, gaz çekme kuyuları, gaz numune teçhizatı ve debi kontrol vanalarıyla oluşturulmalıdır. Deponi alanı derinliğine ve diğer yerel koşullara bağlı olarak, kuyular arası mesafe 60-120 m arasında değişmelidir (Özaktaç, 2004). Şekil 5.11'de aktif gaz toplama sistemine ait bir detay kesit görülmektedir.



Şekil 5.11. Aktif gaz toplama sistemi detay kesiti (Öztürk, 2008).

5.10. Deponi Gazının Kullanım Seçenekleri

Deponi gazının kullanılması durumu direk olarak deponi gazının temizlenme derecesine, kısmen de uygulamalarının ekonomik fonksiyonlarına bağlıdır. Deponi gazları aşağıdaki alternatiflerden biri kullanılarak ekonomik açıdan değerlendirilebilir.

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

5.10.1. Deponi Gazlarının Yakılması

Deponi gazı elektrik üretimi için kullanılmadığı durumlarda, alev sistemlerinde yakılarak tasfiye edilir. Bazen, deponi gazlarının enerjiye dönüşümü söz konusu olduğunda da, güvenlik açısından flair bulundurulması zorunludur. Flairların çevresel önemi, hidrokarbon bileşiklerini yok etme verimleri ve dioksin gibi yanmayan ürünlerin oluşmamasıdır. Flairlardaki giderme verimi %98-99,5

civarındadır. Giderme verimi tamamıyla deponi gazı kompozisyonunun, atmosferik şartların, yakıcı tasarımının, ateşleme kaynağı gibi parametrelerin bir fonksiyonu olan alevin stabilitesine bağlıdır. Deponi gazları %30-60 arasında CH_4 ihtiva ettiklerinde, flairlarda rahatlıkla sabit bir alev elde edilebilir. Kapalı flairlar ise, azot oksitler (NyOx), karbon monoksit ve hidrokarbonlar gibi toksik salımları daha verimli bir şekilde giderme özelliğine sahiptirler (Özaktaç, 2004).

5.10.1.1. Deponi Gazının Direkt Olarak Yakılması

Deponi gazının tüketilmesindeki en basit ve en eski yöntemdir. Kullanılan yakıt doğal gaz ve deponi gazlarının bir karışımından oluştuğundan, yakıcının adaptasyonu için gerekli olan modifikasyonlar daha basittir ve korozyon problemleri minimumdur. Deponi gazları genellikle geniş endüstriyel kazanlarda veya tuğla, kireç veya çimento fırınlarında yakılır. Deponi gazı ayrıca seralarda kullanılabilir. Ayrıca, atık su arıtma tesislerinden ortaya çıkan arıtma çamurlarının kurutulmasında da kullanılabilir (Özaktaç, 2004).

Deponi gazının yakılması için özel gaz yakıcılar geliştirilmiştir. Bu gaz yakıcılarda deponi gazı hava ilavesiyle yakılır. Deponi gazı yakıcıları otomatik çakmak, alev ve sıcaklık kontrol sistemi, otomatik kapatma valfi ve hava ayarlama sistemiyle donatılmalıdır. Konvansiyonel gaz yakıcılarda deponi gazı yaklaşık 1000°C sıcaklıkta yakılır. Yüksek sıcaklıklardaki gaz yakıcılarda ise 1200°C'ye varan sıcaklıklara çıkılabilmektedir. Yüksek sıcaklıklı yakıcılarda, yakma sırasındaki dioksin oluşumu kısmen engellenebilir. Ancak bunların yatırım ve işletme giderleri konvansiyonel gaz yakıcılara göre daha yüksektir (Akpınar, 2006).

5.10.1.2. Deponi Gazının Yakıt Olarak Kullanılması

Direkt yakmanın mümkün olmadığı durumlarda deponi gazının arıtım ve değerlendirilmesinde kullanılabilecek en ekonomik çözüm yolu elektrik üretimidir.

Elektrik üretimi, deponi gazının motorlarda yakıt olarak kullanılmasıyla gerçekleşir. Motorların, deponi gazında kullanılmaya başlamadan önce bazı modifikasyonlara tabi tutulmaları gerekir. Deponi gazının yapısından dolayı, aşınmaya karşı normalden daha dayanıklı malzemeden yapılmış vanalar ve vana kapakları kullanılmalıdır. Motorun bazı parçalarının halojenli organik bileşiklerin

zararlarına karşı çok hassas olması diğer bir kısıtlamadır. Deponi gazındaki bu bileşikler, motorun yüksek sıcaklığından dolayı HCl ve CO_2 ye ayrılırlar. HCl'nin büyük kısmı çıkış gazıyla birlikte çevreye yayılır. Bu gaz motor teçhizatını direkt olarak ya da yağın asitlenmesi yoluyla etkiler. Korozyonla ortaya çıkan zararların önlenmesi için; motor yağına bazı ilaveler yapılarak HCl'nin tamponlanması sağlanabilir. Tehlikeye yol açabilecek malzemelerden imal edilmiş ekipmanlar korozyona dirençli maddelerle kaplanabilir ve deponi gazı, halojenli organik iz bileşiklerin bertarafını sağlayacak şekilde arıtılabilir (Özaktaç, 2004).

Deponi gazı yakıt olarak, elektrik üreten gaz türbinlerinde kullanılabilir. Gaz türbinleri civar bölgedeki kullanıcılara ve elektrik temin eden firmalara veya saha içinde kullanılmak üzere elektrik üretmek için orta kalitede gaz kullanırlar. Gaz türbinlerinin içten yanmalı motorlardan daha faydalı olabilmesi için daha fazla gaz debisi olmalıdır. Bu sebepten dolayı gaz türbinleri daha büyük depolama sahalarında kullanılır. Güç kapasiteleri 500 kW'tan 10 MW'a kadar boyutlarda bulunur. Ancak deponi sahalarında en çok kullanılanları 2-4 MW'lık olanlarıdır.

Bir türbindeki yanma bir motordaki ile aynı parametrelere bağlıdır. Bunlar tutuşma limitleri ile hava-yakıt oranı, yeterli türbülans, yeterli kalma zamanı ve bir ateşleme kaynağıdır. Gaz türbininin başlıca avantajı içten yanmalı motor veya buhar türbininden çok daha az yer kaplamasıdır. Bir gaz türbini jeneratörü, toplam ağırlığının bir tonuna karşılık 70-140 kWh elektrik üretir. Bu oran, içten yanmalı motorlarda 1 ton için 27 kWh iken, buhar türbininde 10 kWh'tır. İkinci avantajı ise, bakımlarının 10.000 saat ve onarımların 100.000 saat aralıklarla yapılmasıdır (Akpınar, 2006).

Gaz türbinlerinin mevcut yakıtı daha fazla sıkıştırma kabiliyeti vardır. Bu, beraberinde daha fazla elektrik kullanımını ve buna bağlı olarak verimin düşmesi anlamına gelmektedir. Aynı zamanda gaz türbinleri, içten yanmalı motorlara kıyasla, korozif hasarlara karşı daha dayanıklıdır ve daha az azot oksit üretirler. Tipik bir gaz türbininin yıllık maliyeti, 2010 yılı dolar kuru üzerinden 1400$/kWh'tır. Bunun 130$/kWh'ı, bakım ve onarım maliyetidir (Wikipedia, 2011).

Şekil 5.12'de deponi gazından elektrik üretmede kullanılan bir gaz türbinin resmi görülmektedir.



Şekil 5.12. Gaz Türbini (Wikipedia, 2011).

Deponi gazının buhar türbinlerinde yakıt olarak kullanılması yöntemi, en az kullanılan elektrik üretme metodudur. Genelde gaz debisinin 8-9 MW'lık sistemleri desteklediği çok büyük depolama sahalarında uygulanabilir. Buhar türbin sistemleri, içten yanmalı motorlardan veya gaz türbinlerinden daha yüksek oranda kWh başına maliyete sahiptirler. Genelde paketlenmiş bir birim olan konvansiyonel gaz/sıvı yakıt boyleri ve elektrik üreten buhar türbin jeneratörü içerir. Bu teknoloji genelde tam bir soğutma döngüsü, yeterli proses kaynağı ve soğutma suyu ihtiyaçlarını gerektirir (Akpınar, 2006).

Deponi gazının yakıt olarak kullanılmasıyla elektrik üretmede kullanılan diğer bir sistem mikro türbinlerdir. Mikro türbinler, gaz türbinleri ve içten yanmalı motorlara kıyasla, deponi gazından daha düşük elektrik üretirler. Mikro türbinler, 34-340 m^3/h aralığında deponi gazı işlerler ve içten yanmalı motorlara kıyasla daha az azot oksit üretirler. Yıllık maliyetleri, 2010 yılı dolar kuru üzerinden 5500$/kWh'tır. Bunun 380$/kW'ı bakım ve onarım maliyetidir (Wikipedia, 2011).

5.10.2. Deponi Gazının Doğalgaz Şebekesinde Kullanılması

Deponi gazı arıtılır ve hemen hemen saf metan haline gelene kadar saflaştırılır. Güvenlik için bazı koku verici bileşikler eklenir. Arıtma prosesleri deponi gazının bileşimine, istenen gaz kalitesine ve yerel piyasa şartlarına bağlıdır. Bu yöntemde en önemli nokta doğalgaz boru şebekesine yakınlıktır. Her durumda, deponi gazının bu şekilde kullanımı pahalıdır. Saf CO_2 geri kazanılıp satılsa bile sistem ekonomik olmayabilir. Bu uygulama, Amerika'da çok büyük depolama alanlarıyla sınırlı olmak üzere karlı bir uygulama olmuştur. Hollanda'da ise, şehir gazının özelliklerini deponi gazını arıtarak karşılamak daha kolaydır (Akpınar, 2006).

5.10.3. Deponi Gazının Kimyasal Madde Üretiminde Kullanılması

Deponi gazının içeriğindeki metandan, petrokimyasal proseslerde hammadde olarak yararlanılması teknik olarak mümkündür. Deponi gazlarından bu şekilde yararlanılabilmesi için bu nihai kullanım şeklinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bugün için en uygun kullanım şekli metanol (CH_3OH) üretimi olarak görülmektedir (Özaktaç, 2004).

5.10.4. Deponi Gazının Yakıt Hücresi Olarak Kullanılması

Deponi gazında çalışan yakıt hücreleri modülarite, düşük kapasite, yüksek verim, sessiz işletim, düşük çevresel etki nedeniyle elektrik üretimi için yüksek veri gösterirler. Bunlara ek olarak yakıt hücrelerinin işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Bu sebeplerden dolayı gelecekte deponi gazından elektrik elde etmek için ideal bir teknoloji olabilir. Günümüzde ekonomik ve teknik dezavantajları nedeniyle, yakıt hücrelerinin geleneksel uygulamalarla rekabet etmesi oldukça zordur. Yakıt hücreleri deponi gazından kazanılan hidrojeni ve havadan elde edilen oksijeni bir elektrokimyasal reaksiyonda birleştirerek enerji oluşturur. Yüksek verimlerde, yakıt ve hava eldesi olduğu sürece sürekli elektrik üretilir. Güç üretimi için uygun üç tip yakıt hücresi vardır. Bunlar; fosforik asit yakıt hücreleri, molten karbonat yakıt hücreleri ve katı oksit yakıt hücreleridir. Yakıt kaynakları olarak hidrojen gazı veya yeniden formlandırılmış metanol kullanan fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC) bir deponi gazı uygulamasının ticarileştirilmesine en yakın olanıdır (Akpınar, 2006).

Araştırmalar, deponi gazı kaynaklı erimiş karbonatlı yakıt hücrelerinin yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Asit gazlarının ayrılması (HCI, HF, SO_2), VOC oksidasyonu (H_2S'ün alınması) ve siloksanın alınması erimiş karbonatlı yakıt hücreleri için gereklidir. Yakıt hücresi, deponi gazındaki hidrojenden üretilir. Hidrojenden üretilen yakıt hücresinin sıfır salım, düşük maliyet ve yüksek verimliliği vardır (Wikipedia, 2011).

5.10.5. Deponi Gazlarının Elektrik Enerjisi Olarak Kullanılması

Deponi gazı, katı atık depolama alanlarından elde edilen gazdır. Deponi gazından elektrik elde edilmesi ise, organik materyallerin çürümesi sonucu oluşan gazı toplayarak, bundan enerji elde edilmesidir. Elde edilen gazın %50'den fazlası metan içeren gazdır. Metan gazının çevre için çok zararlı bir gaz cinsi olması önemini daha da artırmaktadır. Atmosferdeki CO_2 dengesini bozan sera

gazlarından en önemlisi metandır. Metanın diğer gazlarla karşılaştırıldığında atmosfere verdiği zarar eşdeğer gazlara göre 21 kat fazla olduğu, Bölüm 5.8.1.4'de vurgulanmıştı. Katı atık depolama sahaları doldurulup kapatıldıktan sonra bile 20 ile 30 yıl boyunca gaz üretirler (LFG, 2011).

Direkt yakmanın yapılmadığı, gazın geri kazanımının düşünüldüğü tesislerde diğer bir seçenek olan deponi gazından elektrik üretilmesi aşaması değerlendirilebilir. Elektrik üretimi; gaz motorları, gaz türbinleri, buhar türbinleri ve yakıt pilleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ön arıtmadan geçen deponi gazının enerji değerine göre farklı elektrik dönüşüm teknolojileri uygulanmaktadır. Bu teknolojilerin çalışma aralıkları ve enerji dönüşüm oranları, Çizelge 5.6'da verilmiştir (Jeffrey et al. 2005).

Çizelge 5.6. Elektrik üretim teknolojileri ve dönüşüm oranları.

Uygulama	Çalışma Aralığı	Elektrik Dönüşüm Oranı
Mikro türbin	< 100 kW	% 25-30
Pistonlu Gaz Motoru	0,5 – 12 MW	% 28-40
Gaz Türbini	3 – 18 MW	% 26-32
Buhar Türbini	10 – 50 MW	% 24-29

Deponi gazından elektrik enerjisi elde edilmesi, aşağıda verilen safhalardan meydana gelmektedir.

- Sondaj yöntemi ile gaz kuyularının açılması
- Deponi gazının toplanması

  -Gaz toplama bacaları, kuyuları ve boru hatları ile gazın toplanması
- Toplanan deponi gazının iyileştirilmesi

  - Bu aşamada su ve toz tanecikleri gazdan uzaklaştırılır ve kuru, temiz gaz elde edilir.
- Deponi gazının motor-jeneratör gruplarında yakılarak elektrik elde edilmesi.

  -Yerinde direkt enerji kaynağı olarak kullanılmayan %50'den fazlası metan olan bu gaz, motor- jeneratörleri vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür.
- Elde edilen elektriğin nakil hatlarına taşınması

  -Yükseltici transformatör ve nakil hattı ile elde edilen elektriğin şebekeye bağlanır.

- Atık ısıdan yararlanılması

Proses aşamasında ortaya çıkan ısı kojenerasyon ile konut ve işletmelerde ısıtma ve soğutma amacı ile kullanılır (LFG, 2011). Bu aşamalara ait örnek resimler Şekil 5.13-5.17'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Gaz kuyularının sondajla açılması. Şekil 5.14. Gaz borusunun yatay gaz toplama boruları bağlantısı (Terraza and Willumsen, 2009).

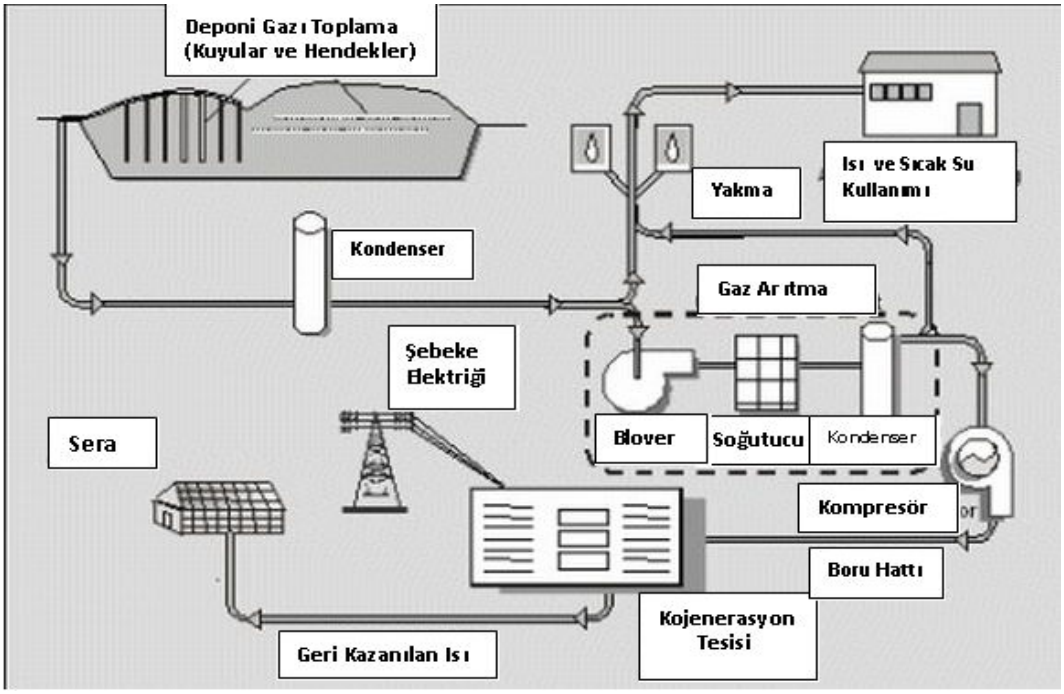


Şekil 5.15 ve Şekil 5.16. Gaz borularının pompa ve düzenleyici konteynerine bağlanması ve bağlantıdan sonraki görüntüsü (Terraza and Willumsen, 2009).



Şekil 5.17. Gaz Motoru/Jeneratör (Terraza and Willumsen, 2009).

Deponi gazından elektrik üretilmesine ait aşamalar Şekil 5.18'de görülebilmektedir.



Şekil 5.18. Deponi gazından enerji üretimi, (GreenStrides, 2011).

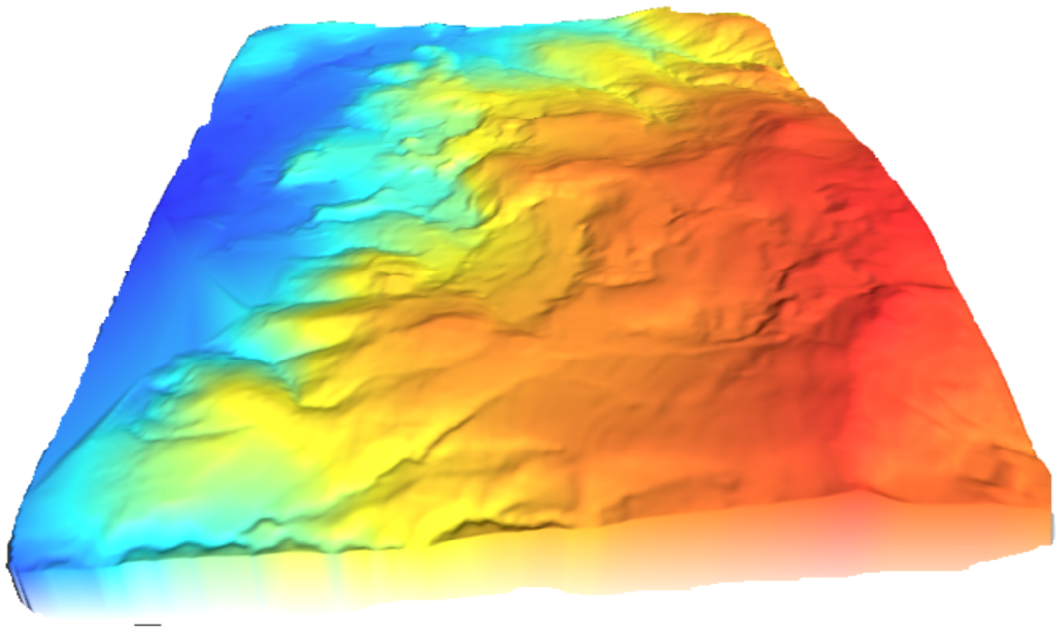
6. HARMANDALI DÜZENLİ DEPOLAMA ALANI FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARI

6.1. Arazi Yüzeyi Çalışmaları

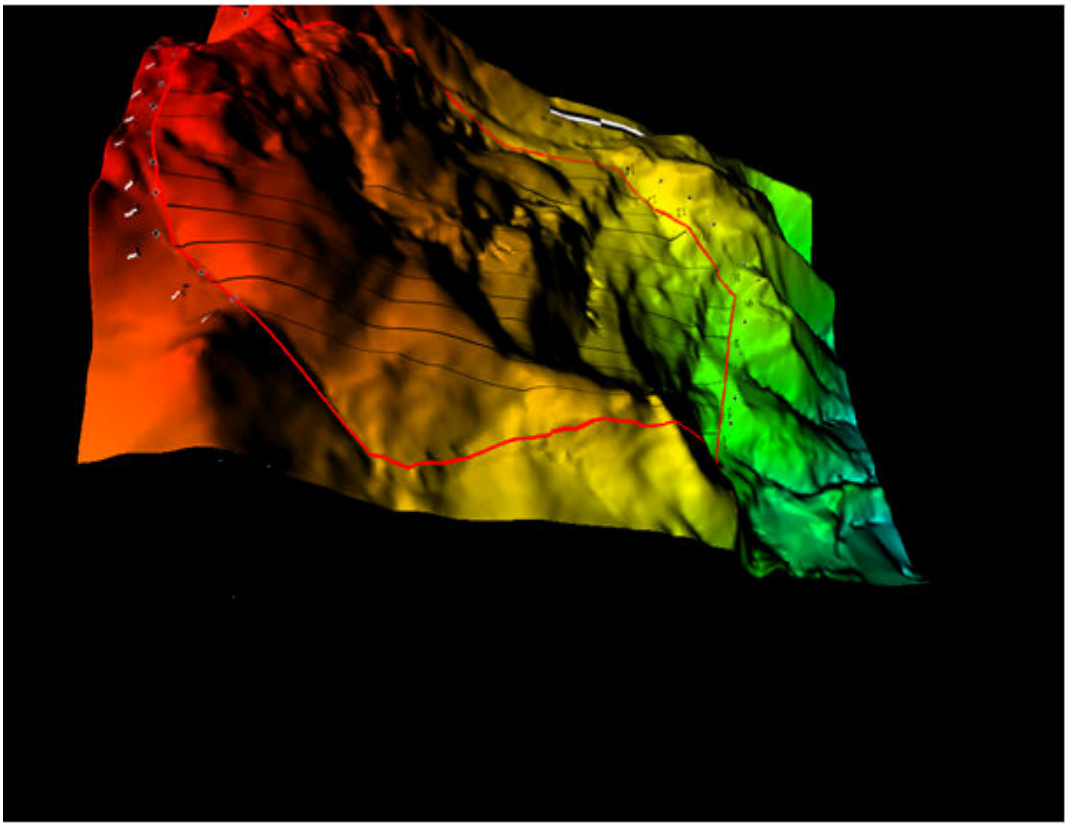
Harmandalı Düzenli Depolama Alanına, mevcut depolama alanının çanak haline uygun olarak şekil verilmektedir. Malzemenin stabil halde durması ve kaymaması için çöp kompaktörleri ile günlük olarak sıkıştırılmakta ve üzeri kil örtüyle kapatılmaktadır. Alana, çöpteki şev eğiminin stabil olarak kalması için çöp şev eğiminin ideal olduğu 1/3 eğim verilmektedir (İBB, 2011b). Deponi alanında atıkların depolanması çanak şeklinde devam etmekte olup, Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de bu durum görülebilmektedir. Depolanma biçimi ise yukarıdan aşağıya doğru yapılmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında, deponi alanının çöp hacimleri, atık depolama şekli, toprak yüzeyi (dolgu, tıraşlama vb.) incelenmiştir. Bu kapsamda, Harmandalı Düzenli Depolama Alanının 1996 ve 2010 yıllarına ait orto fotoları incelenmiştir (1992 yılı ve sonrası için, deponi alanına ait bu iki orto foto bilgisi elde edilmiştir). Bu bilgiler doğrultusunda, HDDA'nı mapinfo programıyla 14 ayrı kesite ayırdık. Her bir kesiti ayrı ayrı inceledik. Yüzeydeki bölgelerde (Kuzey-Güney, Batı- Doğu) ve alanın genelinde çöp artışındaki farklar grafiksel olarak gösterildi. Grafiksel kesitlerde, kırmızı çizgiler 2010 yılını göstermiş olup, 2010 yılı itibariyle mevcut inceleme yaptığımız yüzey kesitlerindeki yüksekliği göstermektedir. Yeşil çizgiler ise, 1996 yılını gösteriyor olup bu yıldaki yüzey kesitlerinin yüksekliğini ifade etmektedir.

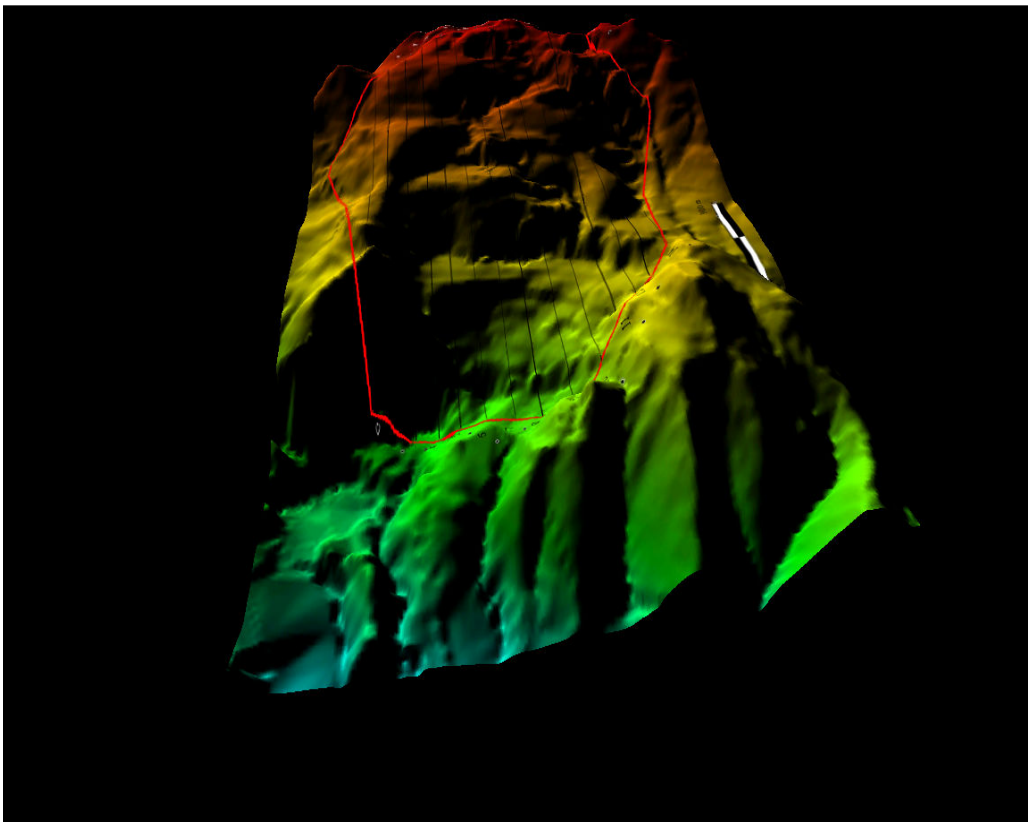
Kesitlere ait bilgiler, Şekil 6.6 – 6.19'da görülebilmektedir. Elde edilen kesitlerden çıkan bilgiler aracılığıyla, HDDA'na ait, 1996-2010 yılları arasında 666.282,8 m²'lik alanda 10.894.242,9 m^3'lük çöp dökümü yapılmış olup, yine bu yıllar arasında alanın büyük bir kısmı ise tıraşlanmıştır. Çöp döküm hacminin içerisinde, dolgular ve kaymalar neticesinde alanda biriken toprak hacimleri de vardır. Yani toplam atık miktarını kıstas almamaktadır. Alanın belirlenen kesitleri dahilinde yükselti ortalaması ise yaklaşık 16,5 m'dir.



Şekil 6.1. Harmandalı Düzenli Depolama Alanının üç boyutlu gösterimi, 2011.



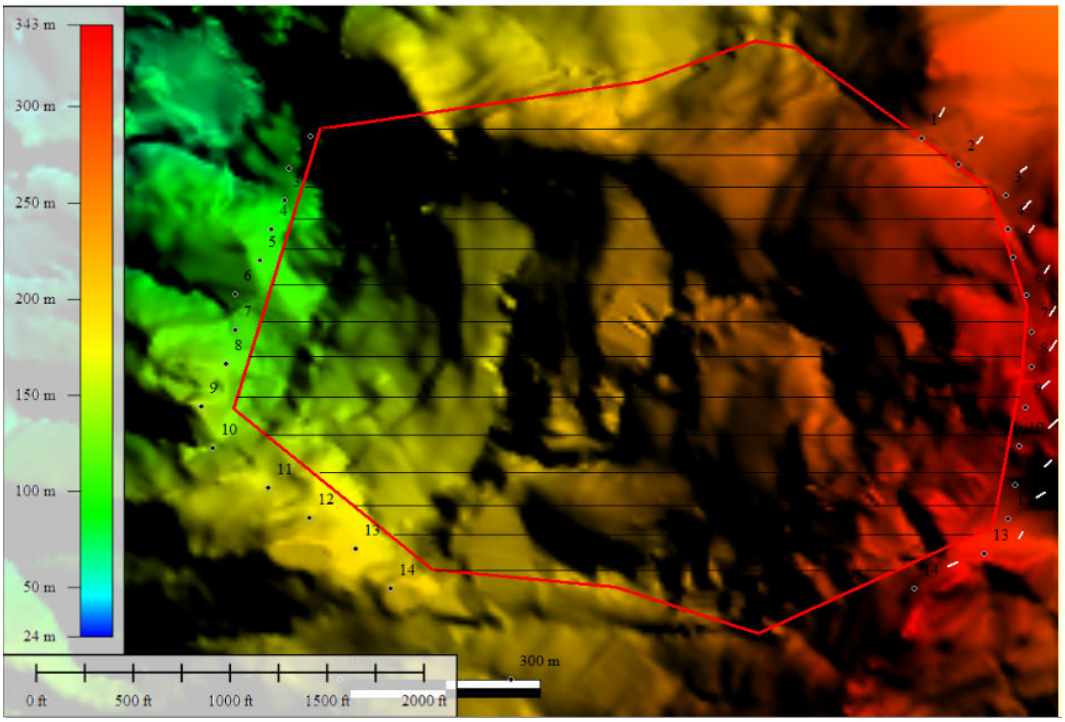
Şekil 6.2. HDDA'nın kesitlere ayrılmış üç boyutlu sol yan görüntüsü, 2011.



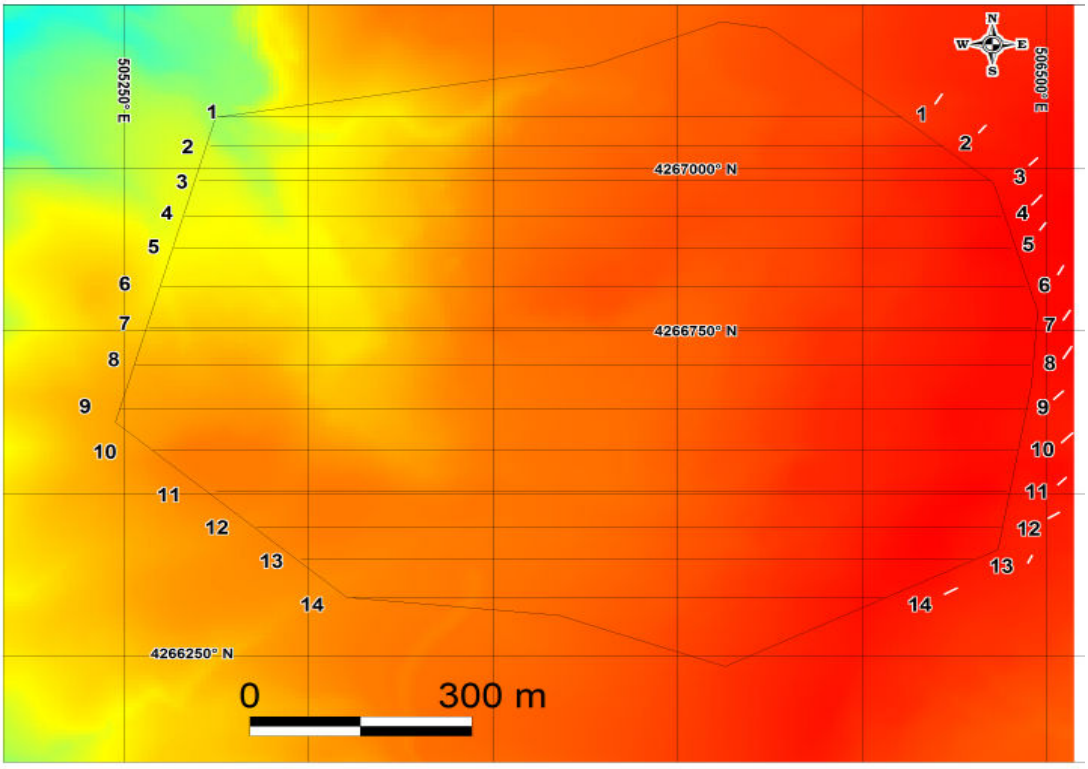
Şekil 6.3. HDDA'nın kesitlere ayrılmış üç boyutlu önden görüntüsü, 2011.

Grafiksel kesit şekillerinden de anlaşılacağı üzere, genelde 2010 yılı kesit yüzeyi değerlerini gösteren kırmızı çizgiler, 1996 yılı kesit yüzeyi değerlerini gösteren yeşil çizgilerin üzerinde bir seyir izlemektedir. Bu, çöp hacmindeki artışla beraber yükseltinin artmış olduğunu ve artarak devam ettiğini gösteriyor. Ancak, grafikteki bazı noktalardaki yeşil çizgiler, kırmızı çizgilerin üzerinde seyir etmektedir. Bu durum arazideki belli bölgelerde tıraşlama yapıldığını gösteriyor (Arazi düz bir zemin olmayıp, dağlık şeklindedir. Yeni çöp depolama lot alanları açılması ve arazi üzerinde yapılan düzeltmeler vasıtasıyla iş makineleri ile alanda iyileştirme yapılıyor). Aynı zamanda bu durumdan alanda kaymalar neticesinde toprağın yer değiştirdiği de anlaşılabilmektedir. Nitekim eski çöp sızıntı suyu arıtma tesisinin bir kısmının toprak altında kalması bunu ispat eder durumdadır.

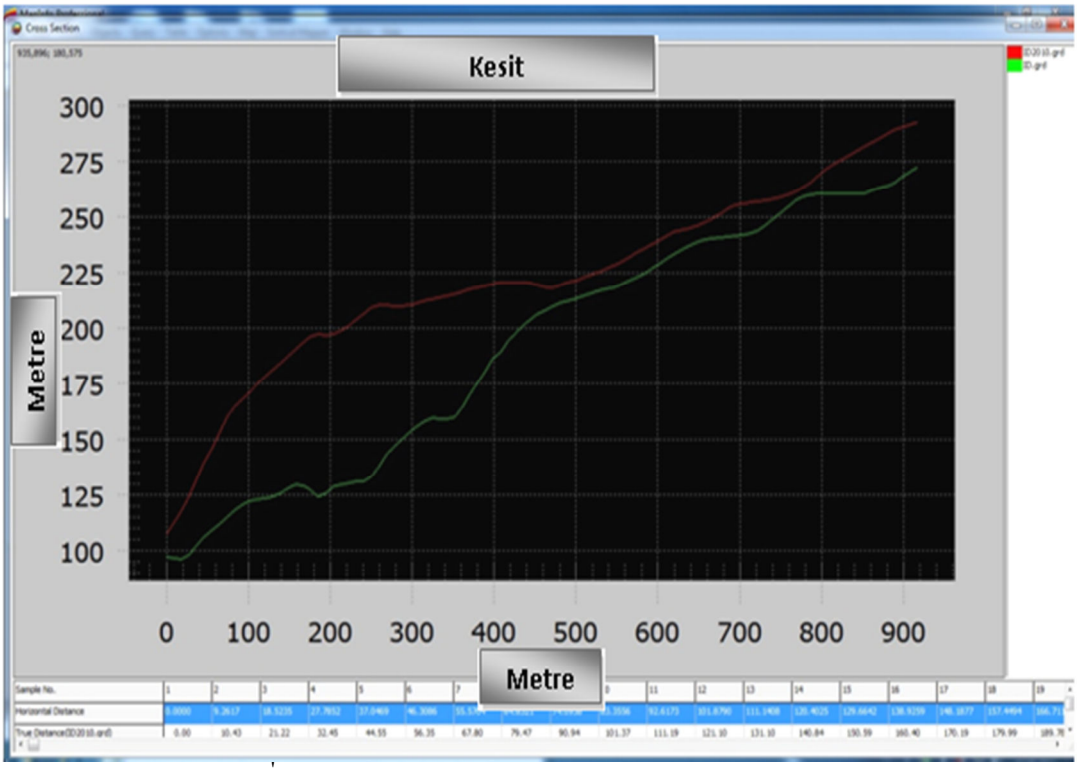
Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de deponi alanının kesitlere ayrılması ve yükseklikleri detaylandırılmıştır. Kesitlerde, yükseklik maksimum 300 m ile sınırlandırılmış olup, bu yükseltiden sonra araziyi tepe olan yerleşimler işgal etmektedir.



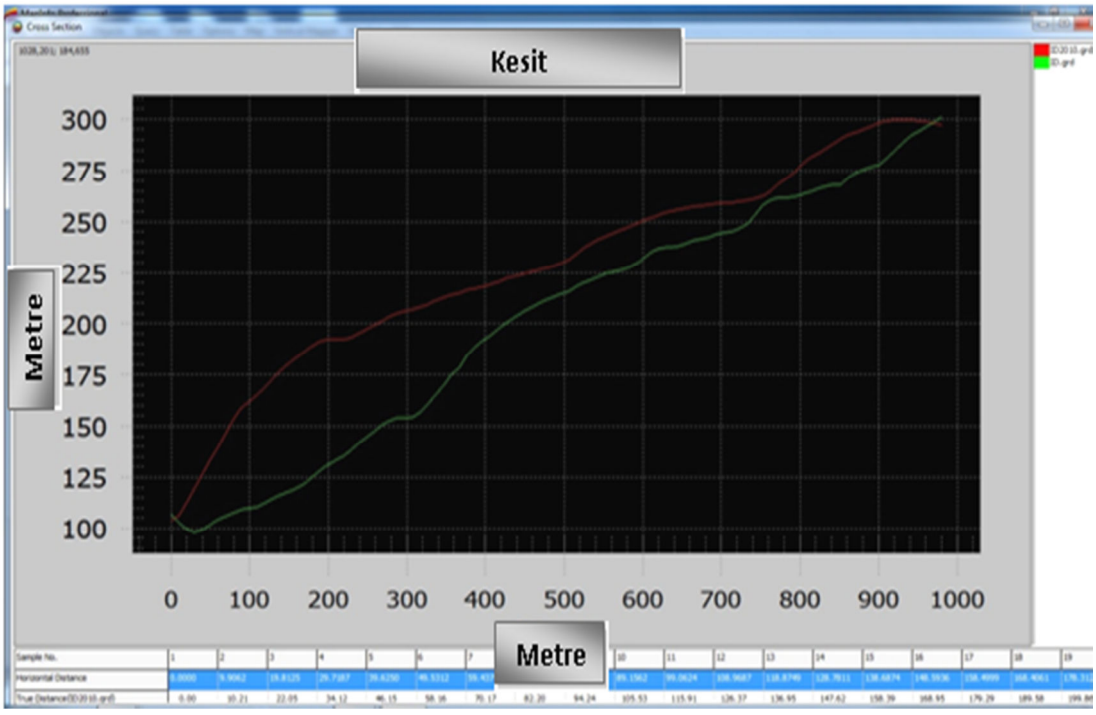
Şekil 6.4. HDDA'nın kesitlere ayrılması, 2011.



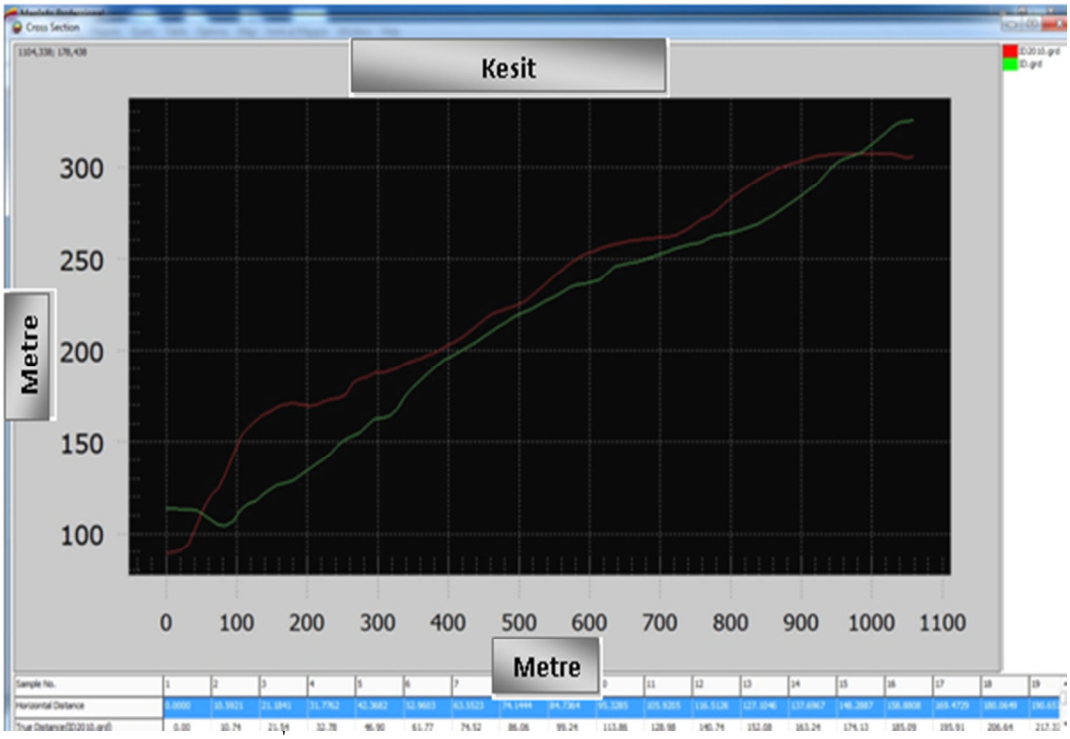
Şekil 6.5. HDDA'nın enlem ve boylam üzerinde kesitlere ayrılması, 2011.



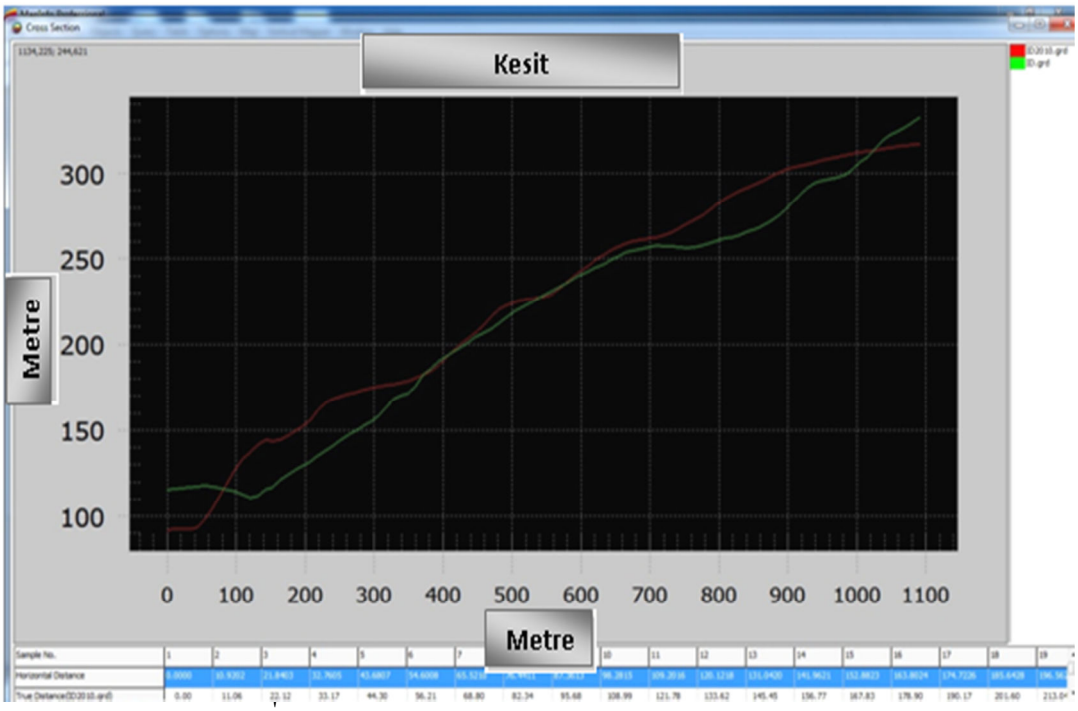
Şekil 6.6. HDDA'nın 1-1' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



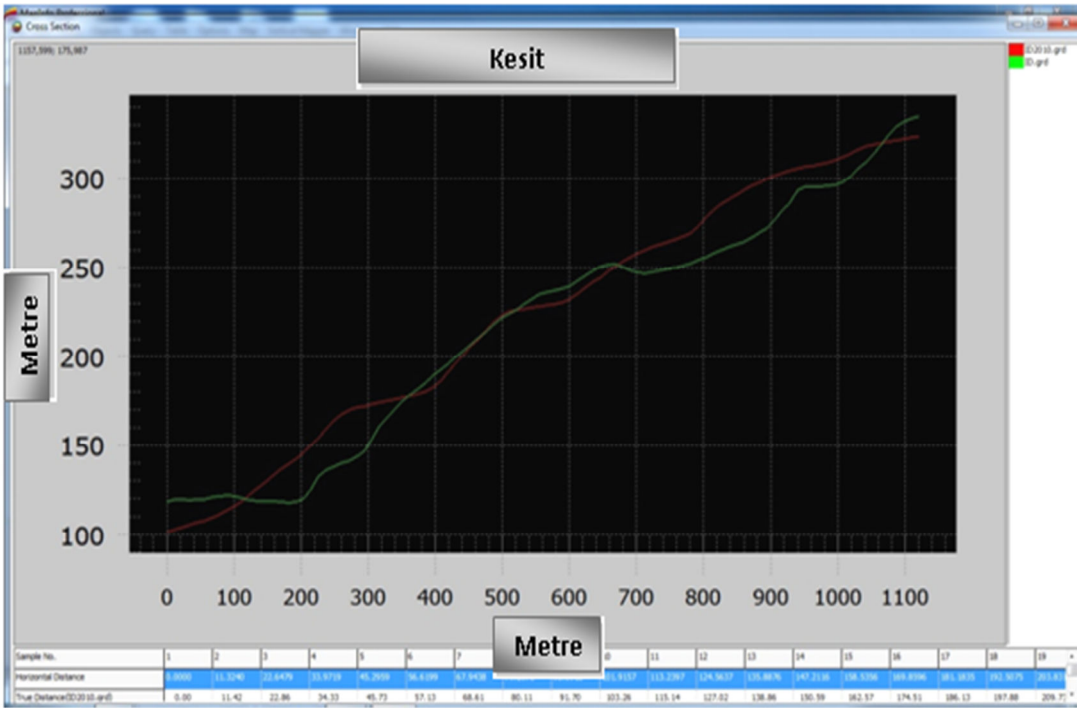
Şekil 6.7. HDDA'nın 2-2' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



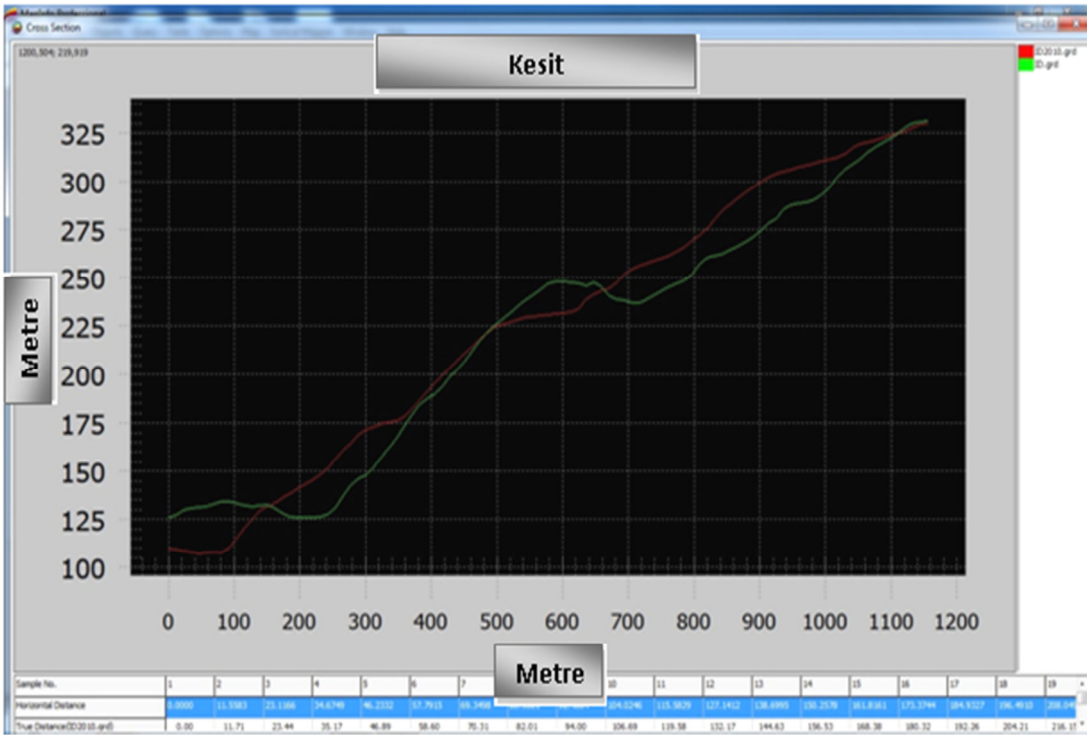
Şekil 6.8. HDDA'nın 3-3 kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



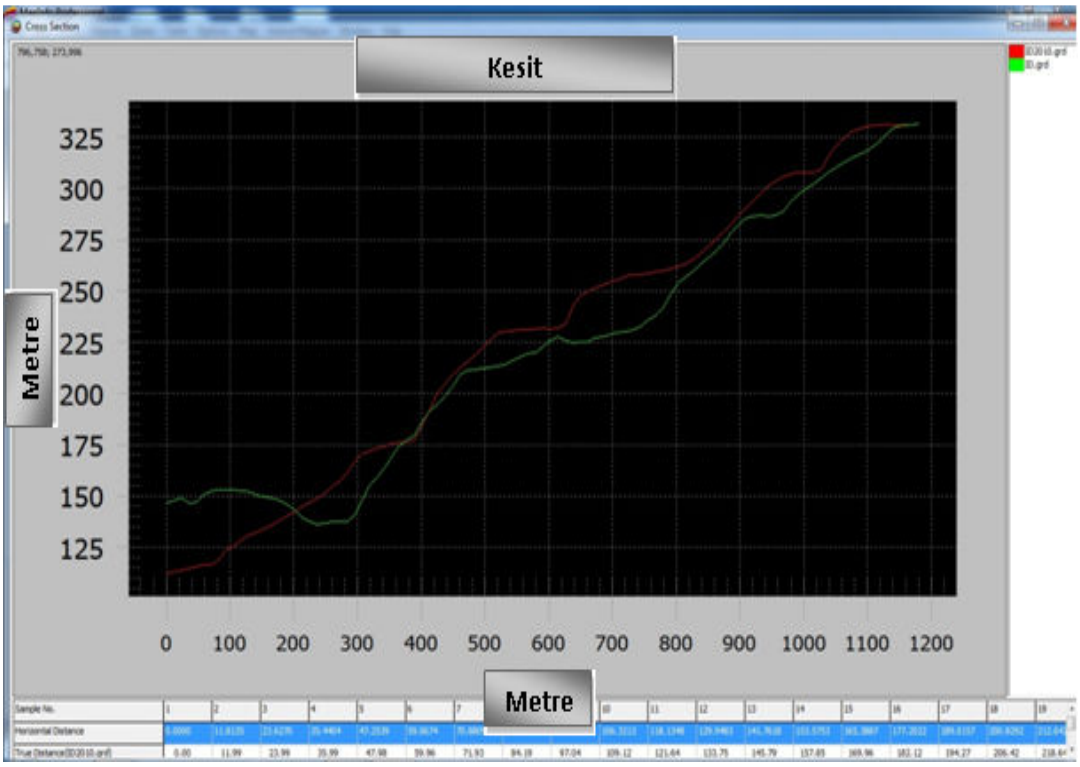
Şekil 6.9. HDDA'nın 4-4 kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



Şekil 6.10. HDDA'nın 5-5' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



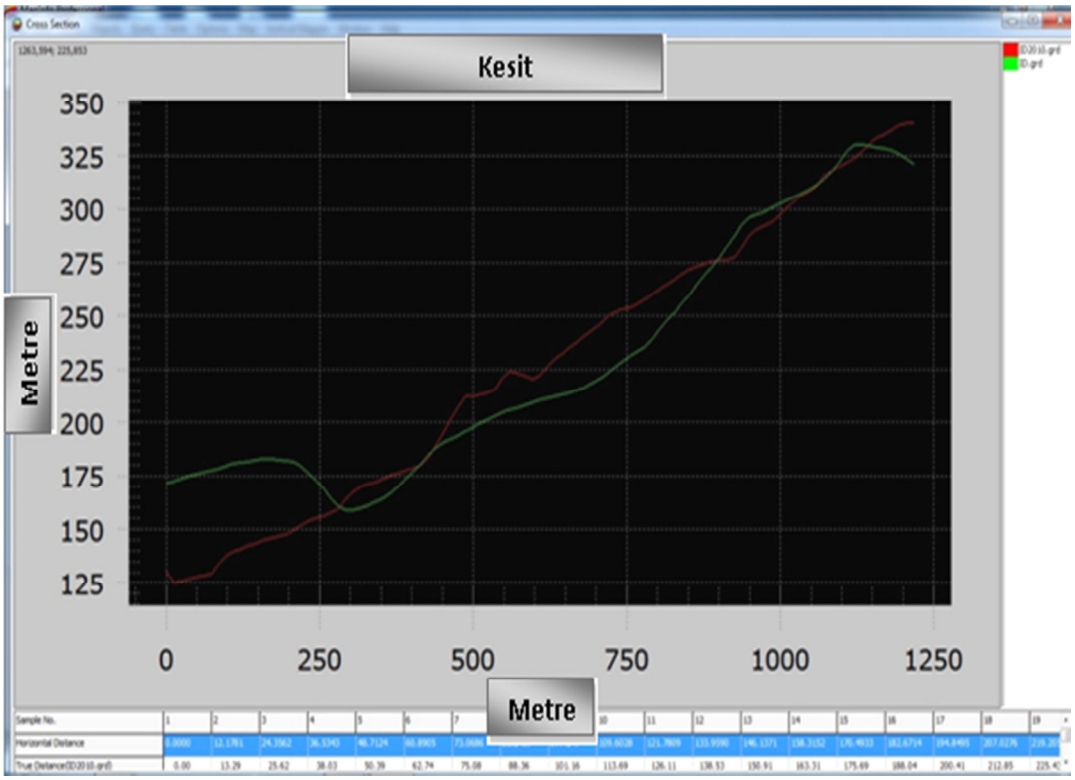
Şekil 6.11. HDDA'nın 6-6' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



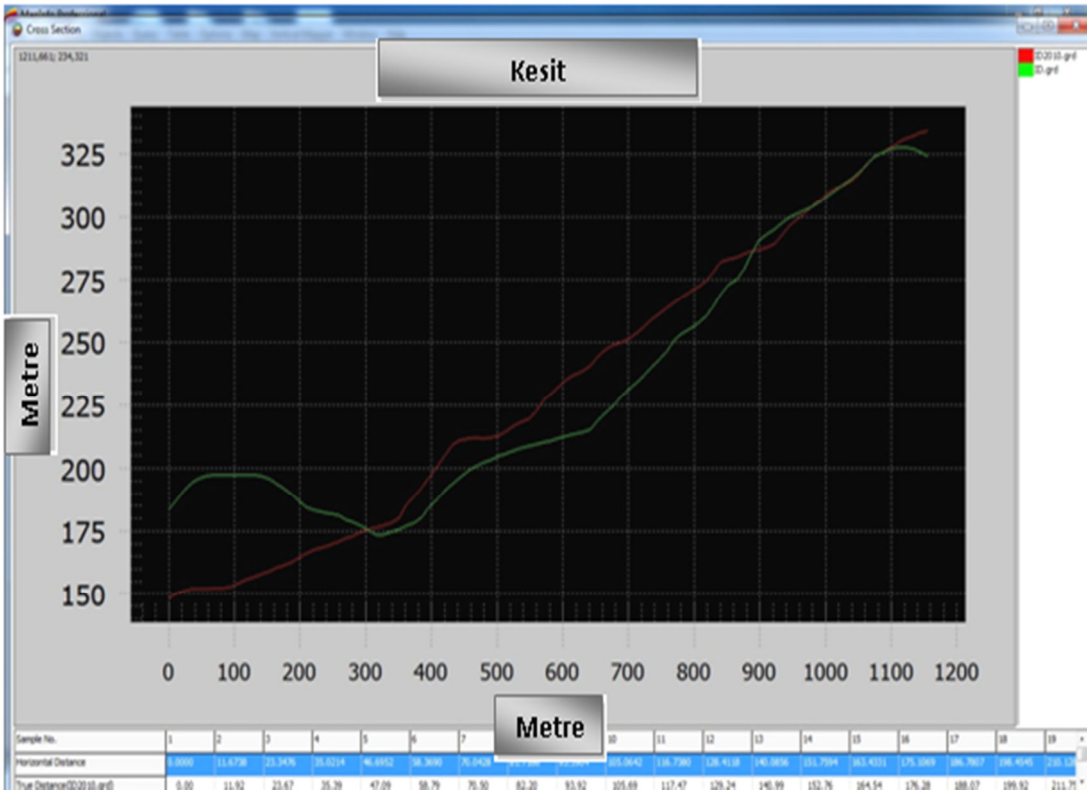
Şekil 6.12. HDDA'nın 7-7' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



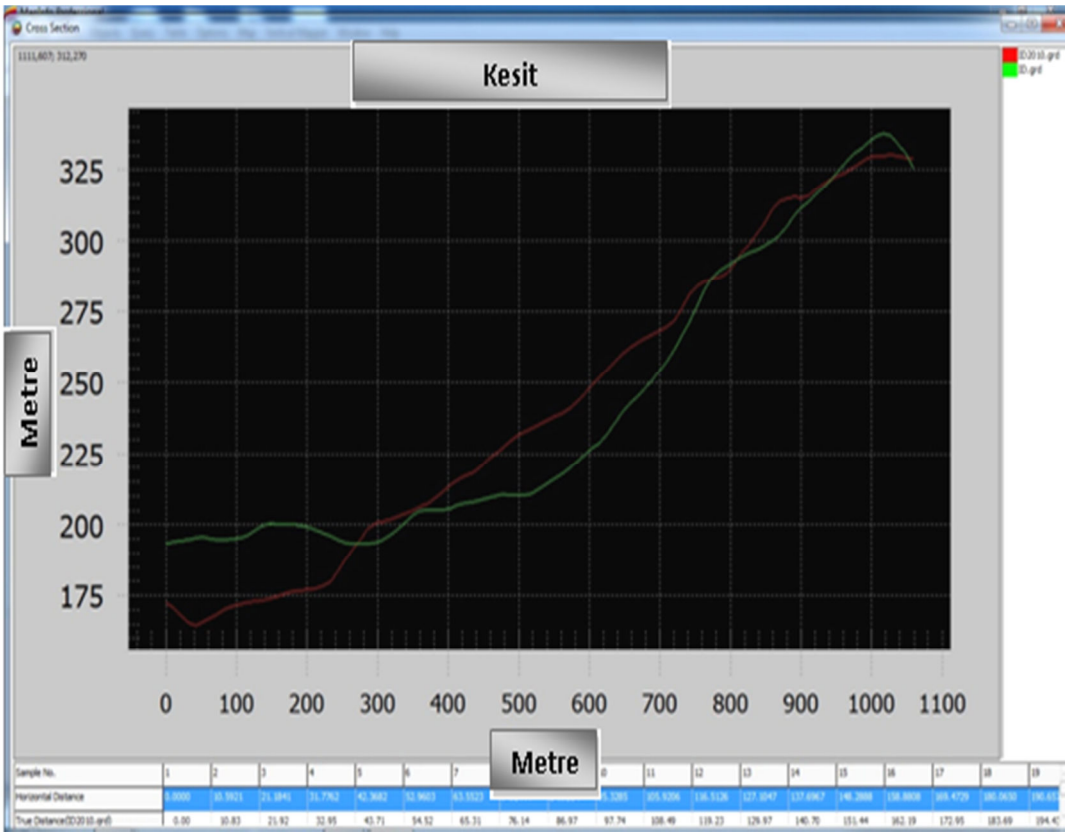
Şekil 6.13. HDDA'nın 8-8' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



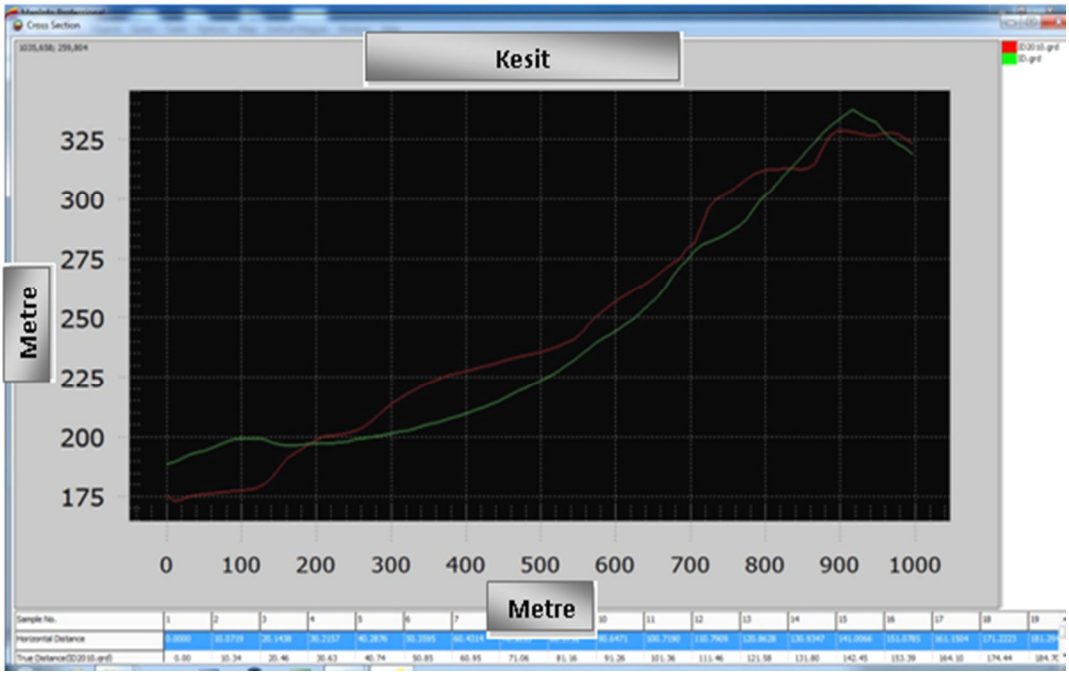
Şekil 6.14. HDDA'nın 9-9' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



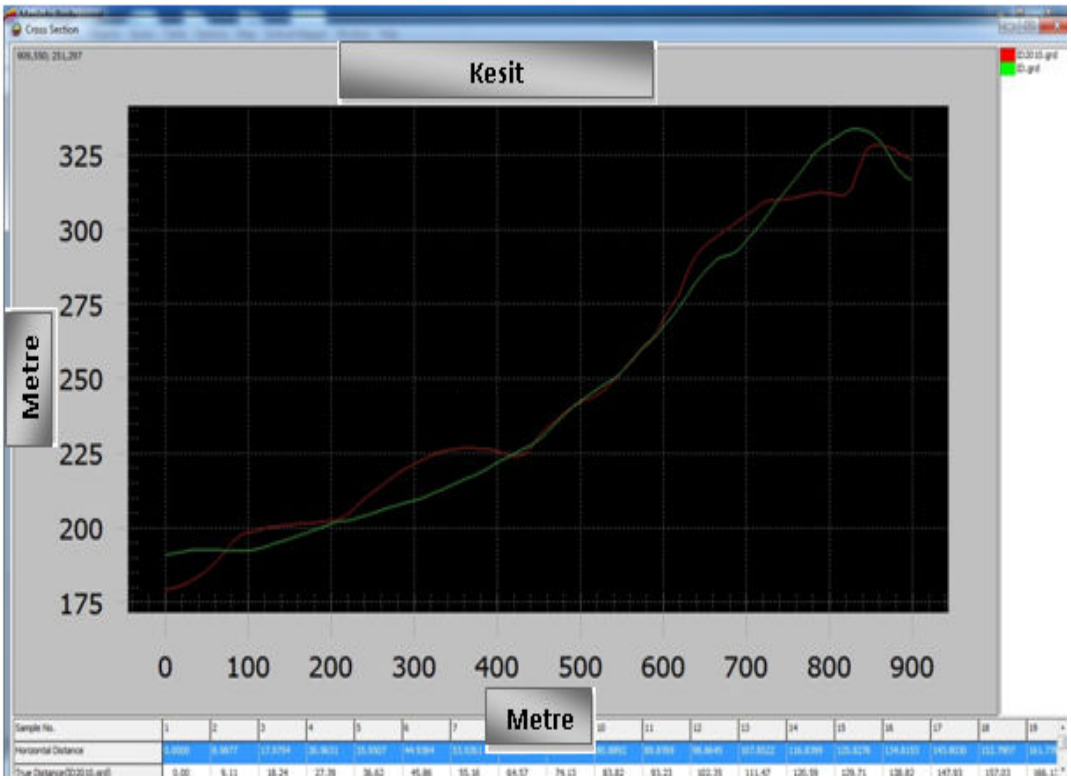
Şekil 6.15. HDDA'nın 10-10' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



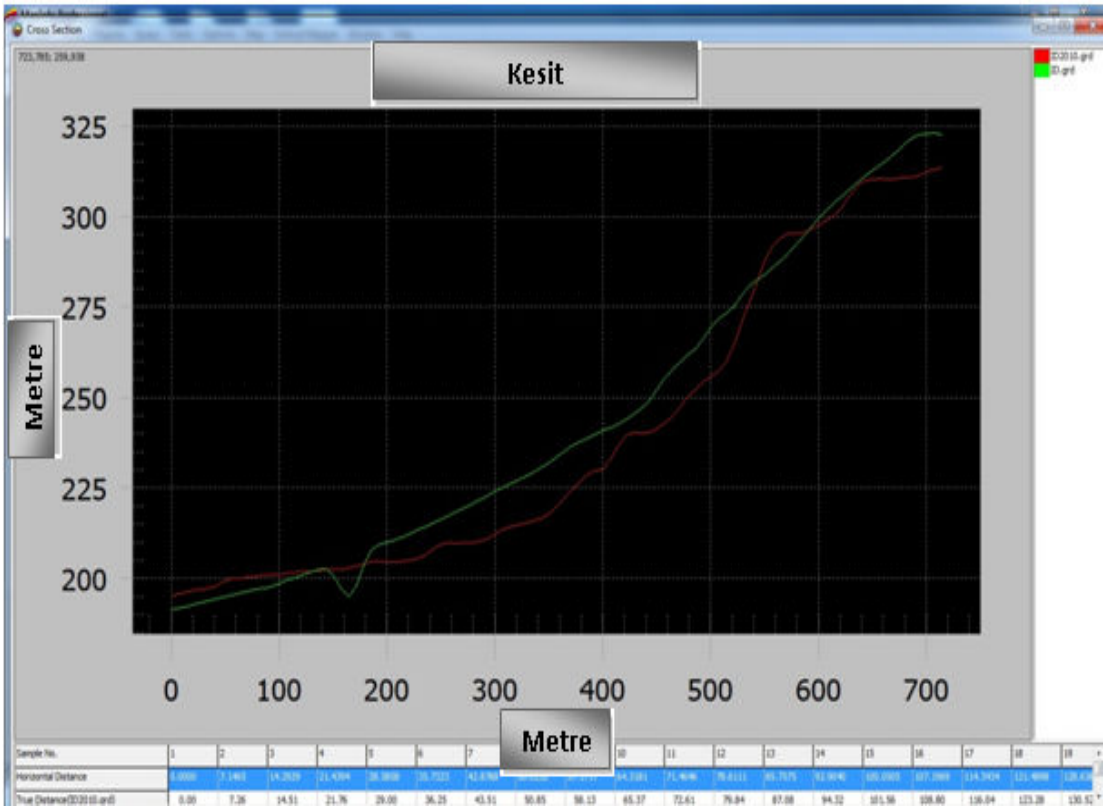
Şekil 6.16. HDDA'nın 11-11' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



Şekil 6.17. HDDA'nın 12-12' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.



Şekil 6.18. HDDA'nın 13-13' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.

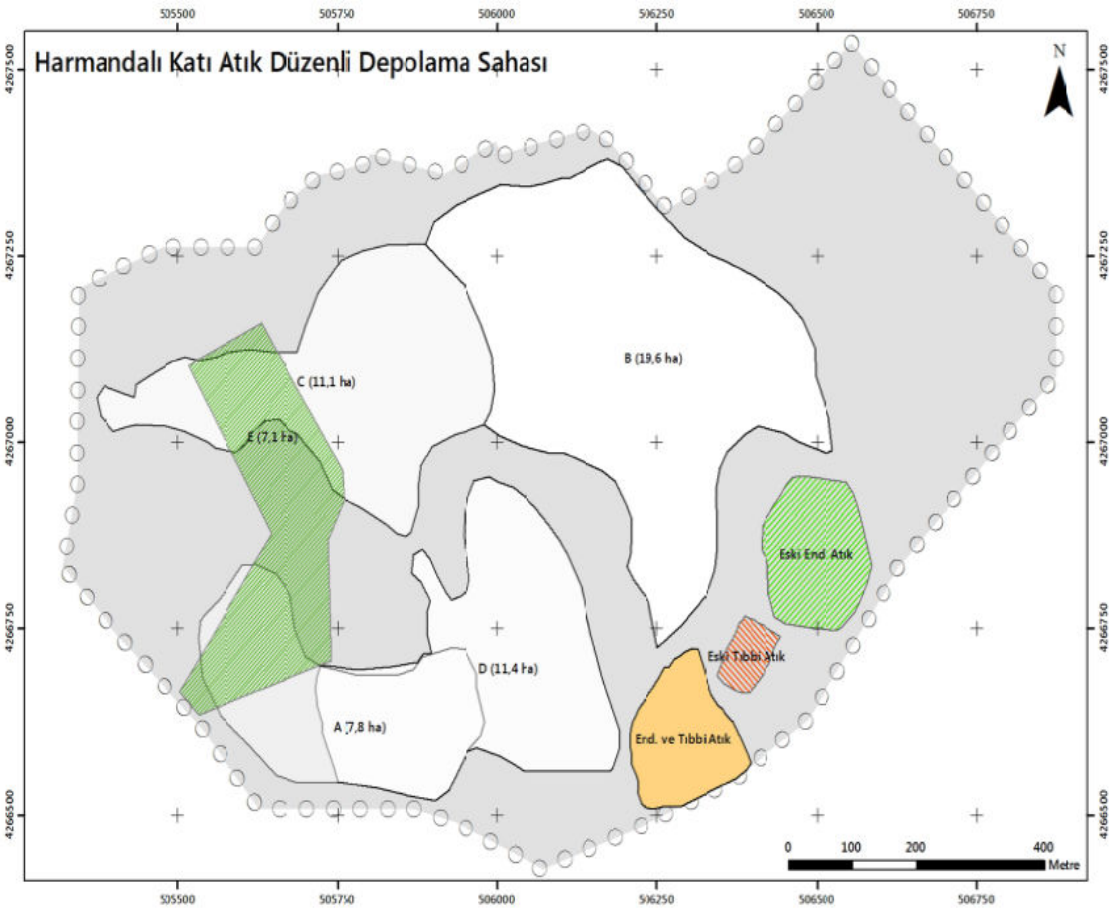


Şekil 6.19. HDDA'nın 14-14' kesitinin grafiksel gösterimi, 2011.

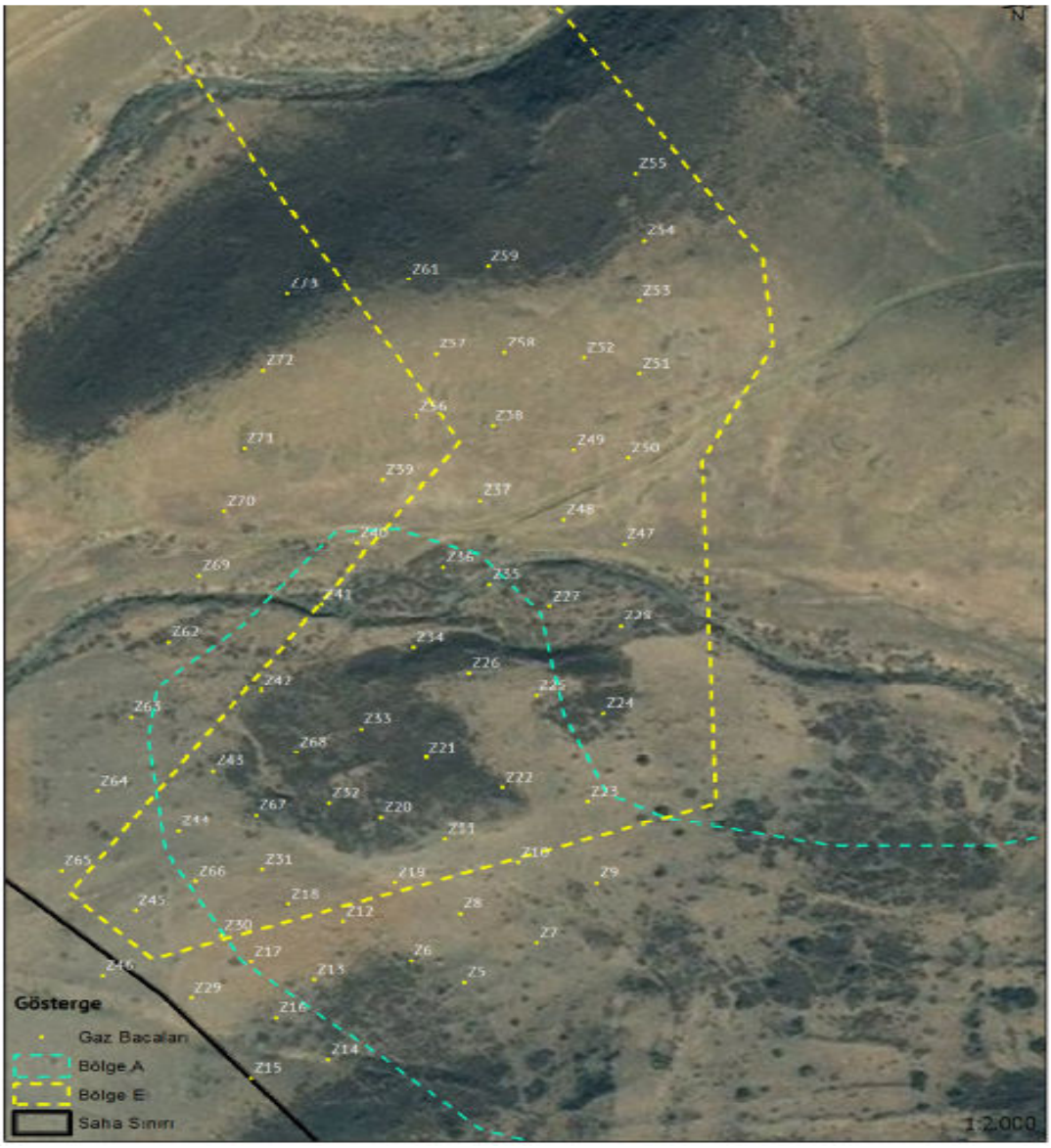
6.2. Çalışma Alanı ve Özellikleri

İzmir il sınırları içinde 38° 32' – 38° 33' kuzey enlemleri ve 27° 05' – 27° 10' doğu boylamları arasında yer alan Harmandalı Düzenli Depolama Alanı, toplam 900 dönüm alana sahiptir (İBB, 2011b). Çalışma alanı halen döküme aktif olan evsel katı atık lotudur (170 dönüm).

HDDA'da deponi gazı oluşum potansiyelini belirlemek için belirli bir bölge üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu bölge, halen işletilmekte olan E bölgesi (Şekil 6.20 ve Şekil 6.21) olup, bu bize alandaki gaz bileşiminin ve debisinin tespit edilmesini sağlayacaktır. Bu, alandaki mevcut gaz toplama sistemini esas alarak ve bu bölgedeki gaz bacalarının niteliksel ve niceliksel gaz ölçümleri yapılarak sağlanacaktır.



Şekil 6.20. Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Lotları (İBB, 2011b).



Şekil 6.21. Harmandalı Düzenli Depolama Alanı E ve A Lotlarının uydu görüntüsü (İBB, 2011b).

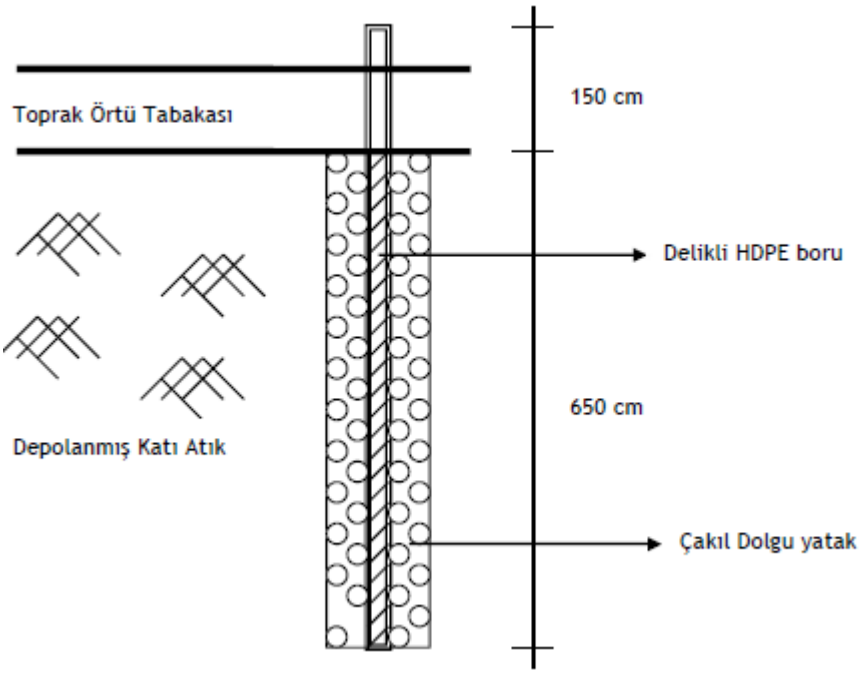
Çöp depolamanın 2007 yılından bu yana devam ettiği E bölgesinde 73 adet deponi gazı bacası bulunmaktadır. Bu durum, Şekil 6.21'de gösterilen uydu görüntüsünde ve Şekil 6.22'de baca yerleşimlerinde görülebilmektedir. Çalışmada bu bacaların yanı sıra, eski döküm sahası içerisinde yer alan dört bacanın daha ölçümünün yapılması planlama içerisinde yer almıştır. Gaz bacaları 50 m'de bir yerleştirilmiştir. Gaz toplama bacaları çöp dökümünü ve sıkıştırmayı takiben, atığın üzeri toprakla örtüldükten sonra kuyu açılmak suretiyle teşkil edilmektedir. Kuyu açılması için yaklaşık 7 m derinliğinde kazı yapılmakta, içine 0,65 m çapında, 7 m yüksekliğinde inşaat demirinden imal edilmiş kafes düşey olarak yerleştirilmektedir. Daha sonra çelik kafesin içine 16 cm dış, 14,6 cm iç çapa sahip yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boru konulmaktadır. HDPE borular, 8 m uzunluğundadır. Deponi gazının boru içine girişini sağlamak amacıyla kuyu

içinde kalacak ilk 6,5 metresi deliklidir. Çelik kafesle HDPE borunun arası çakılla doldurularak, gazın HDPE boruya ulaşmasını kolaylaştıran gözenekli yapı oluşturulmaktadır. HDPE borunun çöpün üst tabakasına gelen kısmı (son 1,5 m) delikli değildir (Şekil 6.23 ve Şekil 6.24). Normal imalatta (işletmede) delikli olmayan bu kısmın en az yarısının toprak örtünün altında kalması istenir. Ancak, arazide yapılan çalışmalarda, bacaların bir bölümünün bu koşulu sağlamadığı görülmüştür. Benzer şekilde, delikli boru etrafında yer alan ve gözenekli yapıyı oluşturan çakıl tabakasının, yukarı kadar ulaşmaması, çöpün üzerindeki örtü tabakasının altında kalması gerekmektedir. Böylelikle gazın boru içine doğru hareketi sağlanabilmekte, başka yerden çıkması engellenmektedir. Bu koşulun da bazı bacalarda yerine getirilmediği tespit edilmiştir.

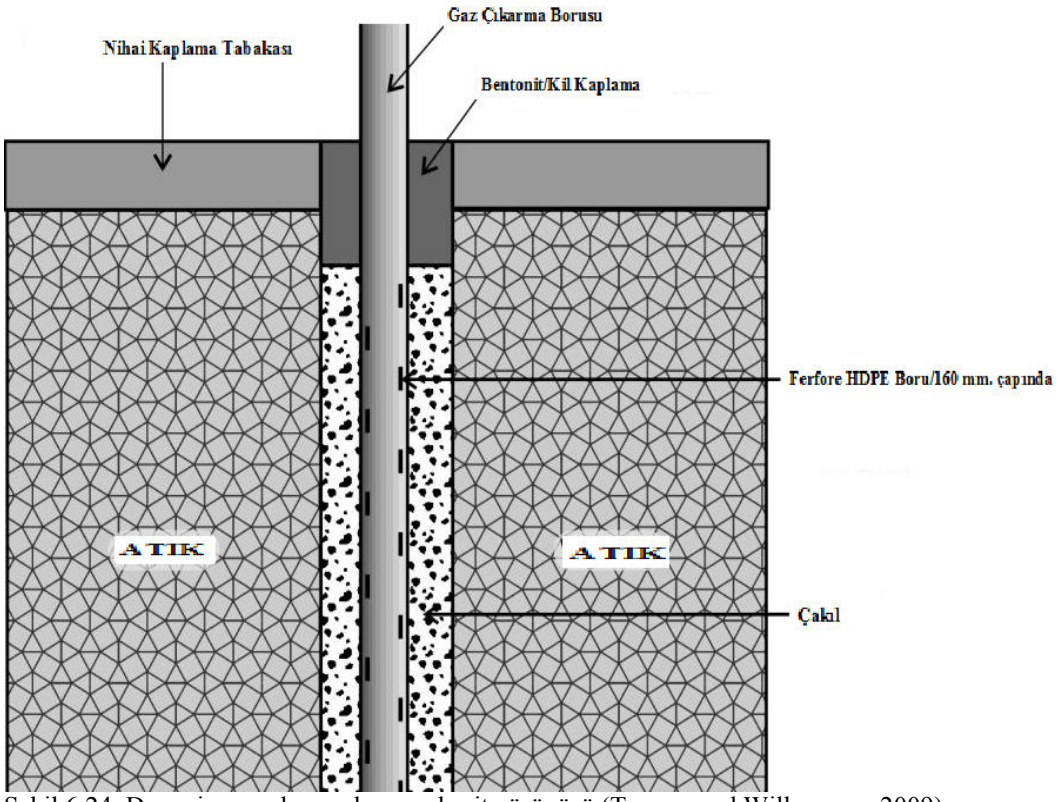


Şekil 6.22. HDDA'da yer alan gaz bacaların yerleşimi (İBB, 2011b).

2001 yılında yapılan yakma tesisi (1250 m^3/sa debiye sahip), 2005 yılından beri faal değildir. Ayrıca, HDDA'da bacalar arası bağlantılı olan herhangi bir gaz toplama şebekesi ve dolayısıyla değerlendirme işlemi (enerji üretimi vb.) uygulanmadığı için kuyular atmosfere açık olarak bırakılmaktadır. Şekil 6.23'de, HDDA'nda yer alan kuyulara ait şematik resim gösterilmiştir. Şekil 6.24'de ise, kuyuların kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.23. Kuyuların şematik gösterimi, (İztek Mühendislik, 2011).



Şekil 6.24. Deponi gazı çıkarma kuyusu kesit görünüşü (Terraza and Willumsen, 2009).

6.3. Deponi Gazı Ölçümü

Harmandalı Düzenli Depolama Alanı'nda (HDDA'da) bulunan 77 adet bacada, İzsu Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan, Geotechnical Instruments Limited (İngiltere) firması tarafından üretilmiş GEOTECH GA 2000 Range Gas Analyser (GA 2000) ile gaz ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6.25). GA 2000, depolama alanlarında oluşan gazların oranlarını tespit etmek için tasarlanmış bir cihazdır.

Cihazın iki ayrı ölçüm probu bulunmaktadır. Bunlardan biri orifis plaka esaslı debi ölçümü için, diğeri ise gazın bileşenlerinin (CH_4, CO_2, O_2, CO, H_2S parametrelerinin) ölçümü için kullanılmaktadır. Ölçümler sırasında baca ağzının atmosferden izole edilerek tüm gazın ölçüm cihazına yönlendirilmesi gerekli olmuştur. Bu nedenle, arazi çalışmalarında bacaların tepesine uygun bir şapka imal edilmiş (Şekil 6.26) ve şapkanın üst kısmındaki örnekleme ağzından debi ve gaz bileşenlerine yönelik örneklemeler yapılmıştır (Şekil 6.27), (İztek Müh., 2011).



Şekil 6.25. Geotechnical Instruments Limited firması tarafından üretilmiş gaz ölçüm cihazı.



Şekil 6.26. Deponi gazı ölçümleri için imal edilen aparat.



Şekil 6.27. HDDA'ndaki gaz bacalarında gaz örnekleme çalışması, 2011.

6.3.1. Deponi Gazı Ölçüm Sonuçları

HDDA'da büyükşehir belediyesince yaptırılan ölçümler, şu anda mevcut döküm alanı olan E bölgesinde yer alan 73 adet gaz bacası (Z1-Z73) ve bunun dışında eski döküm alanı olan C bölgesinde yer alan 4 adet gaz bacası ile birlikte toplam 77 noktada gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerin sonuçları, Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelgedeki verilerde, her gaz bacasında (veya test kuyusunda) ölçülen debi ve gaz bileşenlerinin oranları (%) verilmiştir. Ancak bazı gaz bacalarından çıkan gaz hızının çok düşük olması nedeniyle debi ölçülememiş ve çizelgede "tespit edilemedi" (TE) ibaresi gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. HDDA gaz bacaları ölçüm sonuçları, 2011.

Baca No	Debi (ml/saat)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	H_2S (ppm)	CO (ppm)
Z 1	TE	2,9	2,9	18,9	17	TE
Z 2	TE	4	3	19,4	1	30
Z 3	TE	11	9	15,2	0	TE
Z 4	TE	10,9	8,3	15,9	TE	TE
Z 5	TE	47,4	35,7	3,3	8	0
Z 6	TE	50,2	36,7	2,8	0	32
Z 7	TE	55,6	41,9	1	27	TE
Z 8	800	56,6	42,6	1	246	TE
Z 9	TE	2,4	3,1	18,3	0	0
Z 10	200	42,4	32,1	4,9	16	27
Z 11	TE	59,4	43,9	0,4	546	>530
Z 12	TE	41,8	32,9	5	24	51
Z 13	100	52,3	37,3	2,2	29	489
Z 14	300	60,5	44,3	0,2	293	37
Z 15	500	58,4	43	0,7	310	>530
Z 16	2600	59,2	45,1	0,2	417	TE
Z 17	TE	53,7	41,5	1,6	181	TE
Z 18	100	53	41,4	1,8	177	17
Z 19	TE	51,2	39,8	2,3	38	>530
Z 20	300	48,6	38,2	3,1	191	TE
Z 21	300	53,7	42	1,5	500	TE
Z 22	400	43	33,5	3,6	16	26
Z 23	TE	29	22,3	9,2	4	0
Z 24	TE	55	39,5	1,7	>530	59
Z 25	3300	58,7	44,2	0,2	>530	TE
Z 26	300	57	44,3	0,5	>530	TE
Z 27	300	51,8	41	1,4	505	TE
Z 28	700	58	43,9	0,5	>530	29
Z 29	TE	36,1	29,1	6,3	8	TE
Z 30	TE	40,6	32	4,7	2	TE
Z 31	TE	56,2	44,1	0,7	84	TE
Z 32	TE	54,3	42,3	1,2	100	TE

Çizelge 6.1. HDDA gaz bacaları ölçüm sonuçları, 2011 (devam).

Z 33	TE	40,6	33,4	4,8	41	128
Z 34	TE	56,2	42,5	1,1	>530	TE
Z 35	400	57,5	45,5	0,4	>530	TE
Z 36	TE	57	42	0,9	48	TE
Z 37	1600	58,9	44,7	0,5	254	TE
Z 38	400	59	44,5	0,2	335	TE
Z 39	1400	58,7	43,1	0,5	167	TE
Z 40	500	57,6	43,9	0,6	278	TE
Z 41	700	49,7	39,6	2,6	78	TE
Z 42	900	50,5	41,1	1,4	215	TE
Z 43	400	54,6	44,2	0,5	113	TE
Z 44	500	55,7	43,5	0,6	164	>530
Z 45	100	53,3	40,2	1,5	156	19
Z 46	700	55,7	43	0,9	89	96
Z 47	TE	56,1	40,2	1,4	33	TE
Z 48	TE	54,8	42,5	0,3	261	26
Z 49	200	58,6	44,3	0,1	337	0
Z 50	200	60,6	43,5	0,3	TE	65
Z 51	700	60,3	44	0,3	TE	65
Z 52	400	58,9	40,1	0,4	237	TE
Z 53	TE	60,9	44,1	0,2	109	TE
Z 54	TE	60,9	49,9	0,4	98	TE
Z 55	TE	60,5	46,6	0,2	3	TE
Z 56	300	56,6	44,1	0,7	>530	TE
Z 57	900	61,9	45,4	0,1	184	TE
Z 58	TE	19,4	16	12,8	4	TE
Z 59	200	56,1	40,9	0,5	77	TE
Z 60	TE	8,8	0,2	20,6	0	0
Z 61	300	57,8	43,1	1,4	346	49
Z 62	600	64,5	42,4	1	70	137
Z 63	900	57,3	44,1	0,2	18	298
Z 64	1200	58,2	43,5	2	14	428
Z 65	700	52,8	41,3	1,7	319	TE
Z 66	300	45,9	49,1	1,6	26	144
Z 67	200	47,2	43,6	1,9	66	58
Z 68	300	49,6	44,5	1,3	91	TE
Z 69	800	57,2	45,4	0,2	114	112
Z 70	500	59,3	44,1	0,3	177	127
Z 71	1300	58,4	45,4	0,3	134	94
Z 72	600	59	44,5	0,3	215	40
Z 73	1000	58,3	46	0,2	113	98
Z 74	100	27,2	22,8	8,3	4	TE
Z 75	200	41,3	33,7	2,7	4	TE
Z 76	200	51,8	41	1	5	TE
Z 77	TE	52,2	32,5	2	4	TE

Ölçüm noktalarından elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 6.2'de verilerin tanımlayıcı istatistik parametreleri sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Deponi gazı debi ve kalite parametreleri tanımlayıcı istatistikleri.

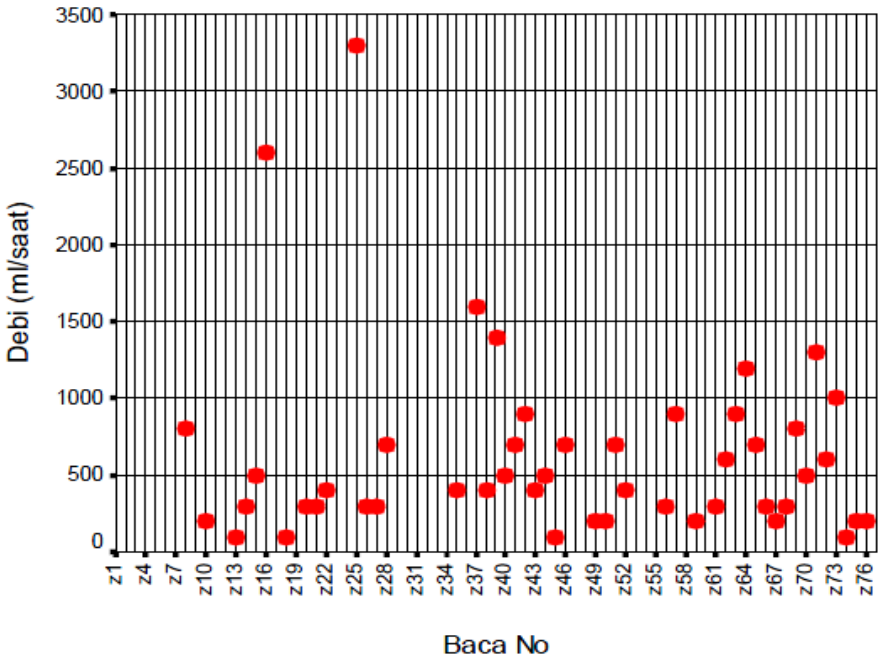
	Debi (ml/saat)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	H_2S * (ppm)	CO* (ppm)
Ortalama	623	49,51	37,9	3	168	137
Medyan	400	55,6	42,4	1,1	105	59
Standart sapma	610	14,8	11,3	4,9	176	176
Minimum	100	2,4	0,2	0,1	0	0
Maksimum	3300	64,5	49,9	20,6	530	530
Gözlem yapılan baca sayısı (adet)	48	77	77	77	74	36

***:** Grafiksel gösterimler ve istatistiksel hesaplamalarda >530 ppm değerleri, 530 ppm olarak kabul edilmiştir.

6.3.1.1. Deponi Gazı Debisi

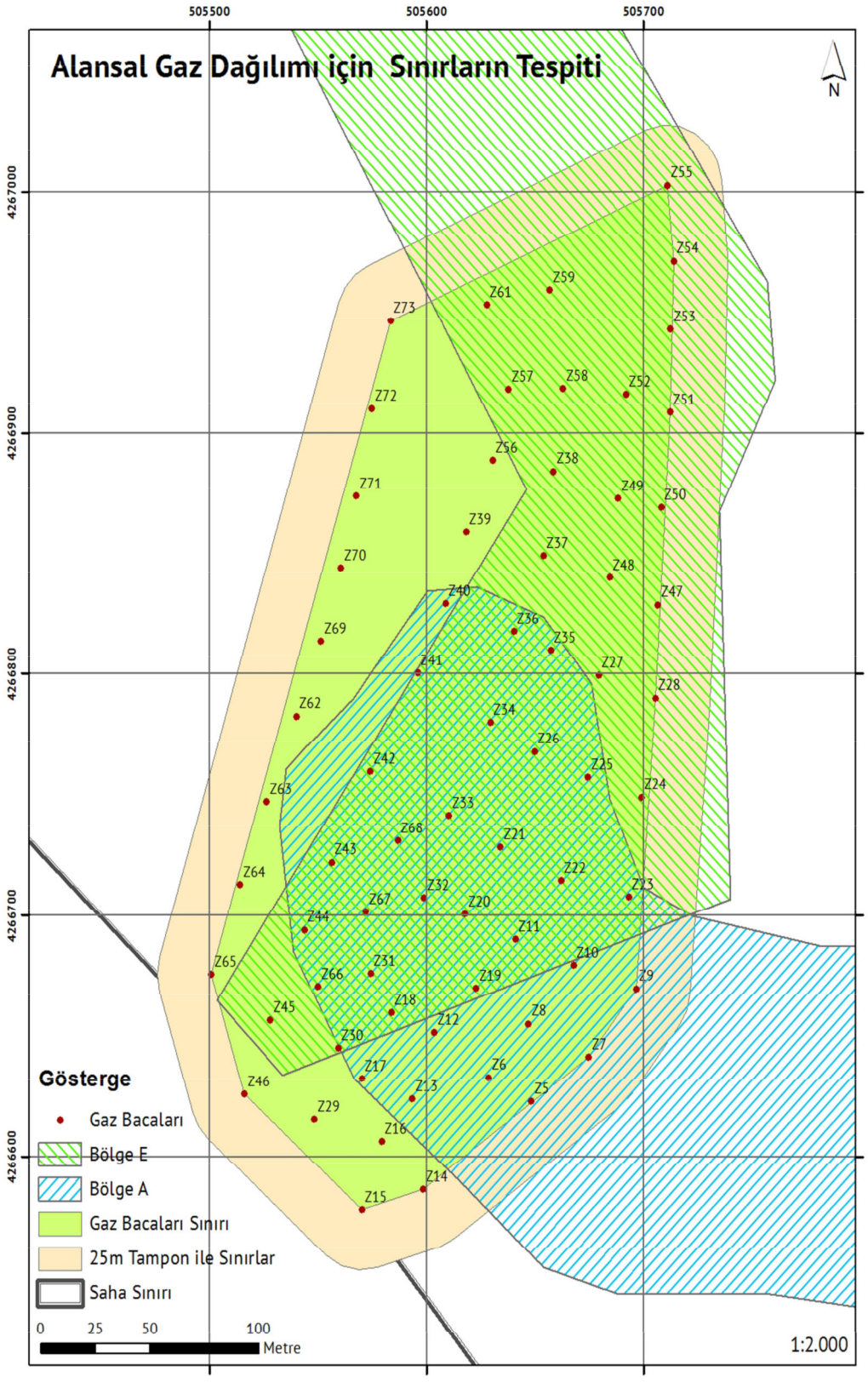
Çizelge 6.2'de belirtildiği gibi deponi gazı debi verileri, 48 adet gaz bacasından elde edilmiştir. Bunun dışındaki gaz bacalarında, kullanılan ekipmanın hassasiyet derecesine bağlı olarak herhangi bir veri elde edilememiş, gaz çıkışı tespit edilememiştir.

Deponi gazı debisine ilişkin ölçüm sonuçları, Şekil 6.28'de verilmiştir. Şekil 6.28 ve Çizelge 6.2'nin incelenmesinin ardından gaz debi değerinin 100-3300 ml/saat/baca arasında değiştiği, ortalama gaz debi değerinin 623 ml/saat/baca olarak hesaplandığı ortaya çıkmaktadır.

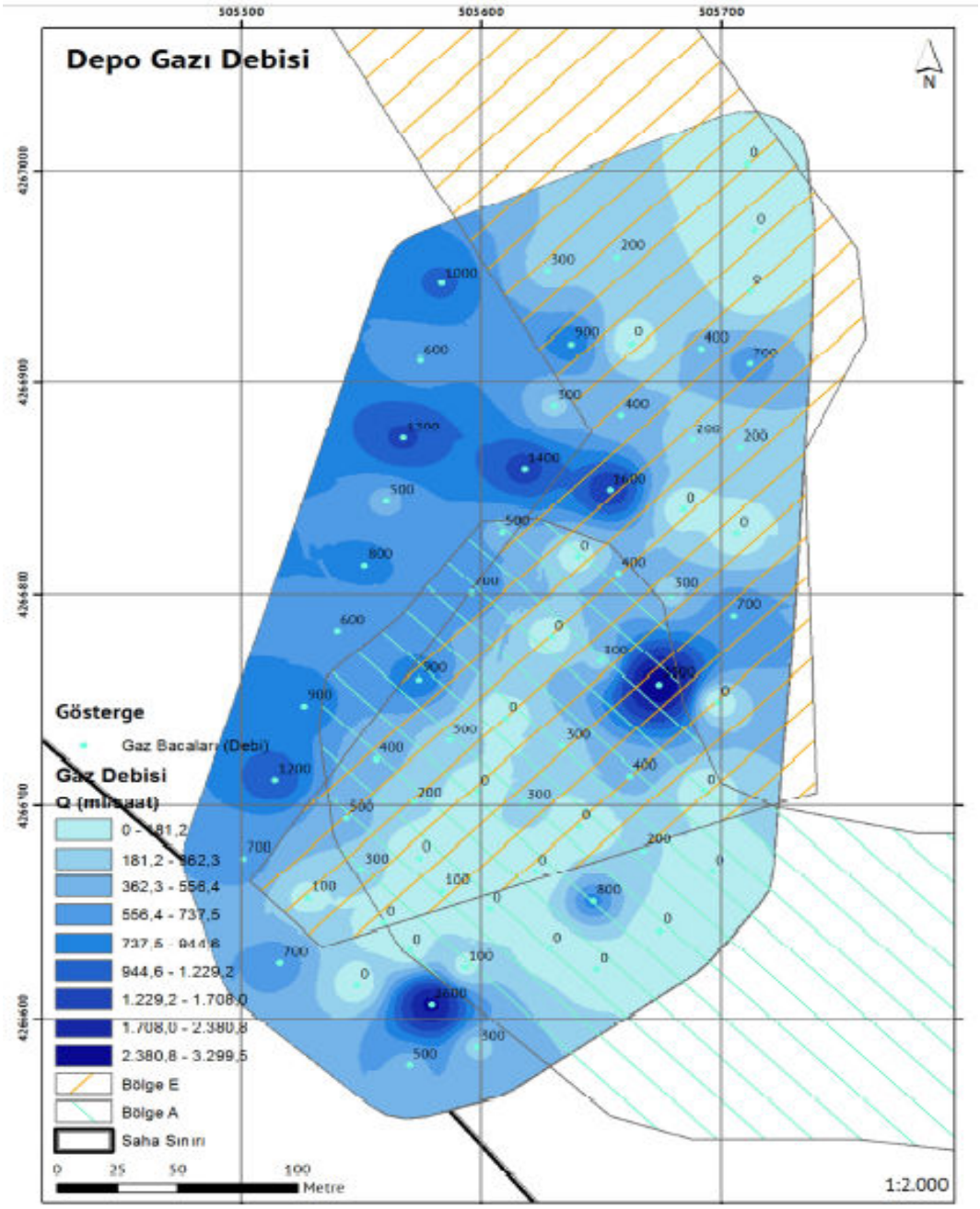


Şekil 6.28. Deponi gazı bacalarında gözlenen gaz debi değerlerinin dağılımı, 2011.

Ölçümü gerçekleştirilen deponi gazı debilerinin alansal dağılımı, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS - GIS) ile belirlenmiştir (Şekil 6.29). Ölçüm verilerinin değerlendirmesi amacıyla oluşturulan alansal dağılımı gösteren şekillerde, CBS için esas alınan alan sınırları ile projede incelemeye esas olan lot sınırları işin fiziksel ve işlevsel niteliği nedeniyle farklıdır. Şekil 6.29'da baca ölçümleri esas alınarak alansal dağılım haritalarını oluştururken sınırların tespitinde kullanılan alanlar gösterilmiştir. Burada tanımlanan sınırlar, bu bölümde yapılan tüm alansal dağılım çalışmalarında kullanılmıştır. Bu prensiple deponi gazı miktarlarının alansal dağılımı çıkartılmış olup, Şekil 6.30'da verilmektedir.



Şekil 6.29. CBS için esas alınan sınırlar, 2011.



Şekil 6.30. Deponi gazı gaz debisinin alansal dağılımı, 2011.

Çizelge 6.1'den anlaşılacağı üzere toplam 77 adet bacadan 48 tanesinde debi ölçümü yapılabilmiş ve bu gaz bacalarının gaz ortalaması 623 ml/saat/baca olarak hesaplanmıştır.

Kabaca bir hesaplama yapacak olursak, çalışma yaptığımız alanda yılda ortalama 400 m^3 deponi gazı potansiyelinden söz edebiliriz. Depolanan atığın gaz oluşturma süresi göz önüne alındığında (20-30 yıl), bu değerin yaklaşık 8000 - 12000 m^3 deponi gazı olabileceği hesaplanmıştır.

HDDA'da saha üst örtüsünün geçirimsizliği (yeteri derecede örtülememesi), deponi gaz bacalarının yerleşimi ve alandaki atıkları sıkıştırma gibi nedenlerden dolayı deponi gazındaki beklenen miktar ortaya çıkmayabilir.

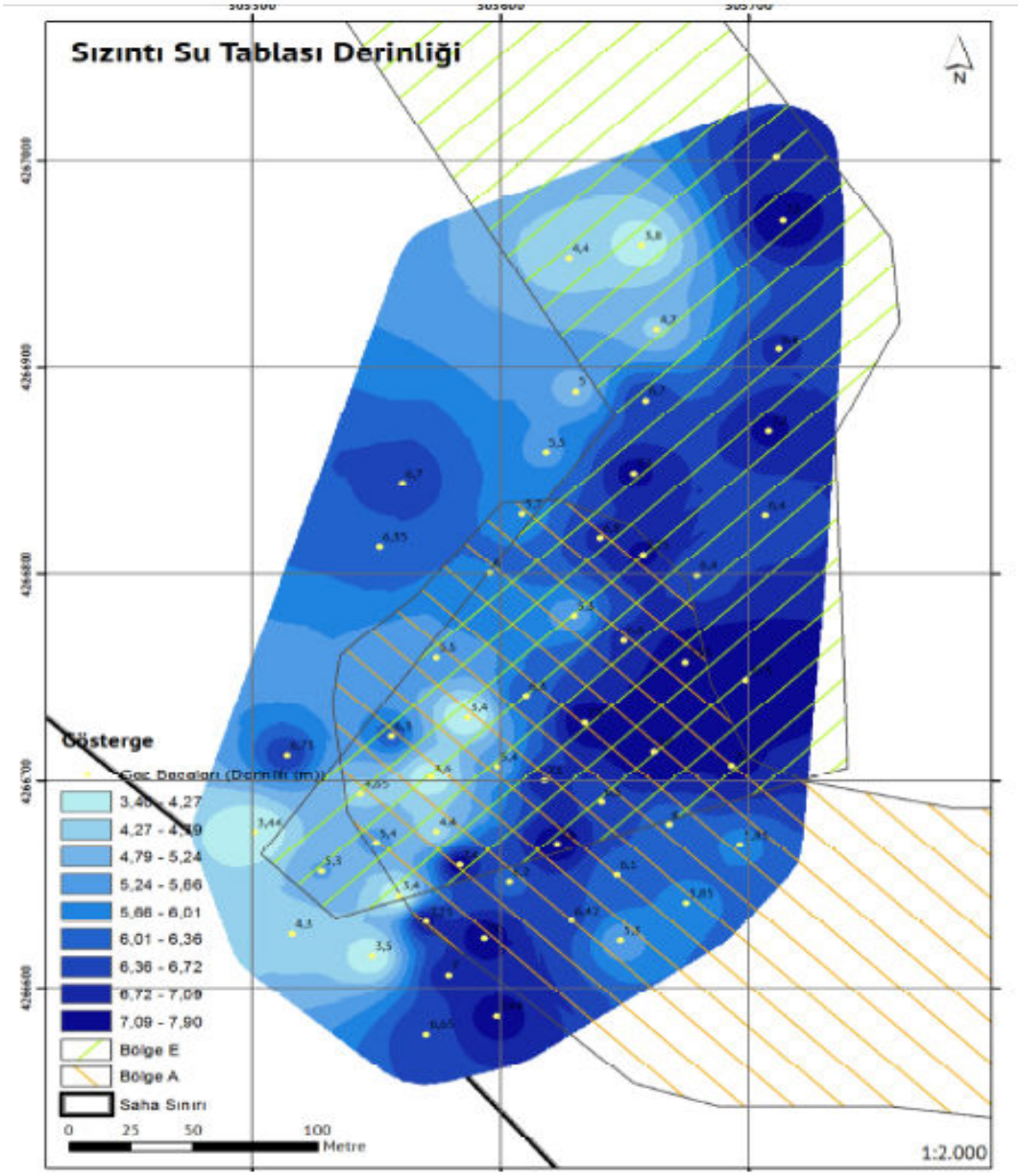
2005 yılında planlanmış ve yapılmış olan sızıntı suyu drenaj sistemi, iç kaymalarla tahrip olması ve dolgu aralarına kalın vaziyette killi ara örtü nedeniyle verimli drenaj yapılamamıştır. Mevcut gaz bacalarından ve jeofizik ölçümlerden, sızıntı suyunun dolgu yüzeyine kadar yükselmiş olduğu gözlenmiştir.

Sahadaki sızıntı suyu oranının çok yüksek seviyede olması, deponi gazı baca çıkışlarında gaz debisinin ölçümünün engellendiğini düşündürmektedir. Çünkü baca kesitinde yer alan ve deponi gazının yüzeye çıkmasına olanak veren HDPE perfore boruların delikli kısmı (HDPE perfore boruların kuyu içinde kalan kısmının ilk 6,5 metresi deliklidir) sızıntı suyu içinde kalmış olup, bu nedenle bacalardan gaz toplanamamış ve gaz debisinin ölçümü yapılamamıştır (toplam 29 baca).

Gaz debisi olmayan bacalar ile bacalarda biriken sızıntı suyu derinliği arasındaki ilişkiyi bulabilmek amacıyla E bölgesi ve E-A bölgelerinin kesişim yerlerinde sızıntı suyu derinliği haritası oluşturulmuştur. Şekil 6.31'de bacalarda biriken sızıntı suyu tablası derinlikleri gösterilmiştir. Şekil 6.31 incelendiğinde; alanda sızıntı suyunun 3,40 metreden sonra görülmeye başladığı ve kuyu içine yerleştirilen HDPE perfore boruların boyları düşünüldüğünde, bu durum bacalarda biriken sızıntı sularının deponi gazının baca içinden geçip yüzeye çıkmasına direnç oluşturduğu düşünülmektedir.

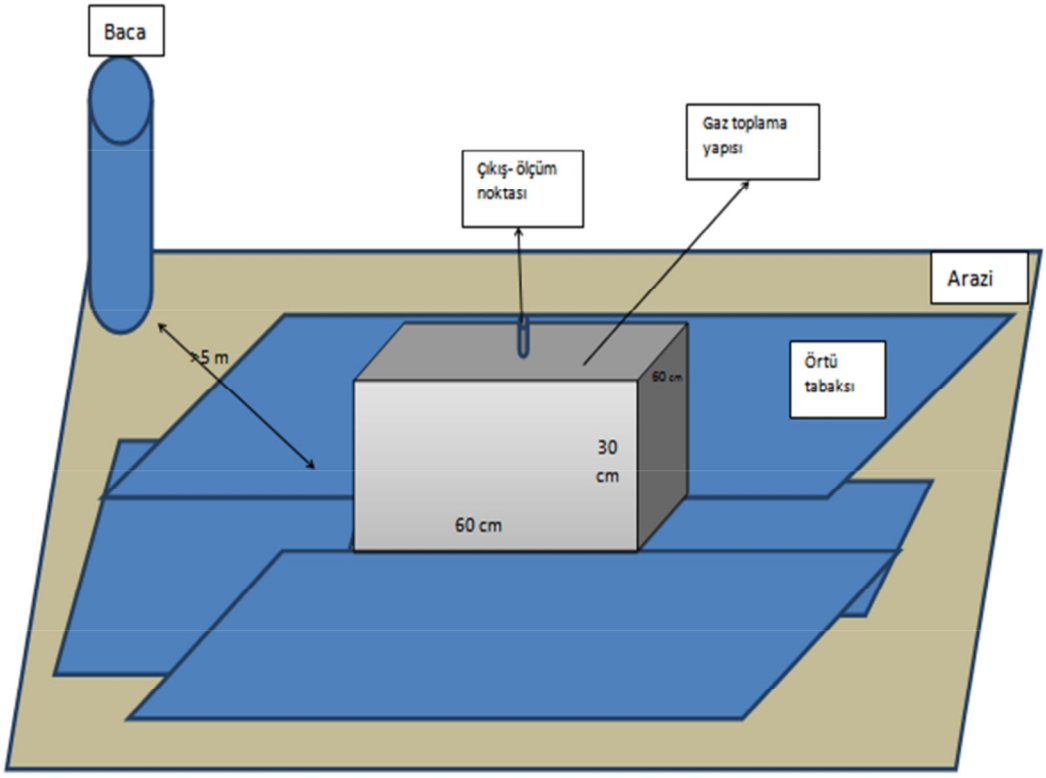
Oluşan deponi gazı, baca içerinden geçmek yerine atık katmanları içinde direnç oluşturmayan noktalardan alansal olarak atmosfere dağılmaktadır (üst örtü katmanının iyi örtülememesi, gaz borusunun yüzeye yakın kısımlarında beton örtünün olmaması nedeniyle). Yaklaşık dört milyon ton çöpün depolandığı bölgede, bacalardan beklenen gaz çıkışı gerçekleşmemesi, alansal gaz çıkışı olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

Alandan çıkan gazın varlığını saptayabilmek amacıyla Şekil 6.32'de verilen düzenek kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Örtü tabakasının düzensiz ve toprak kaymalarının olduğu yüzeylerdeki ölçümlerde %22 CH_4, %16 CO_2 ve 143 ppm H_2S gazı varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.31. E Bölgesi ve E-A Bölgeleri kesişim yerlerinde biriken sızıntı suyu tablası derinlikleri.

Bu durum, bacada elde edilen gaz değerlerine yakın konsantrasyonlardaki deponi gazı varlığının depolama alanı yüzeyinde bulunduğunu göstermektedir. Mevcut arazi koşullarında alanda yer alan yarıklar, örtü tabakasının uygun geçirimsizliği sağlamaması gibi nedenlerden dolayı alansal gaz çıkışı gerçekleşmektedir. Buna karşın, yüzeyde kaymaların olmadığı geçirimsiz örtü tabakasının uyun olduğu düşünülen bir noktada ölçüm yapılmış ve deponi gazı tespit edilmemiştir.



Şekil 6.32. Deponi gazının alansal kayıp miktarının belirlenmesi, 2011.

6.3.1.2. Deponi Gazı Bileşenleri

Çizelge 6.1 incelendiğinde, CH_4 oranlarının %2,4-61,9 arasında olduğu, inceleme yaptığımız 77 adet baca düşünüldüğünde ise, CH_4 ortalaması %49,51'tir. Gaz debisinin tespit edilemediği bacaları ayıracak olursak, 48 adet bacanın CH_4 ortalaması %54,65'tir. Bu değer literatür esaslı bilgilere göre iyi bir CH_4 oranıdır.

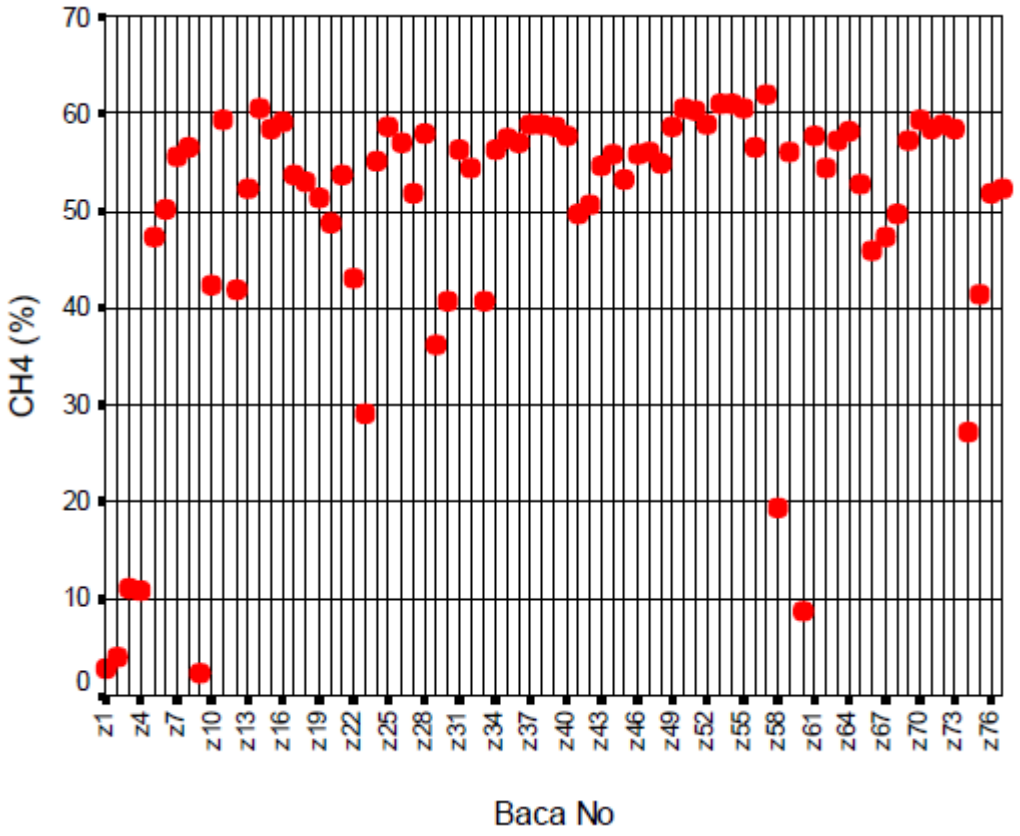
Deponi alanındaki diğer bir önemli gaz bileşeni olan CO_2 gazı yüzdesi 0,2 – 49,9 arasında ölçülmüş olup, 77 adet baca ölçüm sonuçlarının ortalaması ise, %37,9'dur. Gaz debisinin tespit edilemediği bacalar haricinde yapılan 48 adet bacanın CO_2 gazı ortalaması %42,15'tir. Metan gazında olduğu gibi karbondioksit gazında da bulunan oran literatür esaslı iyi bir oran olup, değerlendirilebilecek seviyelerdedir.

Ölçüm yapılan bölgede bacalardaki oksijen gazı oranının %0,1-20,6 değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Oksijen gazının yüksek olduğu bacalarda metan gazı oranlarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu, oksijenin çöp sahası içindeki bakteri üremesi ile ters orantılı olmasından kaynaklanır. Dolayısıyla oksijen gazının yüksek olduğu yerlerde metan gazı oluşturacak

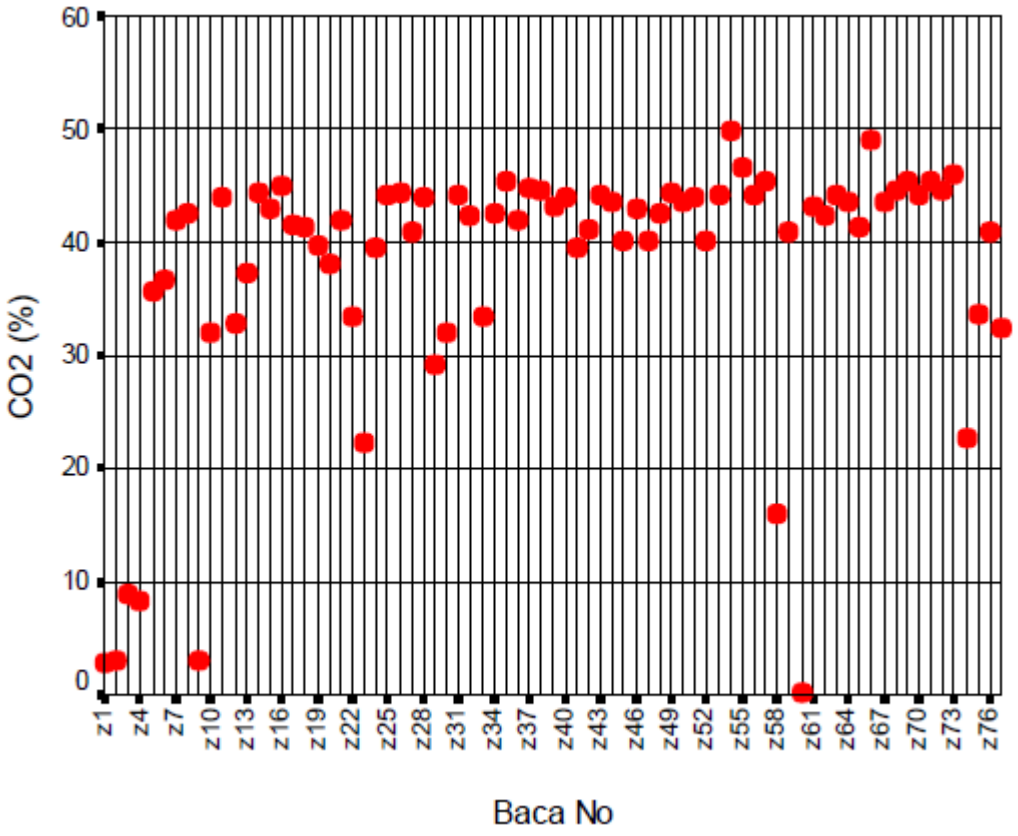
bakteriler az sayıda yer almaktadır. Diğer yandan oksijen miktarı, deponi alanının atmosfer ile ne kadar irtibatlı olduğunu göstermektedir.

Ölçüm yapılan diğer gazlarla ilgili olarak; hidrojen sülfür gazının 0-546 ppm arasında değiştiği tespit edilmiş olup, ortalama değeri 168 ppm olarak hesaplanmıştır. Karbon monoksit gazı değişim aralığı ise 0-530 ppm, ortalama değeri 136 ppm'dir.

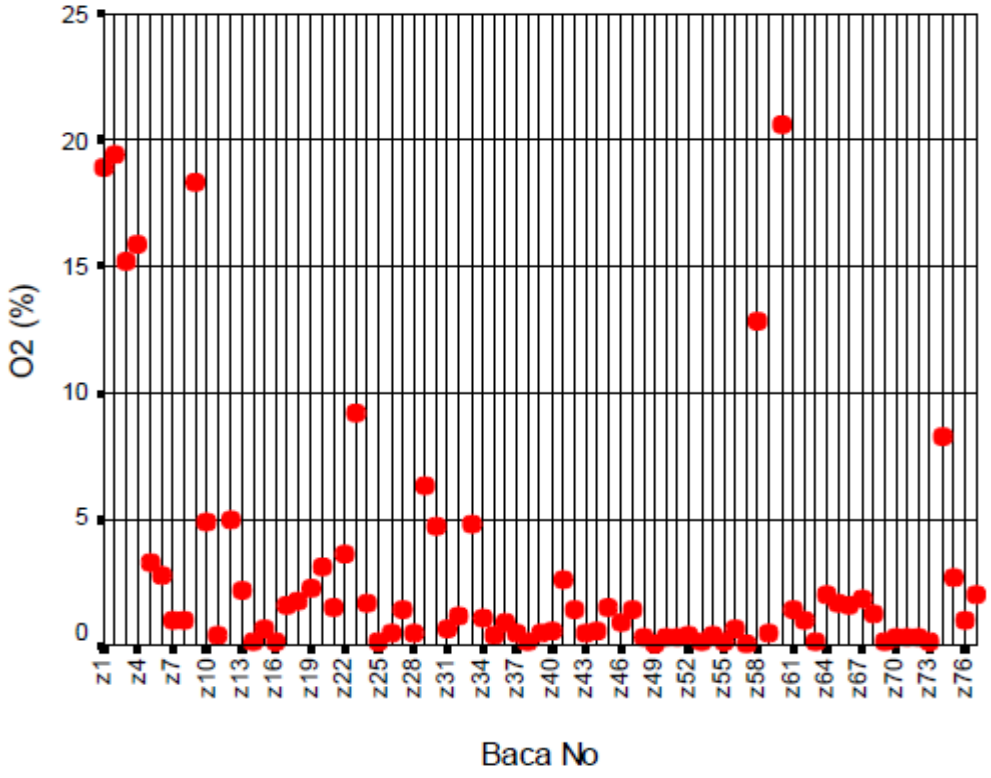
Şekil 6.33-6.37'de, yapılan deponi gazı ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimleri sunulmuştur.



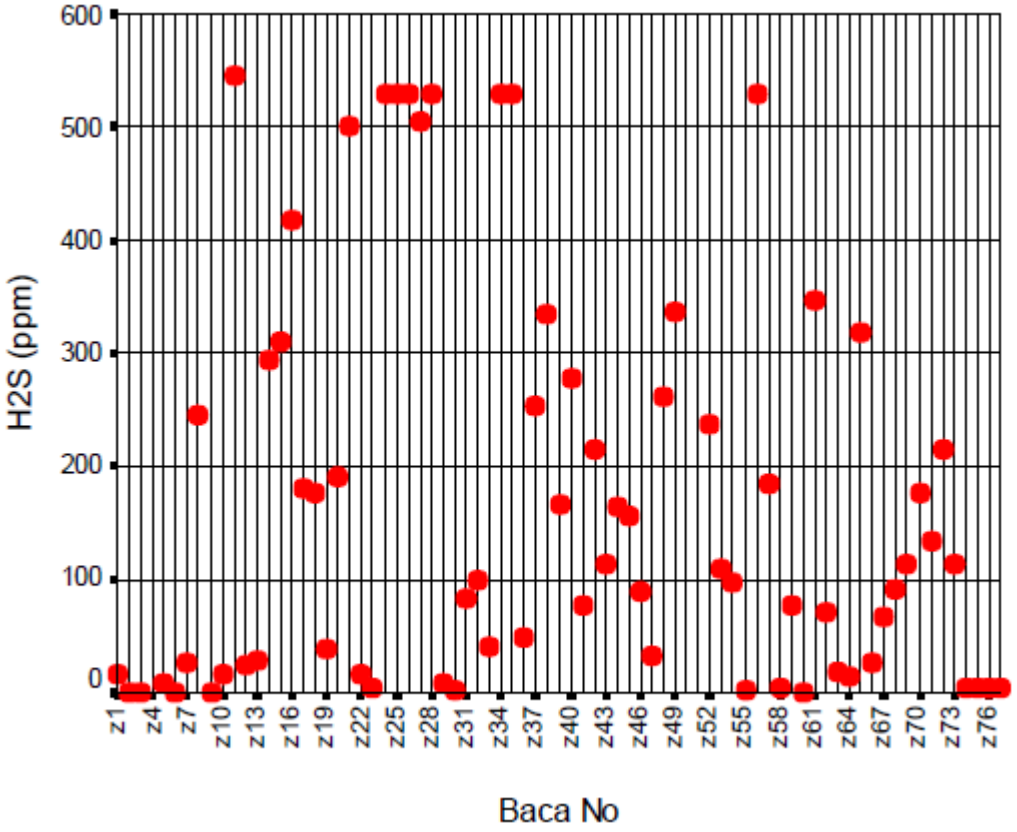
Şekil 6.33. Bacalarda gözlenen CH_4 (%) değerleri, 2011.



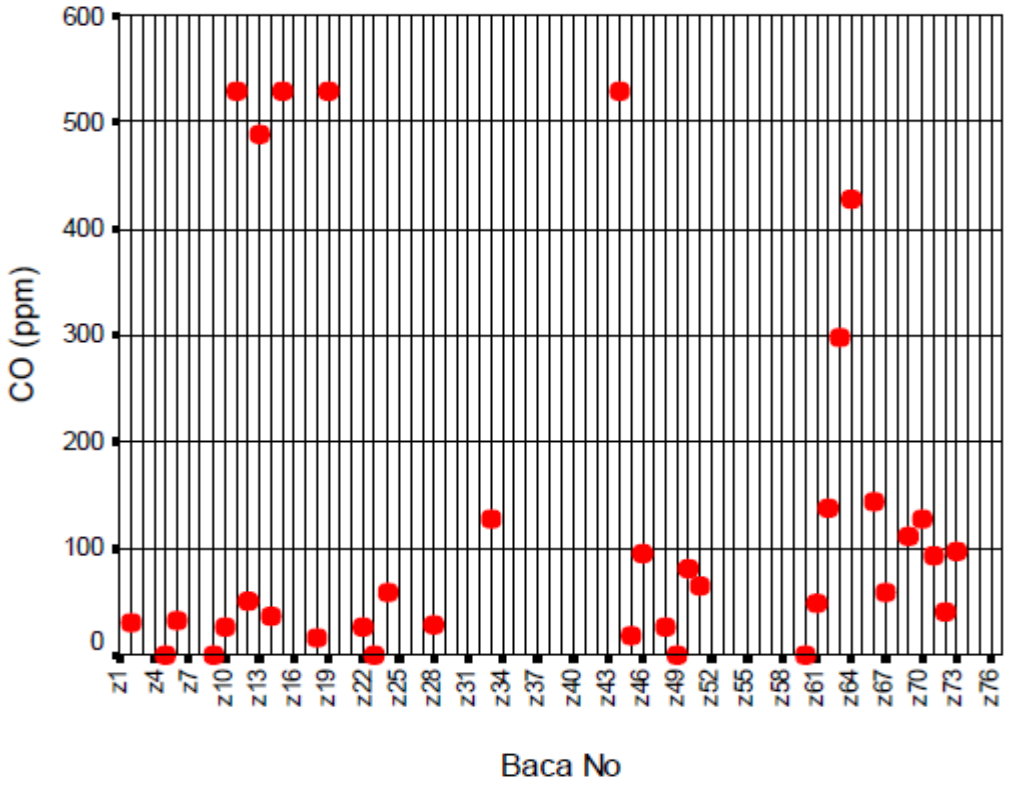
Şekil 6.34. Bacalarda gözlenen CO_2 (%) değerleri, 2011.



Şekil 6.35. Bacalarda gözlenen O_2 (%) değerleri, 2011.

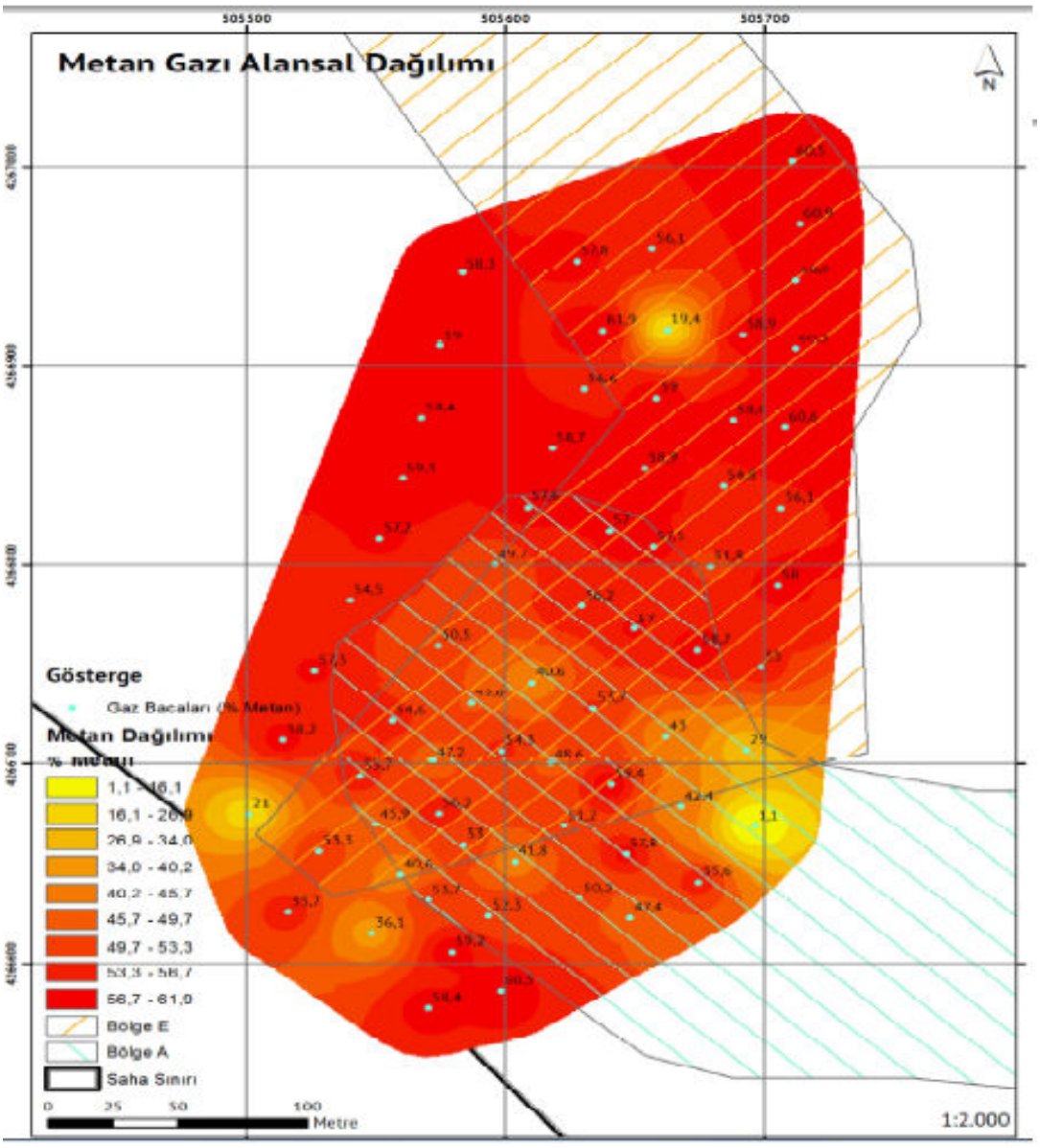


Şekil 6.36. Bacalarda gözlenen H_2S (ppm) değerleri, 2011.



Şekil 6.37. Bacalarda gözlenen CO (ppm) değerleri, 2011.

Bacalardan çıkan sonuçları dikkate alarak E lotuna ait elde edilen metan gazı sonuçları ile metan yoğunluk haritası çıkartılmıştır (Şekil 6.38). Metan dağılımı incelendiğinde daha yeni döküm yapılan alanda metan yoğunluğunun bölgesel olarak daha homojen olduğu görülmektedir. İlk depolamanın yapıldığı alanlarda ise daha düşük değerlerde ve homojen olmayan bir metan yoğunluğu vardır. Bu noktalarda metan gazı yoğunluğunun düşük çıkması, deponi gazı tahliye bacalarının imalatı, alana yerleştirilmesi, kaymaların yaşanması ve sızıntı suyu birikmesi gibi sorunlardan kaynaklı olduğu söylenebilir. Ayrıca, yola yakın noktalarda açılan bacalarda ölçüm değerlerinin düşük olması gazın hareketi nedeniyle beklenen bir durumdur (Yüksek basınçtan düşük basınca hareket).



Şekil 6.38. E Lotu metan gazı alansal dağılımı, 2011.

7. HDDA DEPONİ GAZI MODELLEME ÇALIŞMALARI

7.1. Modelleme Çalışmaları

Düzenli katı atık depolama alanlarındaki enerji potansiyelinin belirlenmesinde en önemli faktör, deponi alanından elde edilen metan gazı miktarıdır. Deponi gazını miktarını tespit etmede kullanılan çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlardan güvenirliği yüksek olanı, çalışma yapılacak sahanın genelini temsil edecek şekilde sistematik test kuyuları açmaktır. Test kuyularından çıkan gaz miktarı ölçülerek, çalışma sahası gaz potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Bölüm 6'da belirtildiği gibi, HDDA'da yapılan gaz ölçümlerinde gaz debisinin, saha genelindeki potansiyeli belirlemede yetersiz olduğu, bunun çeşitli sebeplerden kaynaklandığı vurgulanmıştı. Bu nedenle HDDA gaz potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunması amacıyla teorik tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Ölçüme dayalı yaklaşım dışındaki tüm yaklaşımlar, saha ile ilgili mevcut verileri esas almaktadır. Bu veriler, depolanan çöpün yıllara göre miktarı, atık karakteristiği, sahanın işletilme süresi vd.'dir. Model hesaplamalarında kullanılan L_o, DOC, DOC_f vb. değerleri, Bölüm 4.1.13'de bahsedilen evsel katı atığın spesifik özellikleri dikkate alınarak vurgulanmıştı.

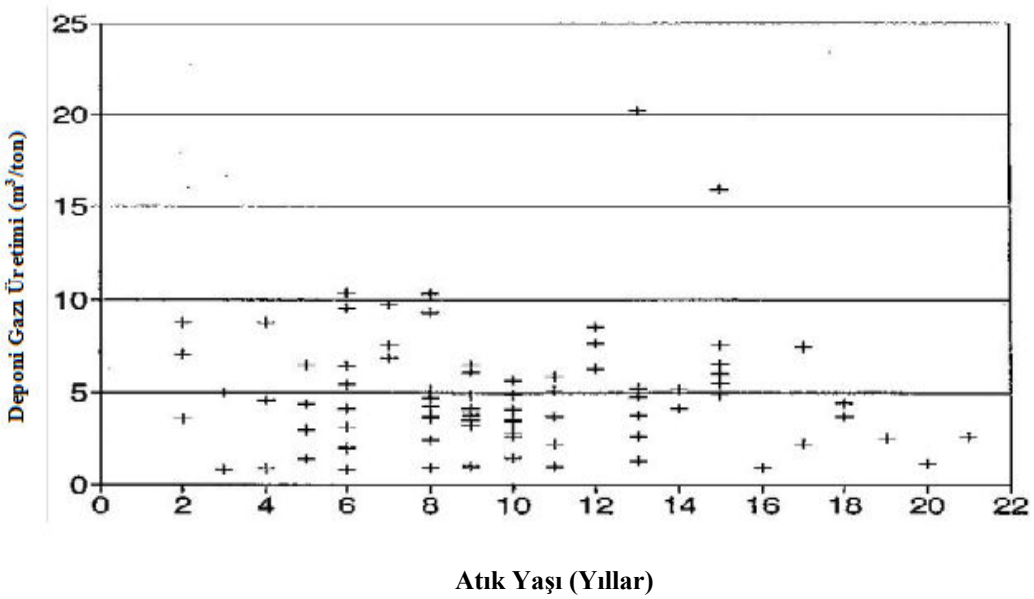
7.1.1. Literatür Esaslı Yaklaşık Tahmin

Oluşan deponi gazı miktarı, depolanan atıkların bozunma sürecinin çeşitli çevresel faktörlere ve deponi alanının uygun standartlara göre inşa edilip-edilmediğine göre değişmesi nedeniyle sahadan sahaya farklılık gösterir. Toplanan gazın miktarı, dökülen atık miktarı, atıkların kompozisyonu, atık su içeriği, tesis ve toplama sisteminin tasarımı gibi birçok etkene bağlıdır.

Gendebien vd. (1991) yaptıkları bir çalışmada, bir deponi alanında 1975-1990 yılları arasında üretilen deponi gazı miktarının 60-400 m^3/ton arasında değiştiği ve sürecin 50-100 yıl devam edeceği vurgulanmıştır.

Uzun yıllar yapılan araştırma ve tahkikatlar sonucu, gerçek bir gaz toplama periyodu 40-80 yıl sürmekte ve ton başına üretilen deponi gazı miktarı 50-100 m^3 olmaktadır (Terraza and Willumsen, 2009).

Willumsen, et al.'nın (1991) yaptıkları bir çalışmada, 1990 yılında, yaklaşık 250 deponi tesisi hakkında bilgi toplandı. Şekil 7.1'de, 86 deponi tesisinden ilk 5 yıllık süreç boyunca, ton başına atık miktarından ortalama 5 m^3 deponi gazının çıktığı görülmektedir.



Şekil 7.1. Dünya genelinde 86 deponi tesisinin atık yaşı ve deponi gazı üretim oranları (Terraza and Willumsen, 2009).

Bu veriler ışığında, yıllık atık ton başına üretilecek deponi gazı miktarını 5 m^3 alınabilir. Buna göre depolama sahasının işletim ömrü boyunca üretilecek gaz miktarının 35-140 m^3/ton atık arasında olabileceği söylenebilir.

Tam ölçekli katı atık sahaları için çıkabilecek teorik deponi gazı (LFG) miktarıyla ilgili olarak 50-400 L/kg (m^3/ton) aralığı verilmiştir (Ham and Barlaz, 1987). Verilen aralığın bu kadar geniş olması (minimum ve maksimum değerler arası 8 kat fark bulunmaktadır) yukarıda belirtildiği gibi çöp karakteristiği, iklim ve depolama sahasına özgü diğer özelliklerin çıkacak gaz miktarını etkilediğinin bir başka göstergesidir.

Yukarıda verilen sayılar HDDA özelinde kullanıldığında, E Bölgesi'nde depolanan yaklaşık 4 milyon ton çöp için çıkacak gaz potansiyelinin 200-1.600 milyon metreküp arasında değişebileceği söylenebilir.

7.1.2. Tabasaran/Rettenberger Modeli ile Tahmin

Gaz üretiminin hesabı için Tabasaran ve Rettenberger (1987) tarafından geliştirilen matematik model ile belli bir zaman süresince üretilen gaz miktarı kümülatif olarak belirlenmektedir. Model bağıntısı Denklem (7.1)'de verildiği gibidir.

$$G_t = 1{,}868 \times C_{org} \times (0{,}014T + 0{,}28) \times (1 - 10^{-kt}) \times M_t \quad (7.1)$$

Bağıntıda;

G_t: t. yıla kadar üretilen gaz miktarı (Nm^3)

C_{org}: Organik karbon içeriği (kg/ton atık)

T: Sıcaklık (^oC)

t: İlk atık depolama yılından başlayarak geçen süre (yıl)

k: Deponi gazı oluşum hızı sabiti ($yıl^{-1}$)

M_t: t. yılda depolanan atık miktarı (ton) olarak tanımlanmaktadır.

Modelin uygulanmasında en önemli husus, değişkenlere ait kabullerin belirlenmesidir. Tabasaran/Rettenberger modelinde, parametreler Almanya şartlarına göre ortaya konmuştur. Önerilen değişkenler de yine aynı şartlar için geçerlidir. Dolayısıyla, bu tür bir modelin Türkiye'de "karar destek sistemi" olarak kullanılması için mutlaka model kalibrasyonunun ve verifikasyonun yapılması şarttır.

Çalışma kapsamında, yukarıda belirtilen sakıncalar göz önünde bulundurulup, Tabasaran/Rettenberger modeline ait parametre ve değişkenler kullanılarak, HDDA özelinde uygulanmıştır. Modelin çalıştırılması için depolanan çöpün organik karbon içeriği (C_{org}) 170 kg/ton atık, sıcaklık 35^oC, deponi gazı oluşum hız sabiti (k) 0,05 $yıl^{-1}$ olarak kabul edilmiştir.

7.1.2.1. Tabasaran/Rettenberger Modeli Tahmin Sonuçları

Bu model, depolanan atık kütlesini ve bu kütledeki karbon içeriğini esas alarak, yıl bazında oluşan gaz miktarını hesaplamaktadır. Hesaplarda, 2007–2010 yılları arasında depolama yapıldığı (toplam 4 yıl), 2010 yılından sonra depolama yapılmayacağı kabul edilmiştir. Bu sınır şartlarına göre; deponi gazı oluşum değerleri, 2050 yılına kadar olan süre için yıl bazında hesaplanarak Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Tabasaran/Rettenberger modeline göre HDDA'da oluşan gaz miktarı.

Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)
2008	21431619,34	2023	18042616,91	2038	3208481,41
2009	66138675,70	2024	16080499,25	2039	2859562,07
2010	110787838,90	2025	14331760,04	2040	2548587,37
2011	145952610,70	2026	12773194,58	2041	2271430,89
2012	64017620,57	2027	11384121,65	2042	2024414,91
2013	57055764,39	2028	10146109,10	2043	1804261,69
2014	50851003,54	2029	9042729,25	2044	1608049,92
2015	45321004,61	2030	8059340,93	2045	1433176,00
2016	40392387,88	2031	7182895,16	2046	1277319,45
2017	35999753,59	2032	6401762,05	2047	1138412,16
2018	32084814,16	2033	5705576,44	2048	1014610,91
2019	28595620,72	2034	5085100,35	2049	904272,90
2020	25485873,79	2035	4532100,46	2050	805934,09
2021	22714308,93	2036	4039238,78	Toplam	926.378.580,20
2022	20244149,14	2037	3599975,35		

7.1.3. Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli ile Tahmin

Deponi gazı oluşumunun tahmin edilmesi için kullanılan modellerden biri de multi-phase (çoklu-faz) modelidir. Model, Hollanda'daki katı atık tesisleri için geliştirilmiş olup, atık içindeki biyolojik ayrışabilen organik karbon oranı ve kümülatif atık miktarını esas alarak hesaplama yapmaktadır. Modelin matematiksel ifadesi, Denklem (7.2) ile verildiği gibidir.

$$\alpha_t = \varsigma \sum_{i=1}^{3} 1{,}87\, AC_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i}t} \tag{7.2}$$

Denklem (7.2)'yi oluşturan parametrelerin açıklamaları aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir.

α_t: Deponi gazı oluşum miktarı (Nm^3/yıl),

ς: Üretim faktörü,

A: Atık miktarı (ton),

$C_{o,i}$: Organik karbon miktarı (kg C/ ton atık),

$k_{1,i}$: Model değişkenleri (yavaş, orta ve hızlı parçalanma için ayrı ayrı verilir),

t: Atığın depolanmaya başladığı ilk yıldan başlayarak geçen süre (yıl).

Modelde sadece hızlı, orta ve yavaş parçalanabilir organik atıklar hesaba katılmıştır. Modelde atık içindeki parçalanabilir atık türleri, parçalanma hızlarına göre üç grupta ele alınmaktadır. Literatürde hızlı parçalanabilen atıklar için $k_{t,i}$: 0,076-0,694 $yıl^{-1}$, orta hızla parçalanan atıklar için $k_{t,i}$: 0,046- 0,116 $yıl^{-1}$, yavaş parçalanan atıklar için $k_{t,i}$: 0,013-0.076 $yıl^{-1}$ arasında kabul edilebileceği ifade edilmektedir (Jacobs J., and Scharff H.; Kalaman, et al., 2011). Multi-phase modelinde tahmini oluşacak deponi gazı miktarı, farklı parçalanma hızlarındaki atık miktarlarının kümülatif toplamı ile elde edilir.

Kentsel katı atıklar, %40-50 selüloz, %10-15 lignin, %12 hemiselüloz ve %4 protein içermektedir (Booker and Ham, 1982). Selüloz ve hemiselüloz hızlı parçalanabilirken lignin, anaerobik koşullarda parçalanmaya engeldir (Young and Frazer, 1987). Selüloz ve hemiselüloz mutfak atıkları ve bahçe atıklarında bulunurlar ve anaerobik koşullar altında kolayca biyolojik olarak parçalanabilirler. Lignin ise, odun, kâğıt ve kağıt türevi ürünlerde (Gazete, dergi vb.) bulunur ve anaerobik koşullar altında biyolojik parçalanmayı zorlaştırır (Thompson et al. 2009).

Çalışma kapsamında, bu bilgiler ışığında, ölçümleme ve verifikasyon ile ilgili belirtilen sakıncalar göz önünde bulundurularak, multi-phase modeline ait parametre ve değişkenler kullanılarak, HDDA özelinde uygulanmıştır. Modelin çalıştırılması için üretim faktörü (ς) 0,58; depolanan atığın içindeki organik karbon miktarı (C_o) 170 kg/ton atık; deponi gazı oluşum hız sabiti ($k_{t,i}$) hızlı, orta ve yavaş parçalanabilir atıklar için sırasıyla $k_{t,i}$: 0,185 $yıl^{-1}$, $k_{t,i}$: 0,100 $yıl^{-1}$, $k_{t,i}$:0.030 $yıl^{-1}$olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda evsel katı atık içindeki organik atıklara ait özellikler de hesaplamalara dahil edilmiş olup, Çizelge 7.2'de özet olarak sunulmuştur. Çizelge 7.2'deki Fraksiyon-1, HDDA'daki hızlı

parçalanabilir organik atıklar olan mutfak atıkları oranını, Fraksiyon-2, HDDA'daki orta hızda parçalanabilir park-bahçe atıklarını ve Fraksiyon-3 ise, HDDA'daki yavaş parçalanan kağıt ve türevi atıklarını yansıtmaktadır.

Çizelge 7.2. Evsel katı atıktaki organik atıkların farklı hızlardaki parçalanma oranları.

Kategori	Fraksiyon-1 (Hızlı parçalanma)	Fraksiyon-2 (Orta hızda parçalanma)	Fraksiyon-3 (Yavaş parçalanma)
Evsel Atık Bileşeni (%)	45	3	12
Hız Sabiti (k)	0,185	0,100	0,030

7.1.3.1. Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli Tahmin Sonuçları

Modelde çöp döküm süreleri, 2007–2010 sonu olmak üzere toplam 4 yıl alınmış, 2010 yılından sonra depolama yapılmayacağı kabul edilmiştir. Bu sınır şartlarına göre; 2050 yılına kadar yıllık bazda deponi gazı oluşum değerleri, Çizelge 7.3'de verilmiştir. Çizelge 7.3'de verilen yıllık gaz miktarlarının toplanmasıyla, 2050 yılına kadar oluşabilecek gaz miktarının yaklaşık 290 milyon m^3 mertebesinde olabileceği bulunmuştur.

Bu değer, Tabasaran/Rettenberger modelinde olduğu gibi, literatür esaslı yaklaşım ile bulunan (Bölüm 7.1.1.) 200-1.600 milyon m^3 değerleri arasında kalmaktadır. Deponi gazındaki metan oranının %50 kabul edilmesi durumunda gazın enerjiye dönüşmesini esas alan metan gazı miktarının 145 milyon m^3 civarında olabileceği söylenebilir.

Çizelge 7.3. Multi-Phase (Çoklu-Faz) modeli ile HDDA'nda oluşan gaz potansiyeli.

Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)
2008	11204402,25	2023	5028217,45	2038	1283579,34
2009	20339111,50	2024	4428763,76	2039	1213038,86
2010	27299163,36	2025	3921111,47	2040	1149630,07
2011	31604624,37	2026	3490231,00	2041	1092333,55
2012	26684051,55	2027	3123598,45	2042	1040292,45
2013	22575365,10	2028	2810775,21	2043	992785,67
2014	19142658,95	2029	2543058,24	2044	949205,56
2015	16272882,99	2030	2313189,15	2045	909039,34
2016	13871991,62	2031	2115112,37	2046	871853,63
2017	11861741,93	2032	1943773,76	2047	837281,44
2018	10177031,91	2033	1794953,28	2048	805011,47
2019	8763687,58	2034	1665125,59	2049	774779,10
2020	7576623,24	2035	1551344,19	2050	746358,83
2021	6578311,87	2036	1451144,89	Toplam	291.897.215,34
2022	5737513,44	2037	1362465,57		

7.1.4. Scholl Canyon Modeli ile Tahmin

1.derece kinetik denklem içeren modeller, deponilerden deponi gazı hesaplamada sıkça kullanılan yaklaşımlardır. Bu modeller, deponi alanlarındaki koşullar hakkında bir dizi varsayıma dayanarak tasarlanmıştır (Esmap, 2004).

Scholl Canyon'da, tek kademeli 1.derece kinetik bir modeldir. Bu model, anaerobik koşulların ve mikrobiyal popülâsyonun oluşması için gerekli olan bir gecikme zamanından sonra biyogaz oluşumunun maksimum hızla başladığını kabul etmektedir (Özaktaç, Ş., 2004). Bu modele ait matematiksel eşitlik Denklem (7.3) ile verilmiştir.

$$Q_{lfg,i} = 2 \times k \times L_0 \times M_i \times e^{-k,t} \tag{7.3}$$

Denklem (7.3)'de belirtilen parametrelere ait bilgiler aşağıda verildiği gibidir.

Q_{lfg}: Yıllık deponi gazı miktarı (Nm^3/yıl)

L_o: Metan üretim potansiyeli (Nm^3 CH_4/ ton atık)

M_i: i. yıldaki depolanan atık miktarı (ton)

k: Metan üretim hızı sabiti ($yıl^{-1}$)

i: 1-yıllık zaman artışı

t: Atığın ilk depolanmaya başladığı yıldan itibaren geçen süre (yıl).

Modelin kullanılabilmesi için, model değişkenlerine ait kabullerin belirlenmesi gerekir. Bunlardan birisi, deponi gazı içindeki metan oranıdır. Model, CO_2 ve CH_4 salımlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir. Bir başka ifade ile deponi gazı miktarının metan salımının iki katı olduğu varsayılmaktadır. (Ayrıca, HDDA'da E Bölgesi'nde yer alan 77 adet bacada yapılan deponi gazı ölçüm sonuçlarına göre metan gazı oranının ortalama %50 olduğu vurgulanmıştı).

HDDA atık kompozisyonu incelendiğinde, atık içeriğinin büyük bir çoğunluğunu yiyecek atıklarının oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu tip atıklar hızlı

bozunmakta, bu nedenle metan üretim hızı (k) yüksek olmaktadır. Projede limitleyici faktörlerin (gaz bacalarının yerleştirilmesindeki problemler, sızıntı suyu drenaj sisteminin olmaması, gaz bacalarında sızıntı suyu birikmesi, yağmur suyu drenaj sisteminin olmaması vb.) bulunmasından dolayı, oluşacak deponi gazı miktarlarının farklı üretim hız sabitleri için ayrı ayrı belirlenmesinin uygun olduğu düşünülmüştür.

HDDA ait metan gazı üretim potansiyelinin belirlenmesinde, Bölüm 4'deki Çizelge 4.24'de yer alan 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarına ait atık kompozisyonunun ortalama verileri kullanılmıştır. Bu veriler temel alınarak alana özgü parçalanabilir organik karbon miktarını (DOC) Denklem (7.4)'e göre hesaplanır.

$$DOC = 0{,}4A + 0{,}16(B + C) + 0{,}3D \quad (7.4)$$

A: Kâğıt, karton, hacimli karton, tekstil vb. oranı (%)

B: Mutfak atıkları oranı (%)

C: Park-bahçe atıkları oranı (%)

D: Odun oranı (%)

Parçalanabilir organik karbon fraksiyonu (DOC_f) ise, Denklem (7.5)'e göre bulunur. Burada, deponi alanının ortalama sıcaklığı için 35^oC değeri kullanılmıştır.

$$DOC_f = 0{,}014 \times T + 0{,}28 \quad (7.5)$$

Alana özgü metan üretim kapasitesini Denklem (7.6)'ya göre buluruz. Denklem (7.6)'yı oluşturan parametrelerden MFC parametre değeri, IPCC 2006 Rehberi kıstas alınarak (Düzenleme depolama alanları için gerekli olan düzeltme faktörü) 1 olarak alınmıştır.

Hacimce metan fraksiyonunun (F) değeri ise, Bölüm 6'da yer alan Çizelge 6.2'deki ortalama metan değeri esas alınarak hesaplanmıştır.

$$Lo = MFC \times DOC \times DOC_f \times F \times 16/12 \quad (7.6)$$

MFC: Düzeltme faktörü

DOC: Parçalanabilir organik karbon miktarı

DOC_f: Parçalanabilir organik karbon fraksiyonu

F: Hacimce metan fraksiyonu (%)

16/12: Moleküler ağırlık oranı, CH_4/C ile açıklanmıştır.

Denklem (7.4) ve Denklem (7.5)'den elde edilen değerlerin Denklem (7.6)'da yerine konulması ve diğer belirtilen parametre değerlerinin de yazılması ile HDDA'na özgü metan üretim potansiyeli 102 m^3 /ton olarak elde edilmiştir.

Modelin çalıştırılması için gerek duyulan bir başka parametre ise depolanan atık miktarıdır. E Bölgesi'nin matematiksel modelleme sürecinde, 2010 yılı sonuna kadar yapılan atık depolama miktarı dikkate alınmıştır. Ayrıca Bölüm 6'da değerlendirildiği ve belirtildiği gibi E Bölgesi ile kesişen A Bölgesi'nin modele etkisi ihmal edilmiş, sadece E Bölgesi verileri hesaplamalara esas alınmıştır. HDDA'da 2007 -2010 yılları arasında E Bölgesi'nde biriktirilen atık miktarları, Bölüm 4'deki Çizelge 4.35'de verilmişti.

7.1.4.1. Scholl Canyon Modeli ile Tahmin Sonuçları

Scholl Canyon modelinin açıklanan veriler doğrultusunda çalıştırılması sonucunda, deponi gazı oluşumunun yıllara göre değerleri, Çizelge 7.4'de verildiği gibidir.

Çizelge 7.4. Scholl Canyon modeli ile HDDA'nda oluşan deponi gazı potansiyeli.

Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)			Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)		
	k=0,35	k=0,1	k=0,05		k=0,35	k=0,1	k=0,05
2008	40551609,16	14876941,96	7819849,54	2030	86933,09	7803875,81	12323072,63
2009	61738730,26	29082845,08	16070757,30	2031	61260,71	7061238,84	11722069,29
2010	69399928,35	41977042,70	24385182,81	2032	43169,70	6389273,12	11150377,22
2011	67180530,30	52175889,92	31863887,93	2033	30421,17	5781253,40	10606566,91
2012	47341319,57	47210697,52	30309867,78	2034	21437,44	5231094,40	10089278,54
2013	33360864,05	42718005,65	28831638,08	2035	15106,71	4733289,95	9597218,61
2014	23509003,56	38652849,94	27425502,50	2036	10645,52	4282857,85	9129156,74
2015	16566514,81	34974544,94	26087944,96	2037	7501,77	3875290,04	8683922,51
2016	11674225,68	31646276,94	24815620,87	2038	5286,41	3506507,44	8260402,61
2017	8226687,79	28634735,51	23605348,76	2039	3725,27	3172819,14	7857538,02
2018	5797248,91	25909780,15	22454102,32	2040	2625,15	2870885,47	7474321,37
2019	4085252,26	23444138,57	21359002,82	2041	1849,91	2597684,60	7109794,42
2020	2878828,61	21213133,81	20317311,96	2042	1303,61	2350482,23	6763045,65
2021	2028676,23	19194437,23	19326424,97	2043	918,64	2126804,27	6433208,02
2022	1429583,98	17367845,02	18383864,10	2044	647,35	1924412,08	6119456,77
2023	1007410,80	15715076,05	17487272,47	2045	456,18	1741280,06	5821007,34
2024	709910,39	14219588,84	16634408,13	2046	321,47	1575575,35	5537113,46
2025	500265,40	12866416,05	15823138,47	2047	226,53	1425639,54	5267065,25
2026	352531,07	11642014,68	15051434,90	2048	159,64	1289972,00	5010187,45
2027	248424,45	10534130,50	14317367,76	2049	112,49	1167214,93	4765837,72
2028	175061,75	9531675,44	13619101,49	2050	79,27	1056139,74	4533405,07
2029	123363,93	8624616,60	12954890,07	Toplam	399.180.159,35	624.176.273,36	613.197.965,60

7.1.5. LandGEM Modeli ile Tahmin

LandGEM v 3.02 (Deponi Gazı Emisyonları Modeli, Versiyon 3.02), deponi gazı potansiyelinin hesaplanması amacıyla geliştirilen bir programdır. Model, EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilerek literatüre sunulmuştur. Modelin çalıştırılabilmesi için aşağıda verilen bilgilere ihtiyaç vardır:

- Depolanan yıllık atık miktarı veya deponi alanında bulunan toplam atık miktarı,
- Metan oluşum hızı (k),
- Metan üretim potansiyeli (L_o),
- Deponi sahasının açılış ve kapanış yılları veya deponi sahasının kullanım yılı,
- Evsel katı atıklarla birlikte tehlikeli atıklarında deponi sahasında depolanıp depolanmadığı vb.

Bu modelde kullanılan denklemin matematiksel ifadesi Denklem (7.7) ile verilmiştir.

$$Q_{LFG} = 2 \times \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{i,j}} \tag{7.7}$$

Denklem (7.7)'yi oluşturan parametrelerin açıklamaları aşağıda verildiği gibidir.

Q_{LFG}: Yıllık deponi gazı miktarı (Nm^3/yıl)

L_o: Metan üretim potansiyeli (Nm^3 CH4/ ton atık)

M_i: i. yıldaki depolanan atık miktarı (ton)

k: Gaz üretim hızı sabiti ($yıl^{-1}$)

n: Hesap edilen yıl

i: 1-yıllık zaman artışı

j: 0,1-yıllık zaman artışı

t_{ij}: Atığın ilk depolanmaya başladığı yıldan itibaren geçen süre (ondalıklı yıllar, örneğin 3.2 gibi) olarak tanımlanmaktadır.

Modelin kullanılabilmesi için, model değişkenlerine ait kabullerin belirlenmesi gerekir. Bunlardan birisi, deponi gazı içindeki metan oranıdır. Model, CO_2 ve CH_4 salımlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir. Bir başka ifade ile deponi gazı miktarının metan salımının iki katı olduğu varsayılmaktadır. Bölüm 6.'da verilen Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de, HDDA'da E Bölgesi'nde yer alan 77 adet bacada yapılan deponi gazı ölçüm sonuçlarına göre metan gazı oranının yaklaşık %50 olarak alınabileceği belirlenmişti. Metan gazını, %38 oranında CO_2 gazı ve %12 oranında diğer gazlar izlemektedir. Metan oranı dışında karar verilmesi gereken diğer önemli parametreler, metan üretim potansiyeli ve metan üretim hız sabiti (k) olarak sıralanabilir. Metan üretim potansiyeli (L_o), deponi sahasında bulunan atığın tipine bağlıdır. Metan üretim hız sabiti ise, atığın nem içeriği, nütrient içeriği, pH değeri ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Modelde sahaya özgü bir k ve L_o değeri girilemiyorsa, hazır olarak verilen bazı kabuller mevcuttur. Bu kabuller depolama alanı bölgesinin kuraklık durumu dikkate alınarak verilmiş değerlerdir. Yılda 635 mm'den daha az yağış alan bölgeler kurak, yüksek yağış alan bölgeler ise nemli bölge olarak ifade edilmektedir. Nemli iklim şartlarında k değerinin 0,1-0,35 $yıl^{-1}$, kurak iklim şartlarına sahip bölgelerde ise k değerinin 0,02-0,1 $yıl^{-1}$ olarak alınabileceği önerilmektedir (Karapidakis and Tsave, 2006).

HDDA'nın metan gazı üretim potansiyelinin (L_o) belirlenmesinde, Bölüm 4.'de belirtilen atık kompozisyonu verileri kullanılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda L_o değeri 102 m^3/ton olarak bulunduğu Bölüm 7.1.4'de vurgulanmıştı.

HDDA atık kompozisyonu incelendiğinde, atık içeriğinin büyük bir çoğunluğunu yiyecek atıklarının oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu tip atıklar hızlı bozunmakta, bu nedenle metan üretim hızı (k) yüksek olmaktadır. Çalışmada limitleyici faktörlerin (gaz bacalarının yerleştirilmesindeki problemler, sızıntı suyu drenaj sisteminin olmaması, gaz bacalarında sızıntı suyu birikmesi, yağmur suyu drenaj sisteminin olmaması vb.) bulunmasından dolayı, oluşacak deponi gazı miktarlarının farklı üretim hız sabitleri için ayrı ayrı belirlenmesinin uygun olduğu düşünülmüştür.

7.1.5.1. LandGEM Modeli ile Tahmin Sonuçları

LandGEM modelinin açıklanan veriler doğrultusunda çalıştırılması sonucunda, deponi gazı oluşumunun yıllara göre değerleri, Çizelge 7.5'de verilmiştir.

Çizelge 7.5. LandGEM modeline göre HDDA'da oluşan deponi gazı miktarları.

Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)			Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)		
	k=0,35	k=0,1	k=0,05		k=0,35	k=0,1	k=0,05
2008	49408545,16	15724577,90	8038708,51	2030	199491,23	9742219,93	13746737,00
2009	92155836,42	32476433,88	16975513,26	2031	140579,09	8815125,13	13076300,72
2010	128472584,39	49605177,58	26484097,46	2032	99064,41	7976255,06	12438562,01
2011	154163692,77	65135454,11	35545070,64	2033	69809,51	7217214,04	11831926,18
2012	108637318,16	58936996,12	33811517,09	2034	49193,93	6530405,31	11254876,33
2013	76555424,21	53328399,39	32162509,94	2035	34666,38	5908955,08	10705969,54
2014	53947695,64	48253531,21	30593925,82	2036	24428,98	5346643,66	10183833,24
2015	38016298,59	43661600,60	29101842,45	2037	17214,81	4837843,25	9687161,84
2016	26789632,83	39506649,95	27682528,85	2038	12131,07	4377461,59	9214713,38
2017	18878335,18	35747095,14	26332435,99	2039	8548,62	3960891,04	8765306,50
2018	13303337,96	32345309,27	25048187,93	2040	6024,11	3583962,42	8337817,46
2019	9374703,81	29267246,12	23826573,39	2041	4245,12	3242903,31	7931177,30
2020	6606242,12	26482099,41	22664537,69	2042	2991,49	2934300,26	7544369,22
2021	4655340,14	23961994,46	21559175,14	2043	2108,06	2655064,67	7176425,99
2022	3280562,75	21681709,20	20507721,77	2044	1485,53	2402401,86	6826427,57
2023	2311773,50	19618421,77	19507548,37	2045	1046,83	2173783,09	6493498,77
2024	1629079,25	17751482,10	18556154,01	2046	737,69	1966920,28	6176807,10
2025	1147992,74	16062205,23	17651159,70	2047	519,84	1779743,07	5875560,66
2026	808976,81	14533684,31	16790302,49	2048	366,33	1610378,12	5589006,18
2027	570076,33	13150621,38	15971429,77	2049	258,15	1457130,38	5316427,14
2028	401726,00	11899174,30	15192493,95	2050	181,91	1318466,09	5057141,92
2029	283091,53	10766818,15	14451547,28	Toplam	792073359,39	769734749,21	681685027,56

7.1.6. IPCC-2006 Modeli ile Tahmin

IPCC modeli, 1.dereceden bozunma denklemini temel almaktadır. Bu model, atıktaki biyolojik parçalanabilir karbondan ortaya çıkan metan gazı miktarını hesaplamaktadır. Bu sebeple model hesaplamalarında, parçalanabilir organik karbonun bozunması ($DDOC_m$), ana parametredir. Model, aşağıda verilen spesifik denklemlere göre çalışmaktadır (Bhattacharyya, 2010);

Parçalanabilir organik karbon bozunması ($DDOC_m$) Denklem (7.8) ile ifade edilmiştir.

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF \quad (7.8)$$

Denklem (7.8)'i oluşturan parametrelerin açıklamaları aşağıda verildiği gibidir.

$DDOC_m$ = Parçalanabilen organik karbon miktarı, Gg

W = Depolanan atığın kütlesi, Gg

DOC = Depolama yılındaki parçalanabilir organik karbon

DOC_f = Ayrışabilen DOC'un fraksiyonu

MCF = Metan düzeltme faktörü (fraksiyon)'nü ifade etmektedir.

T yılın sonunda toplanan kentsel katı atıktaki parçalanabilir organik karbon bozunması, Denklem (7.9)'da verilen $DDOC_{maT}$ ile ifade edilir.

$$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + (DDOC_{maT-1} \times e^{-k}) \quad (7.9)$$

Denklem (7.9)'u oluşturan parametrelerin açıklaması aşağıda verildiği gibidir.

$DDOC_{maT}$ = T yılı sonunda katı atık bertaraf tesisindeki $DDOC_m$ miktarı

$DDOC_{mdT}$ = T yılı sonunda katı atık bertaraf tesisinde bertaraf edilen $DDOC_m$ miktarı

$DDOC_{maT-1}$ = T -1 yılı sonunda katı atık bertaraf tesisindeki $DDOC_m$ miktarı

k= Reaksiyon sabiti

T yılın sonunda bozunan parçalanabilir organik karbon bozunması ($DDOC_{mdecompT}$), Denklem (8.0) ile ifade edilmiştir.

$$DDOC_{mdecompT} = DDOC_{maT-1} \times (1-e^{-k}) \quad (8.0)$$

T yılında gerçekleşen metan gazı üretim miktarı ise, Denklem (8.1) ile verilmiştir.

T yılındaki metan üretimi = $DDOC_{mdecompT}$ x F x 16/12 (8.1)

Denklem (8.1)'i oluşturan parametreler;

F= Hacimce metan fraksiyonu

16/12 = Moleküler ağırlık oranı, CH_4/C ile açıklanmıştır.

T yılındaki toplam metan gazı üretimi ise Denklem (8.2) ile ifade edilmiştir.

T yılındaki metan salımı = ($\sum CH_4 - RT$) x (1-OX_T) (8.2)

Denklem (8.2)'de gösterilen parametrelerin açıklamaları aşağıda verildiği gibidir.

RT= T yılındaki geri dönüşen metan, (Gg)

OX = T yılındaki oksidasyon faktörü, (fraksiyon)

T = Envanter yılı

Atık depolanmasından birkaç yıl içinde, metan salımları en yüksek seviyeye ulaşır. Daha sonra, modelde kullanılan parçalanabilir organik karbon ($DDOC_m$) miktarının azalması nedeniyle, metan miktarı kademeli olarak düşmektedir.

Modelde kullanılan parçalanabilir organik karbon miktarı (DOC), Bölüm 4'te sunulan çizelgelerdeki atık kompozisyonu ortalamalarından hesaplanmıştır. DOC_f değeri, 0,5 olarak ve metan fraksiyonu (hacimsel) %50 alınmıştır. Oksidasyon faktörü (OX) sıfır alınmış olup, tesiste herhangi bir gaz değerlendirme yapısı bulunmadığından geri dönüşüm faktörü de (RT) sıfır alınmıştır. Metan düzeltme faktörü (MCF), IPCC 2006 rehberinde düzenli depolama alanları için belirtildiği üzere (IPCC 2006, katı atık bertarafından CH_4 salımları), HDDA için 1,0 değeri olarak alınmıştır.

Model, varsayılan değerler yerine, en doğru sonuçları verecek spesifik tesis verilerini kullanmaktadır. Dolayısıyla, hata payı azalmakta ve tahmin sonuçlarının doğruluk oranı artmaktadır.

7.1.6.1. IPCC-2006 Modeli ile Tahmin Sonuçları

Çizelge 7.6'da, modelin çalıştırılması ile elde edilen deponi gazı üretim sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.6. IPCC-2006 modeline göre HDDA'da oluşan deponi gazı miktarları.

Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)	Yıl	Deponi Gazı (Nm^3)
2008	12.527.198	2023	10.191.374	2038	2.729.782
2009	26.448.186	2024	9.152.830	2039	2.540.522
2010	38.030.048	2025	8.248.766	2040	2.367.138
2011	49.224.376	2026	7.458.964	2041	2.207.912
2012	42.353.182	2027	6.766.462	2042	2.061.356
2013	36.554.624	2028	6.157.022	2043	1.926.178
2014	31.653.022	2029	5.618.670	2044	1.801.254
2015	27.502.018	2030	5.141.330	2045	1.685.602
2016	23.979.636	2031	4.716.504	2046	1.578.358
2017	20.984.202	2032	4.337.022	2047	1.478.764
2018	18.430.920	2033	3.996.818	2048	1.386.150
2019	16.249.048	2034	3.690.752	2049	1.299.920
2020	14.379.544	2035	3.414.464	2050	1.219.548
2021	12.773.102	2036	3.164.240	Toplam	491.752.247
2022	11.388.526	2037	2.936.916		

8. HDDA'DA SERA GAZI SALIMLARINI FARKLI SENARYOLARA GÖRE BELİRLEME ÇALIŞMALARI

8.1. Metodoloji

Temel olarak, SWM-GHG Calculator program (Solid Waste Management - Greenhouse Gases) hesaplamalarında kullanılan metot, Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA- Life Cycle Assesment) metodunu izlemektedir.

LCA, ürünlerin hammaddelerinin edinimi, üretimi, kullanılması ve ürünün kullanımının sona ermesi ile geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca oluşmuş ve olası çevre etkilerinin değerlendirilmesidir (Taygun, 2005).

SWM-GHG Calculator programı, karar alma sürecinin ilk safhasında farklı atık yönetim stratejileri için sera gazı salım ölçüm ve miktarlarının belirlenmesine olanak sağlar.

Bu program, sera gazı salımları üzerinde uygun olan atık yönetim sistemlerinin etkilerini anlamada yardımcı olmaktadır.

Farklı atık yönetim stratejileri, farklı geri dönüştürülebilir (Cam, kâğıt-karton, plastik, metal, organik atıklar vb.) ve depolanan atık fraksiyonlarının sera gazı salımları hesaplanarak karşılaştırılabilir.

Sistem, geri dönüştürülebilir veya artık atıkların salımlarını ve işlenmiş atıklara ait süreçlerin salımlarını CO_2 eşdeğerinde sunmaktadır.

Hesaplanmış salımlar, aynı zamanda verilen atık miktarı ile gelecekteki tüm salımları da kapsayacak şekilde bir yaklaşım sunmaktadır. Bunun anlamı, atık depolanmaya başladığında, atık ton başına CO_2 eş olarak hesaplanan sera gazı salımları, bu atığın bozunma süresince üreteceği kümülatif salımları da içerdiğini açıklamaktadır. Çalışma yapılan alana ait sera gazı salımlarını belirlemede seçilen yıl 2010 olup, deponi alanındaki sera gazı salımı hakkında güncel verileri vermektedir.

Varsayılan değerler, eğer temel veriler mevcut değilse bunun yerine yaklaşık olarak alınan değerlerdir.

SWM-GHG Calculator programı, aşağıda verilen aşamalardan oluşur:

- Giriş: Atık miktarı, atık kompozisyonu, atık karakteristikleri ve ülkelere göre elektrik tüketiminin CO_2 eşdeğeri değerlerinin belirlenmesi.
- Geri dönüşüm: Dört senaryoya göre karşılaştırmalı olarak atık geri dönüşüm değerlerini belirleme.
- Depolama/bertaraf: Dört senaryoya göre atık işleme ve bertarafının belirlenmesi.
- Maliyetler: Atık işleme, atık bertarafı ve atık geri dönüşüm maliyetlerinin belirlenmesi.
- Sonuçlar: Dört senaryonun ve bu senaryoların birbirleri ile kıyaslamalı özet verileri.

Programda kullanılacak atık geri dönüşüm oranları, farklı atık fraksiyonları kullanılarak bulunabilir. Bunlar;

- Kuru atık maddeleri (kâğıt, karton, plastik, cam, hacimli metaller, alüminyum, tekstil malzemeleri vb.) için geri dönüşüm oranları,
- Organik atıklar için geri dönüşüm oranları,
- Geri dönüştürülen organik atıkların bertarafı ve kompostlanması ile ayrılması şeklindedir.

Programın çalıştırılabilmesi için bazı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar;

- Yıllık üretilen toplam atık miktarı (ton),
- Toplam nüfus miktarı (kişi),
- Toplanan atıklara ait atık kompozisyonu (%),
- Toplanan atığın karakteristikliği vb. şeklindedir.

Programda hesaplanan ve girilen verilerden elde edilen sonuçlar 4 ayrı senaryoya göre ele alınmıştır. Bu senaryolar aşağıda verildiği gibidir:

- Statüko: Bu senaryo, senaryo sonucu ortaya çıkan sera gazı salım sonuçlarını gösterir. Bu senaryoda, düzenli atık yönetimine uygun olmayan depolama alanına sahip, gelişmekte olan bir yerleşim göz önüne alınmıştır. Atıkların

bir kısmı, resmi olmayan sektör tarafından sağlıksız koşullar altında geri dönüştürülmektedir. Bazı belediyeler, kırsal kesimler veya yerleşimler henüz düzenli atık toplama sistemi ile tanışmamıştır. Atığın büyük bir kısmı oksijensiz sindirim ile üretilen metan gazı üretim koşulları altında düzensiz çöp depolama alanlarındaki çöptür. Dağınık atığın (saçılmış durumdaki atık) bir kısmı açık alanda yanmakta ve hava kirliliğine sebep olmaktadır.

- Senaryo 1: Bu senaryo, senaryo sonucu çıkan sera gazı salım sonuçlarını göstermektedir. Bu senaryoda, daha yüksek geri dönüşüm oranının olduğu ve park-bahçe atıkları gibi organik atıkların ayrı toplandığı ve kompostlandığı varsayılır. Artık atıklar, yüksek verimlilikteki (%50) gaz toplama sistemiyle, düzenli deponilerde bertaraf edilmektedir. Toplanan gaz elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Artık atıkların %10'u dağınıktır. Ancak uzun süreli yanma etkisi göstermeyen türdeki atıktır. Kırsal alanların, merkezi depolama alanına bağlantısının olmadığı varsayılmaktadır.
- Senaryo 2: Bu senaryo sonucu elde edilen sera gazı salım sonuçlarını gösterir. Bu senaryo, bir önemli fark haricinde senaryo 1 ile aynıdır. Kalan artık atıklar, doğrudan deponiye gönderilmemektedir. Atıklar atılmadan önce bir stabilizasyon sürecinde ön işleme tabi tutulmaktadır. Böylece, deponiden çıkacak metan gazı salımlarında büyük ölçüde azalma olacaktır ve gaz toplama sistemine gereksinim kalmayacaktır. Geri dönüşüm oranları ve kırsal kesimlerin merkezi depolama tesisine olan bağlantısı senaryo 1 ile aynıdır. %10 olan dağınık atık mevcuttur, ancak yanıcı özellikte değildir.

- Senaryo 3: Bu senaryo, senaryo sonucu çıkan sera gazı salım sonuçlarını göstermektedir. En ileri katı atık yönetim stratejileri bu senaryoda yer almaktadır. Kuru geri dönüştürülebilen cinsteki maddelerin yüksek geri dönüşüm oranları, ayrı toplanan ve kompostlanan park-bahçe atıklarındaki verimlilik artışı kadar iyi olduğu varsayılmaktadır. Artık atıklar, mekanik-biyolojik ve/veya mekanik-fiziksel stabilizasyon metotlarıyla (geri dönüşüm için bir metal fraksiyonda ve çimento fırınında kullanılan çöp kaynaklı bir yakıt fraksiyonu (RDF) üretmektedir) ayrılmaktadır. Ek olarak, inert bir fraksiyon, MSWI (Kentsel katı atık yakma) tesisinde yakma kirleri ve bertaraf için ayrılmaktadır. Kırsal alanlar, sistemle bağlantılıdır. Dağınık atıklar fazla gözlenmemektedir.

Farklı aktivitiler için tahmini değerler, literatür, veri ve deneysel çalışmalardan ortaya çıkarılmıştır (GHG, 2009). Değerler ortalama toplam maliyetleri (dinamik birincil maliyetler) sunmaktadır ve bu veriler ulusal ve yerel koşullara göre çok değişkenlik göstermektedir. Aktivitelerde kullanılan teknolojiler, maliyetler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Toplama siteminin kurulum maliyeti her senaryo için gerekli olup, hesaba dahil edilmemiştir. Geri dönüşüm için hesaplanan maliyetler, yerel yönetimin bakışı açısından önemli maliyetlerdir.

Sera gazı hesaplamalarında kullanılan senaryolar için referans alınan maliyet hesaplamalarına ait veriler Çizelge 8.1'de verilmiştir. Çizelge 8.1 incelendiğinde, depolama alanı için kullanılan teknolojilere ait maliyetlerin atık ton başına Euro olarak verildiği görülmektedir. Bu maliyetler minimum ve maksimum referans değerler olarak alınmaktadır.

Çizelge 8.1, SWM-GHG Calculator proğramında, farklı bertaraf teknolojileri için atık ton başına minimum ve maksimum maliyetleri göstermektedir.

Çizelge 8.1. Farklı bertaraf teknolojileri için kullanılan maliyet göstergeleri.

Maliyetler	Minimum (Euro/ton atık)	Maksimum (Euro/ton atık)
Kontrollü vahşi depolama/gaz toplamasız deponi	3	5
Gaz toplamalı düzenli deponi	12	20
BS+deponi	15	25
MBT+ileri arıtma+deponi	40	60
MBS/MPS+çimento fırın işlemi	50	80
Yakma	90	150
Kuru atığın geri dönüşümü	0	5
Kompostlama*	20	40
Çürütme	60	90

*Tahmini değerler, açık, basit kompostlama tesisleri, çürütmeye benzer büyüklükte olan ileri kompostlama teknoloji maliyetlerine karşılık gelmektedir. Kaynak: (KfW, 2008).

Bu referans maliyet değerleri HDDA'na uyarlanması gerektiğinde; mevcut teknolojilerin ithal edilecek olması, gaz toplama sistemlerinin kurulum maliyetlerinin hesaba katılmamış olması ve ekstra maliyetlerin çıkabilme olasılığı düşünüldüğünde, ileride alan için yapılacak bir yatırım durumu hesaba katılarak maksimum maliyet referans değerlerinin kullanılması daha doğru olacaktır.

HDDA için çeşitli senaryolara göre (Senaryo Statüko, Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3) sera gazı hesaplamalarında kullanılan maliyet verileri için, Çizelge 8.1'de verilen maksimum maliyet referans değerleri kullanılmıştır.

8.2. HDDA Sera Gazı Salım Tahmin Sonuçları

Geri dönüştürülebilen atık fraksiyonlarına ait sera gazı salımları, geri dönüştürülebilen atığın kütlesine ve sera gazı salım faktörüne göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan sera gazı salım faktörleri Çizelge 8.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. Geri dönüştürülebilen atık fraksiyonlarına göre sera gazı salım faktörleri.

kg CO_2-eş/ton atık	Organik Atık		Kâğıt	Cam	Metal (Çelik)	Alüminyum	Plastik	Tekstil
	Sindirim	Kompost	Hamur.	Eritme	Çeşitli İşlevler	Çeşitli İşlevler	Çeşitli İşlevler	Çeşitli İşlevler
Salımlar	57	87	180	20	22	700	1023	32
Önlenen Salımlar	159	95	1000	500	2047	11800	1437	2850
Net Sonuçlar	-102	-8	-820	-480	-2025	-11100	-414	-2818

Kaynak: (Prognos, IFEU (Institute for Energy and Environmental Research, INFU (The Institute of Environmental Research), 2008).

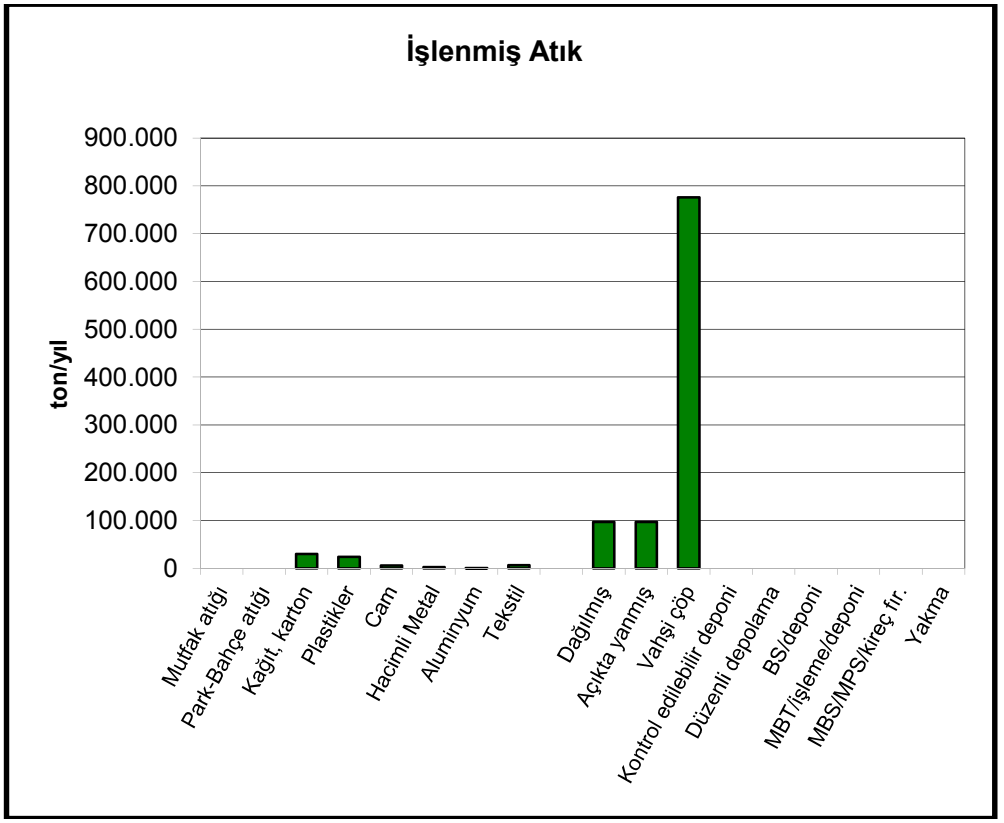
HDDA için hesaplanan ve girilen değerler ve programın çalıştırılması ile senaryo statükoya göre elde edilen sonuçlar Çizelge 8.3-8.8 ve Şekil 8.1-8.5'de görülmektedir.

Sera gazı salımlarını gösteren çubuklu grafiklerde ilk kısım, geri dönüşüm işlemleri tarafından kaynaklanan sera gazı salımlarını göstermektedir (Salım, pozitif değerler). İkinci kısım ise, geri dönüşüm nedeniyle önlenmiş olunan salımları vermektedir (Önlenebilir salım, negatif değerler). Üçüncü kısımda ise, salımlar ve önlenen salımlar arasındaki net sonuçlar gösterilmiştir.

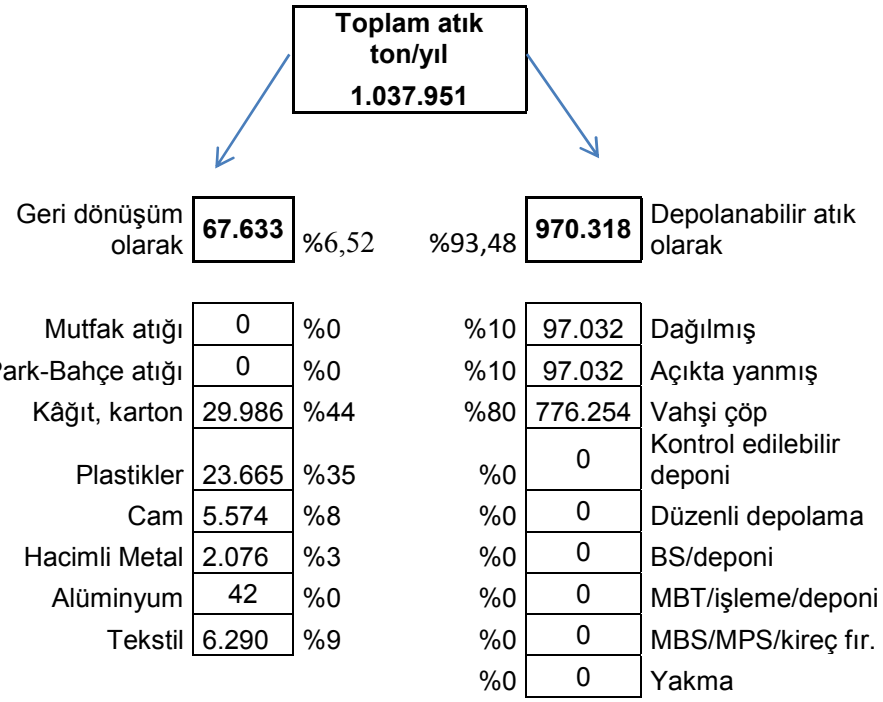
HDDA için hesaplanan ve girilen değerler ve programın çalıştırılması ile Senaryo 1'e göre elde edilen sonuçlar Çizelge 8.9-8.14 ve Şekil 8.6-8.10'da gösterilmiştir. Senaryo 2'e göre elde edilen sonuçlar ise, Çizelge 8.15-8.20 ve Şekil 8.11-8.15'de gösterilmiştir. Senaryo 3'e göre elde edilen sonuçlar ise, Çizelge 8.21-8.27 ve Şekil 8.16-8.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.3. Senaryo Statükoya göre atık verileri (ton)

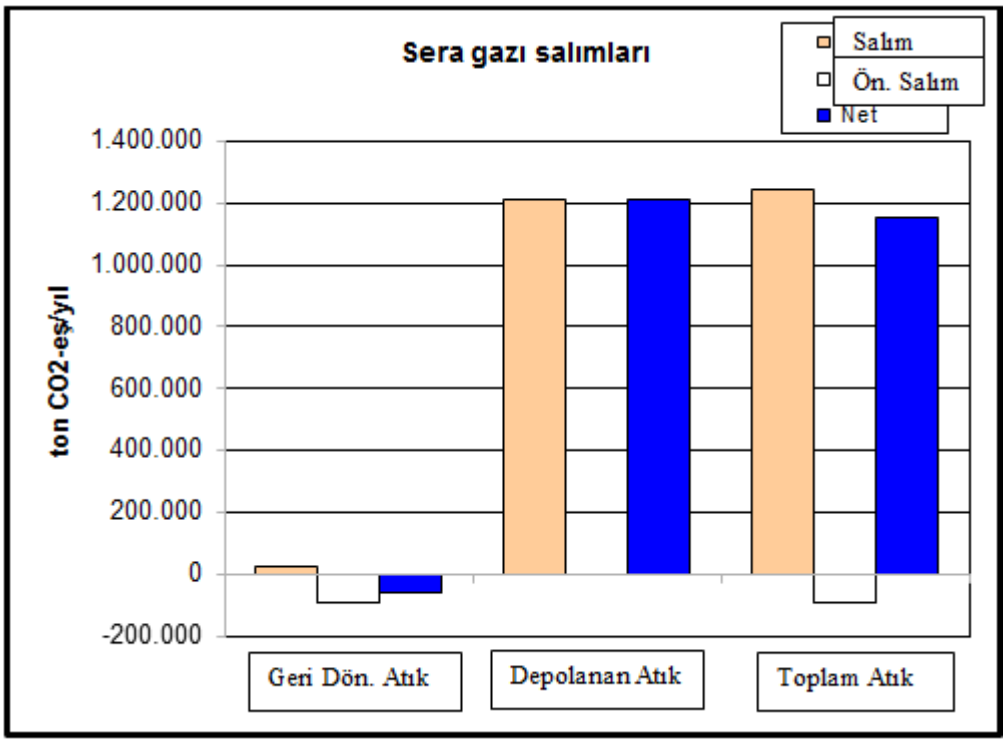
Toplam Atık	1.037.951
Geri Dönüştürülebilir Atık	67.633
Geri Dönüştürülebilir Atık İçeriği;	
Mutfak atığı	0
Park-Bahçe atığı	0
Kâğıt, karton	29.986
Plastikler	23.665
Cam	5.574
Hacimli Metal	2.076
Alüminyum	42
Tekstil	6.290
Depolanan Atık	970.318
Depolanan Atık İçeriği;	
Dağılmış	97.032
Açıkta yanmış	97.032
Vahşi çöp	776.254
Kontrol edilebilir deponi	0
Düzenli depolama	0
BS/deponi	0
MBT/işleme/deponi	0
MBS/MPS/kireç fırını	0
Yakma	0



Şekil 8.1. Senaryo Statükoya göre atık veri grafiği.



Şekil 8.2. Senaryo Statükoya göre atıkların oransal dağılımı, 2010.



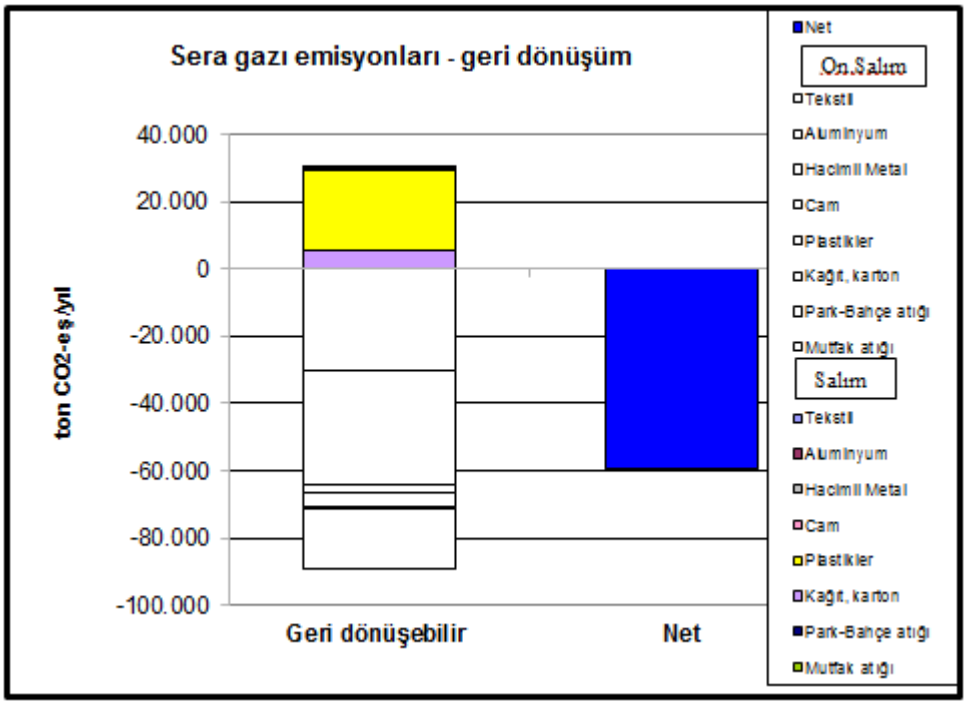
Şekil 8.3. Senaryo Statükoya göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi, 2010.

Çizelge 8.4. Senaryo Statükoya göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

	Salımlar (ton)	Önlenebilir Salımlar (ton)	Net Sonuçlar (ton)
Geri Dönüşebilir Atık			
Mutfak atığı	0	0	0
Park-Bahçe atığı	0	0	0
Kâğıt, karton	5.398	-29.986	-24.589
Plastikler	24.198	-33.995	-9.797
Cam	111	-2.787	-2.675
Hacimli Metal	45	-4.249	-4.204
Alüminyum	29	-490	-461
Tekstil	201	-17.926	-17.725
Depolanan Atık			
Dağılmış	0	0	0
Açıkta yanmış	18.788	0	18,788
Vahşi çöp	1.192.220	0	1.192.220
Kontrol edilebilir deponi	0	0	0
Düzenli depolama	0	0	0
BS/deponi	0	0	0
MBT/işleme/deponi	0	0	0
MBS/MPS/kireç fır.	0	0	0
Yakma	0	0	0
Toplam	1.240.991	-89.433	1.151.557

Çizelge 8.5. Senaryo Statükoya göre geri dönüştürülen salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

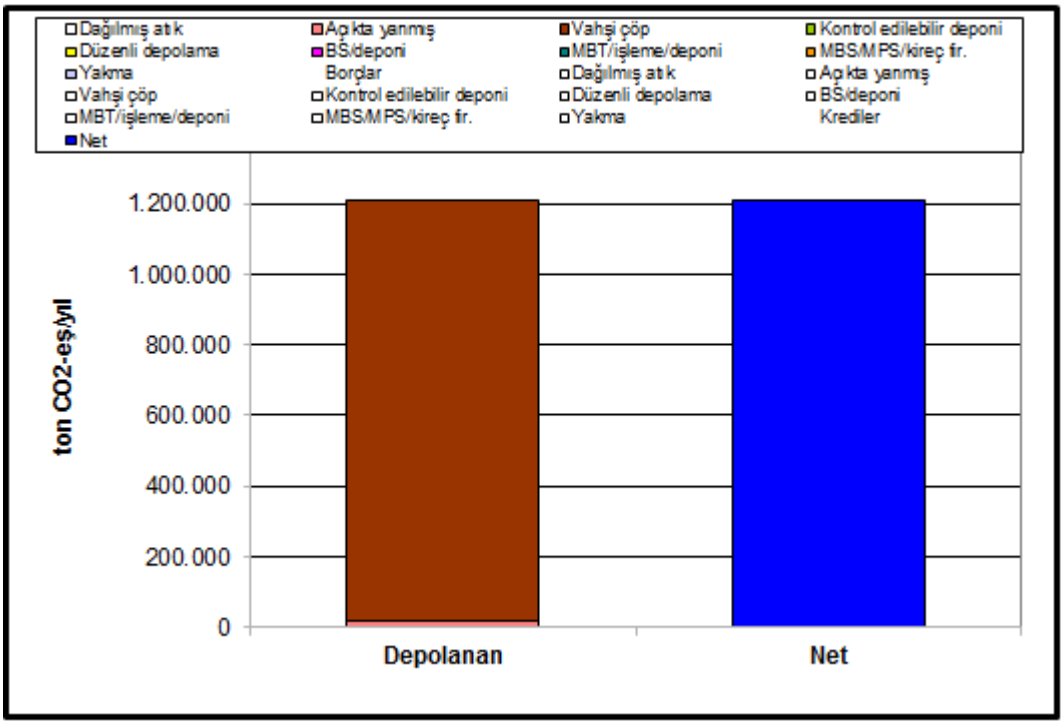
Geri Dönüşebilir Atık	Miktar (ton)	Net (ton)
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	0	
Kâğıt, karton	5.398	
Plastikler	24.198	
Cam	111	
Hacimli Metal	45	
Alüminyum	29	
Tekstil	201	
Salım		29.982
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	0	
Kâğıt, karton	-29.986	
Plastikler	-33.995	
Cam	-2.787	
Hacimli Metal	-4.249	
Alüminyum	-490	
Tekstil	-17.926	
Önlenebilir Salım		-89.433
Net		-59.451



Şekil 8.4. Senaryo Statükoya göre geri dönüşebilir atıklar için sera gazı salım sonuçları grafiği.

Çizelge 8.6. Senaryo Statükoya göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Depolanan Atık	Salım Miktarı (ton)	Net (ton)
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	18.788	
Vahşi çöp	1.192.220	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	0	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fır.	0	
Yakma	0	
Salım		1.211.008
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	0	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	0	
Yakma	0	
Önlenebilir Salım		0
Net		1.211.008



Şekil 8.5. Senaryo Statükoya göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.

Çizelge 8.7. Hesaplanan Senaryo Statüko için kesin maliyet sonuçları.

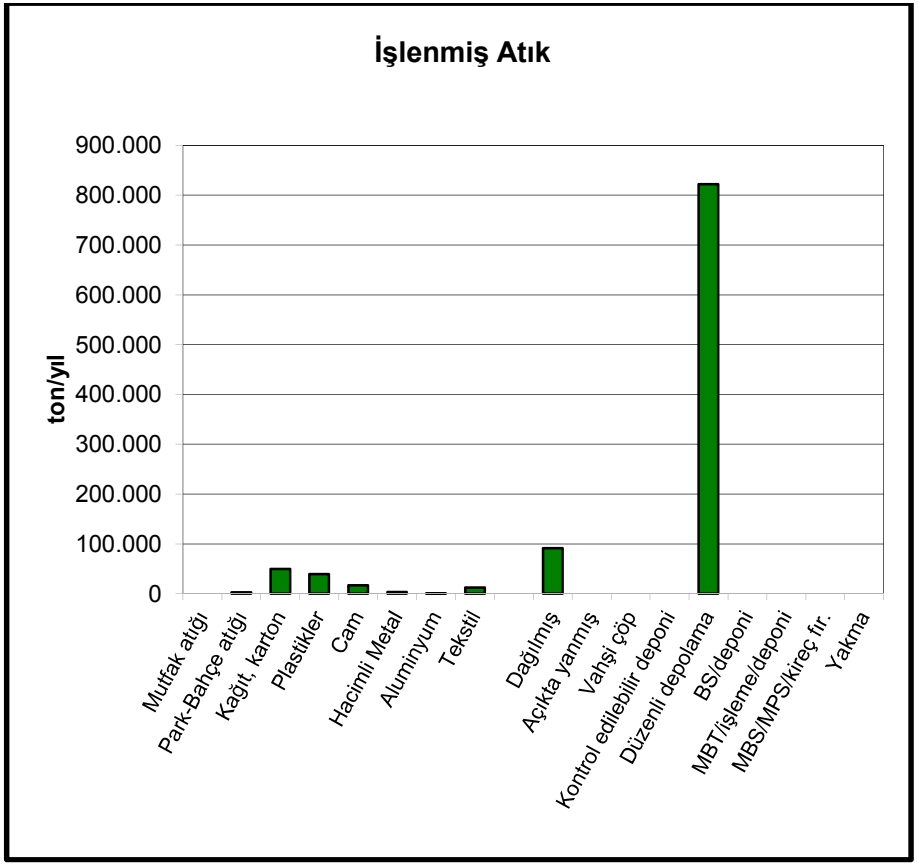
Atıklar	Euro/yıl
Geri Dönüşümlü kuru atık	338.164
Kompostlanabilir organik atık	0
Bertaraf edilen organik atık	0
Kont. edilebilir çöp/gaz toplamasız deponi artık atıklar	0
Gaz toplamalı düzenli deponi artık atıklar	0
BS/deponi artık atıklar	0
MBT/İşleme/deponi artık atıklar	0
MBS/MPS/tek. işleme artık atıklar	0
MSWI artık atıklar	0
Toplam	338.164

Çizelge 8.8. Hesaplanmış Senaryo Statükoya göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları.

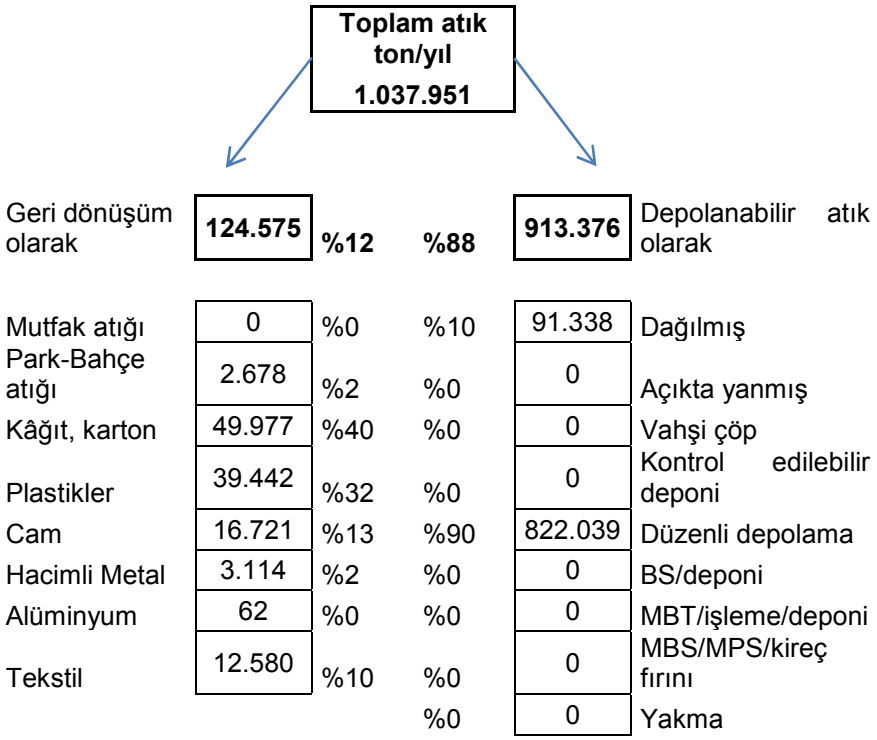
Toplam GHG Salımları tCO_2-eş/yıl	1.151.557
Toplam Maliyetler Euro/yıl	338.164
Spesifik Maliyetler Euro/tCO_2-eş	0,29

Çizelge 8.9. Senaryo 1'e göre atık verileri (ton)

Toplam Atık	1.037.951
Geri dönüştürülebilen atık	124.575
Geri dönüştürülebilen atık İçeriği;	
Mutfak atığı	0
Park-Bahçe atığı	2.678
Kâğıt, karton	49.977
Plastikler	39.442
Cam	16.721
Hacimli Metal	3.114
Alüminyum	62
Tekstil	12.580
Depolanan atık	913.376
Depolanan atık içeriği;	
Dağılmış	91.338
Açıkta yanmış	0
Vahşi çöp	0
Kontrol edilebilir deponi	0
Düzenli depolama	822.039
BS/deponi	0
MBT/işleme/deponi	0
MBS/MPS/kireç fır.	0
Yakma	0



Şekil 8.6. Senaryo 1'e göre atık veri grafiği.

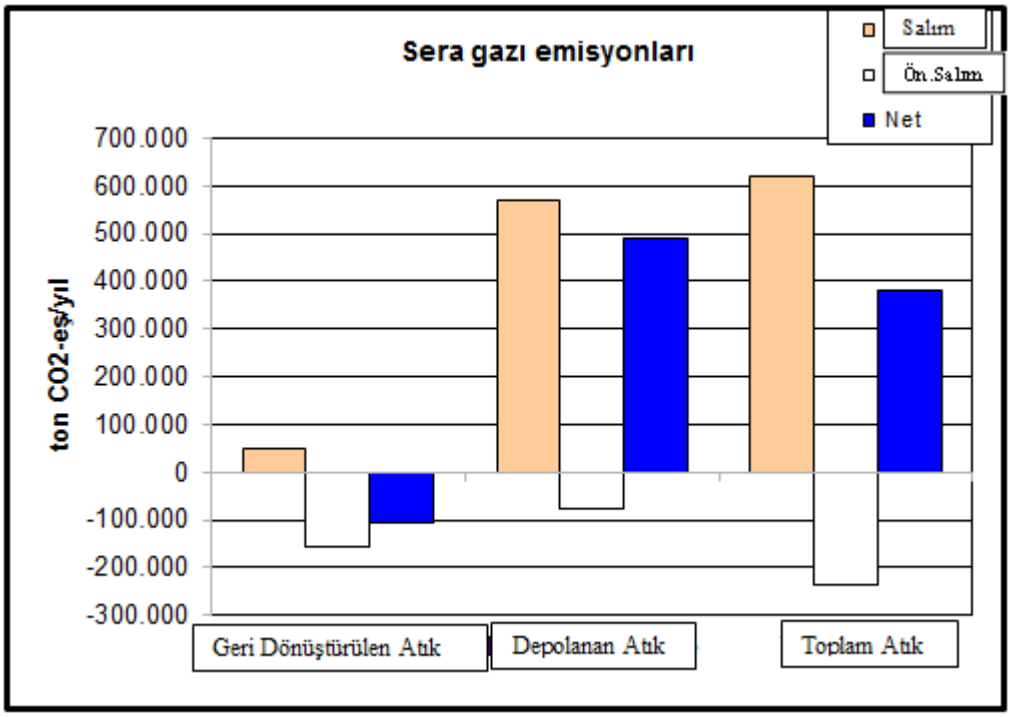


Şekil 8.7. Senaryo 1'e göre atıkların oransal dağılımı, 2010.

Çizelge 8.10. Senaryo 1'e göre geri dönüşüm ve depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

	Salımlar (ton)	Önlenebilir Salımlar (ton)	Net Sonuçlar (ton)
Geri Dönüşebilir Atık			
Mutfak atığı	0	0	0
Park-Bahçe atığı	233	-254	-21
Kâğıt, karton	8.996	-49.977	-40.981
Plastikler	40.330	-56.659	-16.329
Cam	334	-8.361	-8.026
Hacimli Metal	68	-6.373	-6.306
Alüminyum	44	-735	-691
Tekstil	403	-35.853	-35.450
Depolanan Atık			
Dağılmış	0	0	0
Açıkta yanmış	0	0	0
Vahşi çöp	0	0	0
Kontrol edilebilir deponi	0	0	0
Düzenli depolama	567.569	-78.496	489.072
BS/deponi	0	0	0
MBT/işleme/deponi	0	0	0
MBS/MPS/kireç fırını	0	0	0
Yakma	0	0	0
Toplam *	617,975	-236.708	381.267

*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.

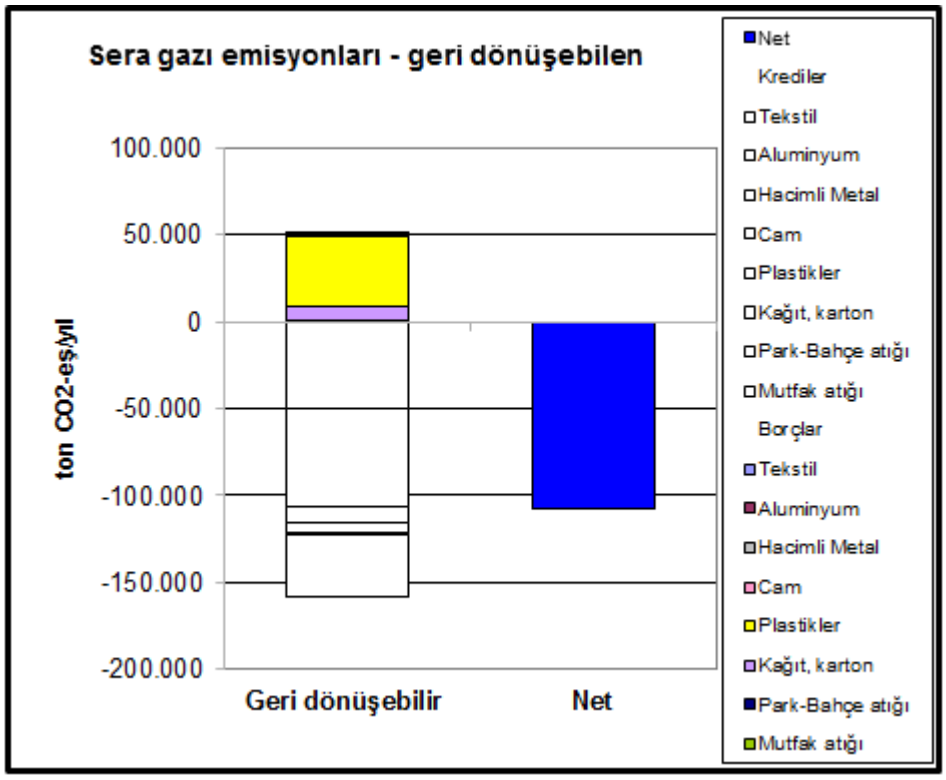


Şekil 8.8. Senaryo 1'e göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi, 2010.

Çizelge 8.11. Senaryo 1'e göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Geri Dönüşebilir Atık	Miktar (ton)	Net (ton)
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	233	
Kâğıt, karton	8.996	
Plastikler	40.330	
Cam	334	
Hacimli Metal	68	
Alüminyum	44	
Tekstil	403	
Salım		50.407
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	-254	
Kâğıt, karton	-49.977	
Plastikler	-56.659	
Cam	-8.361	
Hacimli Metal	-6.373	
Alüminyum	-735	
Tekstil	-35.853	
Önlenebilir Salım		-158.212
Net		-107.805

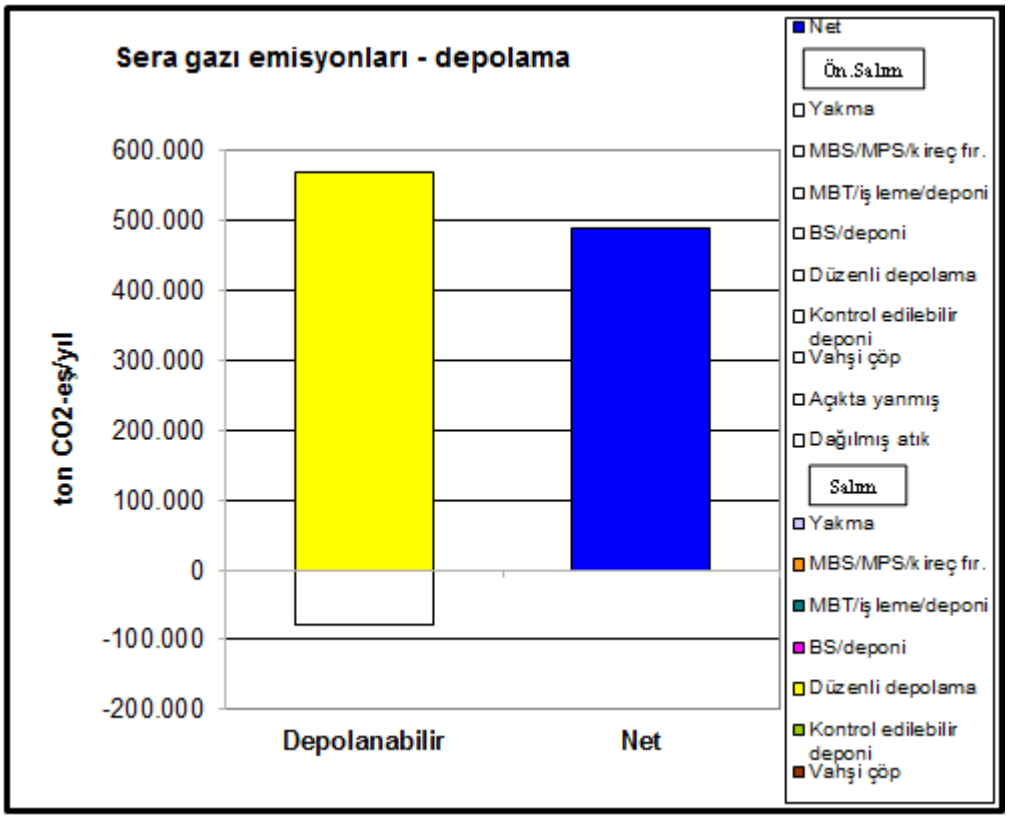
*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.



Şekil 8.9. Senaryo 1'e göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği.

Çizelge 8.12. Senaryo 1'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Depolanan Atık	Salım Miktarı (ton)	Net (ton)
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	567.569	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	0	
Yakma	0	
Salım		567.569
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	-78496	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fır.	0	
Yakma	0	
Önlenebilir Salım		-78496
Net		489.072



Şekil 8.10. Senaryo 1'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.

Çizelge 8.13. Hesaplanan Senaryo 1 için kesin maliyet sonuçları.

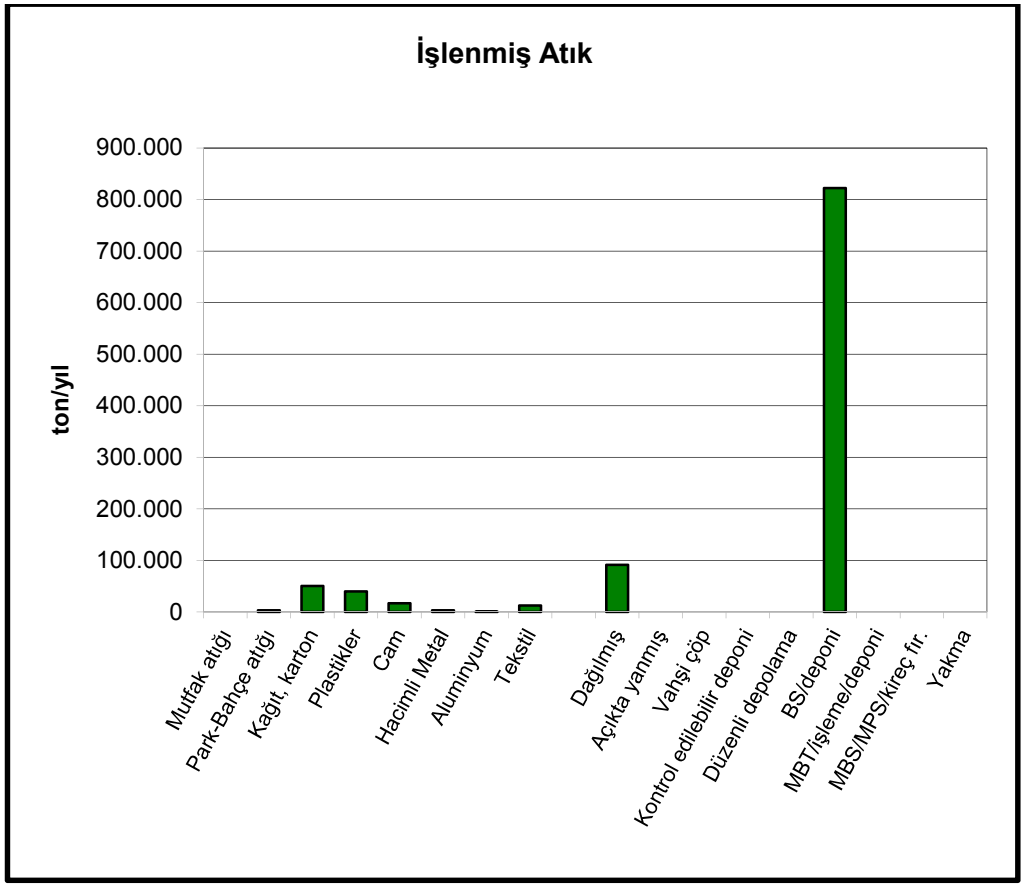
	Euro/yıl
Geri dönüşümlü kuru atık	609.485
Kompostlanabilir organik atık	107.117
Bertaraf edilen organik atık	0
Kont. Edilebilir çöp/gaz toplamasız deponi artık atıklar	0
Gaz toplamalı düz. deponi artık atıklar	16.440.770
BS/deponi artık atıklar	0
MBT/işleme/deponi artık atıklar	0
MBS/MPS/tek. İşleme artık atıklar	0
MSWI artık atıklar	0
Toplam	17.157.372

Çizelge 8.14. Senaryo 1'e göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları.

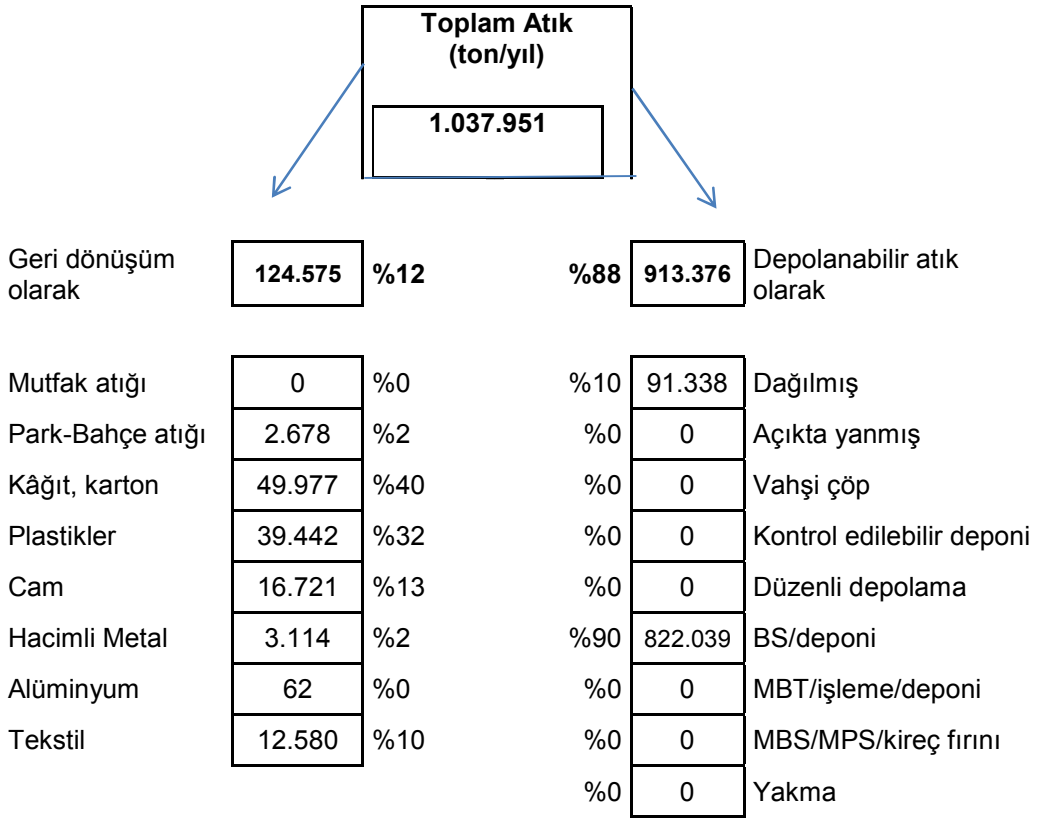
Toplam GHG salımları tCO_2-eş/yıl	381.267
Toplam maliyetler Euro/yıl	17.157.372
Spesifik maliyetler Euro/ tCO_2-eş	45,00

Çizelge 8.15. Senaryo 2'e göre atık verileri (ton)

Toplam atık	1.037.951
Geri dönüştürülebilen atık	124.575
Geri dönüştürülebilen atık içeriği;	
Mutfak atığı	0
Park-Bahçe atığı	2.678
Kâğıt, karton	49.977
Plastikler	39.442
Cam	16.721
Hacimli Metal	3.114
Alüminyum	62
Tekstil	12.580
Depolanan atık	913.376
Depolanan atık içeriği;	
Dağılmış	91.338
Açıkta yanmış	0
Vahşi çöp	0
Kontrol edilebilir deponi	0
Düzenli depolama	0
BS/deponi	822.039
MBT/işleme/deponi	0
MBS/MPS/kireç fırını	0
Yakma	0



Şekil 8.11. Senaryo 2'e göre atık veri grafiği.

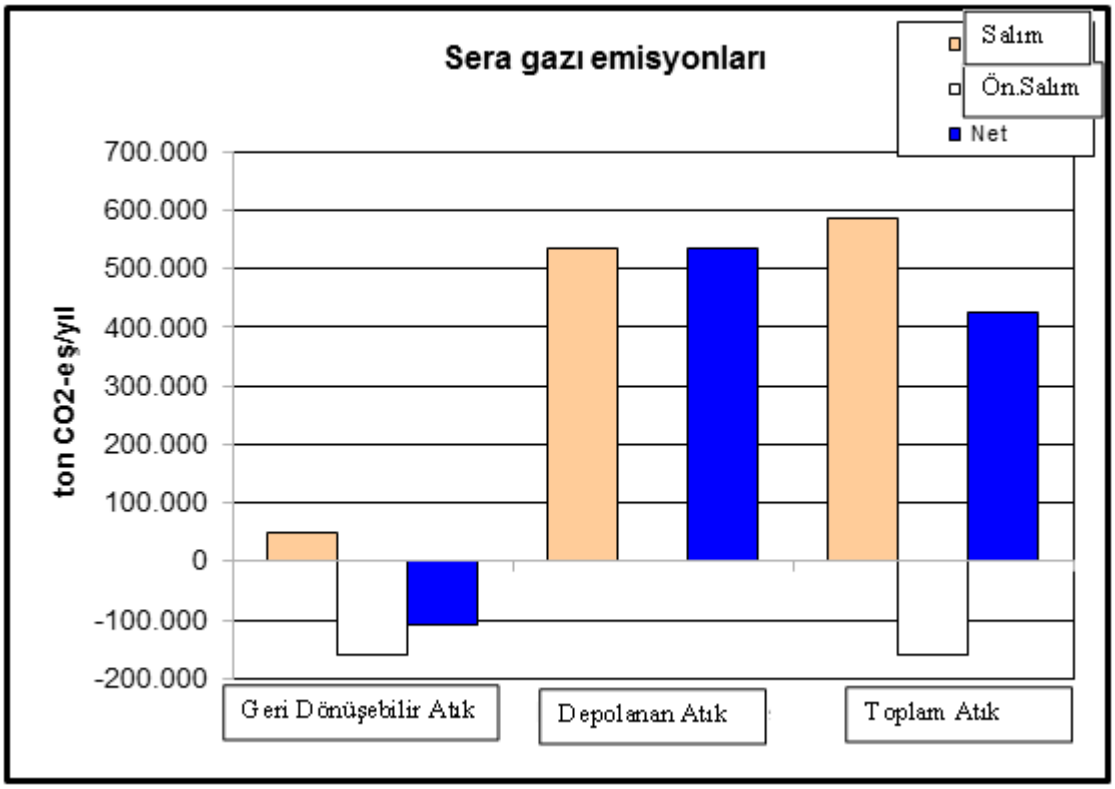


Şekil 8.12. Senaryo 2'e göre atıkların oransal dağılımı, 2010.

Çizelge 8.16. Senaryo 2'e göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları tCO_2-eş/yıl).

	Salımlar (ton)	Önlenebilir Salımlar (ton)	Net Sonuçlar (ton)
Geri Dönüşebilir Atık			
Mutfak atığı	0	0	0
Park-Bahçe atığı	233	-254	-21
Kâğıt, karton	8.996	-49.977	-40.981
Plastikler	40.330	-56.659	-16.329
Cam	334	-8.361	-8.026
Hacimli Metal	68	-6.373	-6.306
Alüminyum	44	-735	-691
Tekstil	403	-35.853	-35.450
Depolanan Atık			
Dağılmış	0	0	0
Açıkta yanmış	0	0	0
Vahşi çöp	0	0	0
Kontrol edilebilir deponi	0	0	0
Düzenli depolama	0	0	0
BS/deponi	534.731	0	534.731
MBT/işleme/deponi	0	0	0
MBS/MPS/kireç fır.	0	0	0
Yakma	0	0	0
Toplam *	585.138	-158.212	426.926

*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.

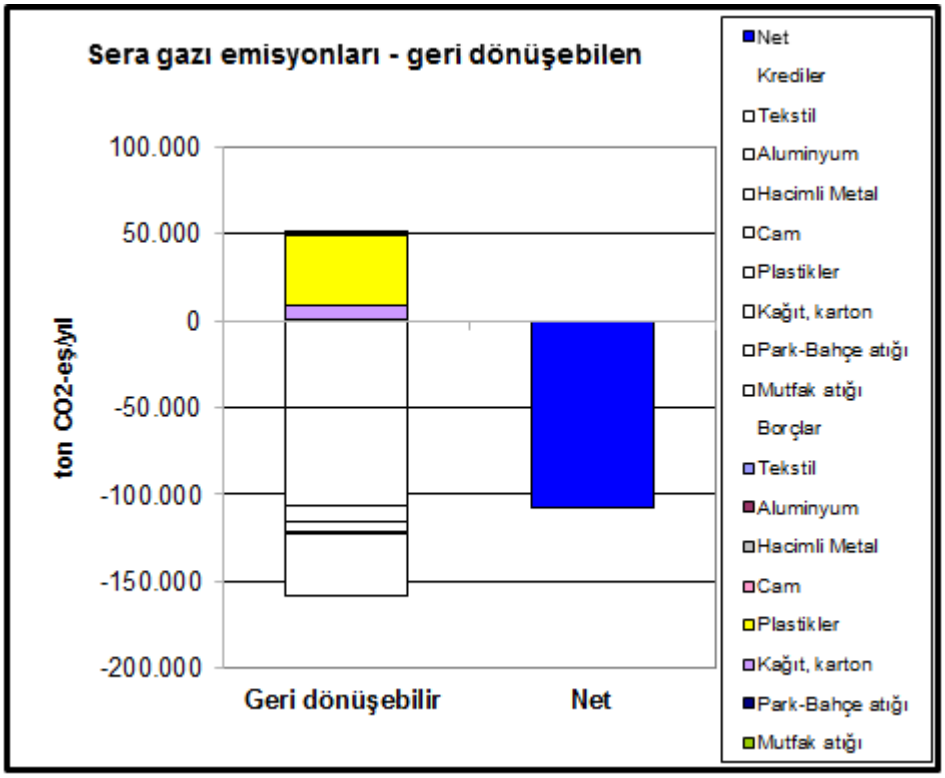


Şekil 8.13. Senaryo 2'e göre sera gazı salımların grafiksel gösterimi.

Çizelge 8.17. Senaryo 2'ye göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Geri Dönüşebilir Atık	Miktar (ton)	Net (ton)
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	233	
Kâğıt, karton	8.996	
Plastikler	40.330	
Cam	334	
Hacimli Metal	68	
Alüminyum	44	
Tekstil	403	
Salım		50.407
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	-254	
Kâğıt, karton	-49.977	
Plastikler	-56.659	
Cam	-8.361	
Hacimli Metal	-6.373	
Alüminyum	-735	
Tekstil	-35.853	
Önlenebilir Salım		-158.212
Net *		-107.805

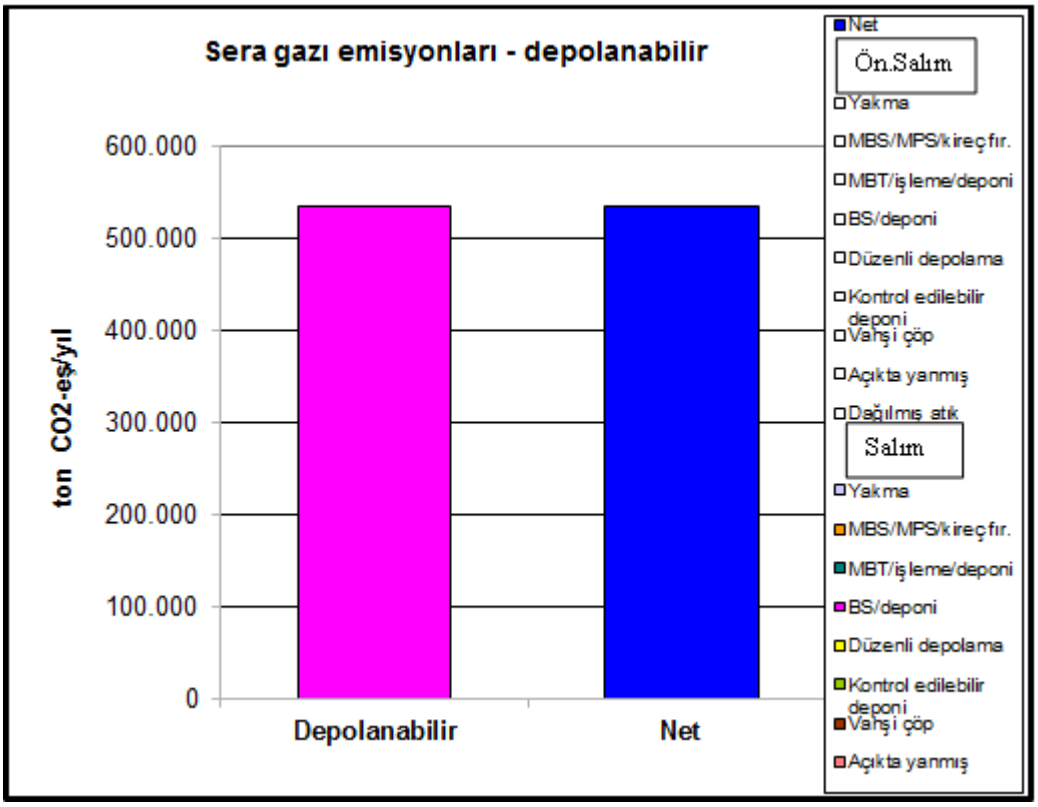
*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.



Şekil 8.14. Senaryo 2'ye göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği.

Çizelge 8.18. Senaryo 2'ye göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Depolanan Atık	Salım Miktarı (ton)	Net (ton)
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	534731	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	0	
Yakma	0	
Salım		534731
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	0	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	0	
Yakma	0	
Önlenebilir Salım		0
Net		534731



Şekil 8.15. Senaryo 2'ye göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.

Çizelge 8.19. Hesaplanan Senaryo 2 için kesin maliyet sonuçları.

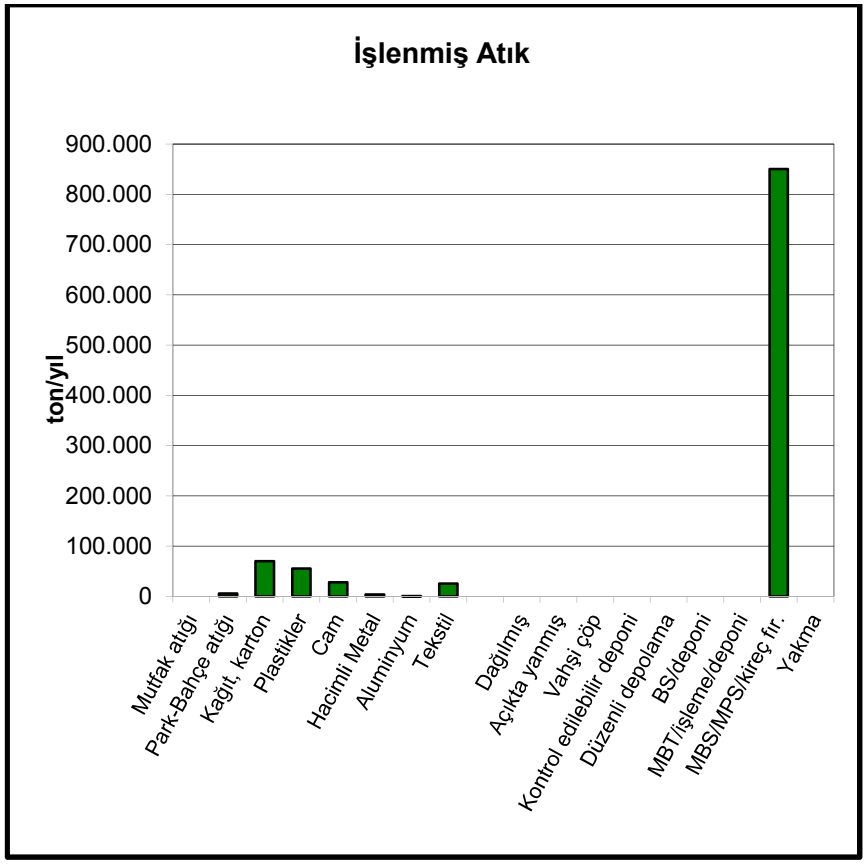
	Euro/yıl
Geri dönüşümlü kuru atık	609.485
Kompostlanabilir organik atık	107.117
Bertaraf edilen organik atık	0
Kont. Edilebilir çöp/gaz toplamasız deponi artık atıklar	0
Gaz toplamalı düzenli deponi artık atıklar	0
BS/deponi artık atıklar	20.550.963
MBT/işleme/deponi artık atıklar	0
MBS/MPS/tek. İşleme artık atıklar	0
MSWI artık atıklar	0
Toplam	21.267.564

Çizelge 8.20. Hesaplanmış Senaryo 2'e göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları.

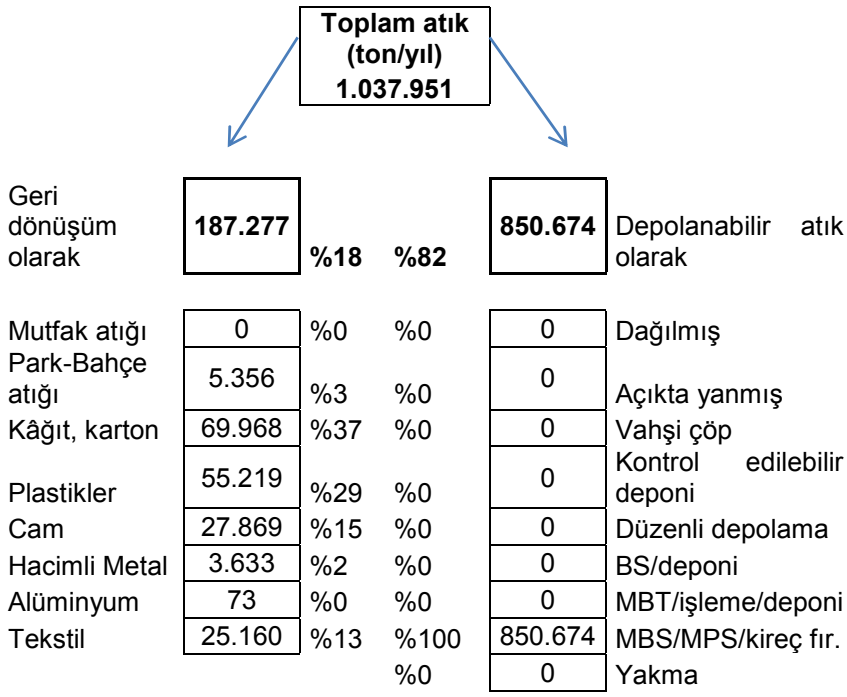
Toplam GHG salımları tCO_2-eş/yıl	426.926
Toplam maliyetler Euro/yıl	21.267.564
Spesifik maliyetler Euro/ tCO_2-eş	49,82

Çizelge 8.21. Senaryo 3'e göre atık verileri (ton).

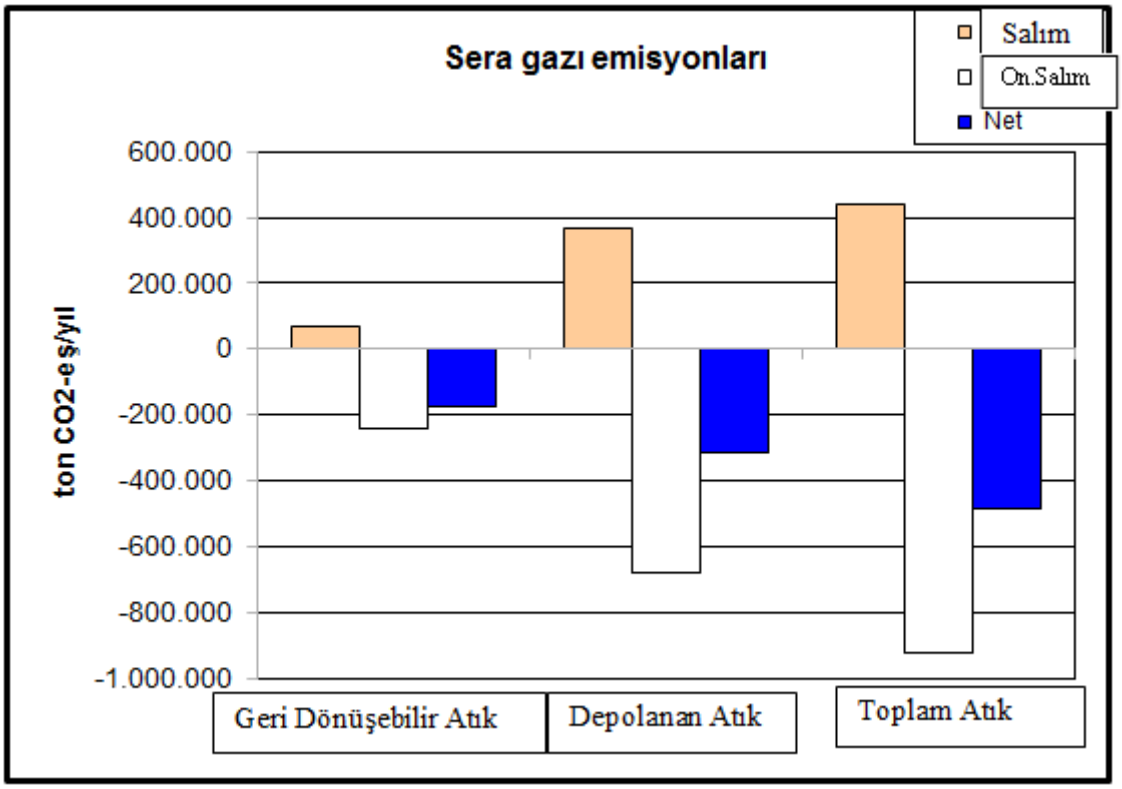
Toplam atık	1.037.951
Geri dönüştürülebilen atık	187.277
Bunların	
Mutfak atığı	0
Park-Bahçe atığı	5.356
Kâğıt, karton	69.968
Plastikler	55.219
Cam	27.869
Hacimli Metal	3.633
Alüminyum	73
Tekstil	25.160
Depolanan atık	850.674
Bunların	
Dağılmış	0
Açıkta yanmış	0
Vahşi çöp	0
Kontrol edilebilir deponi	0
Düzenli depolama	0
BS/deponi	0
MBT/işleme/deponi	0
MBS/MPS/kireç fır.	850.674
Yakma	0



Şekil 8.16. Senaryo 3'e göre atık veri grafiği.



Şekil 8.17. Senaryo 3'e göre atıkların oransal dağılımı.

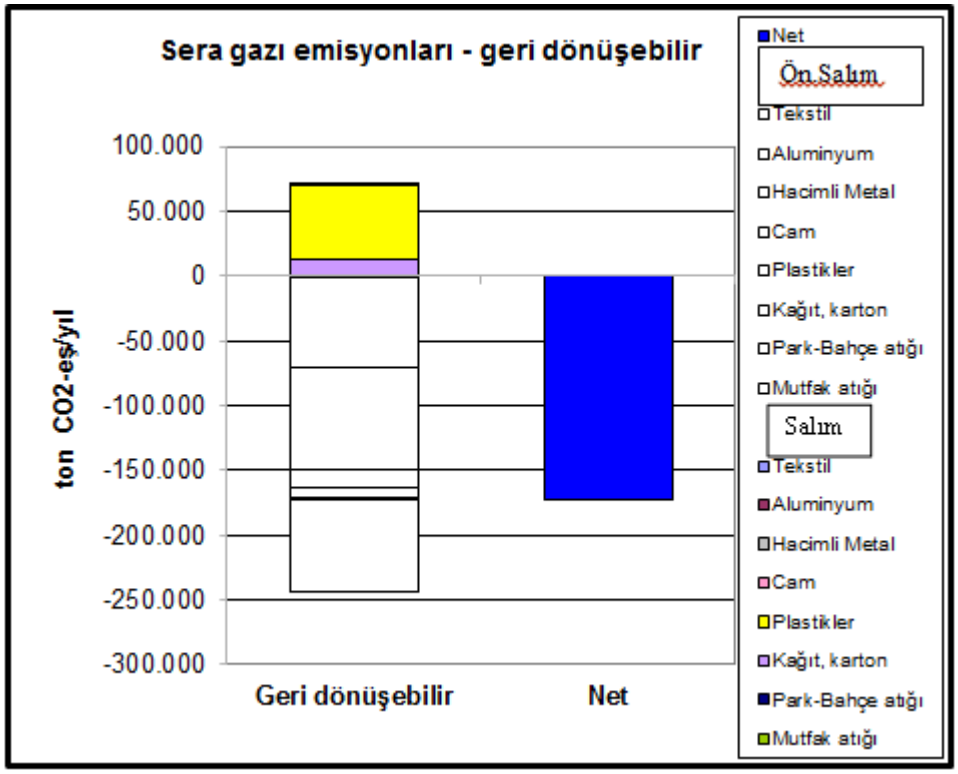


Şekil 8.18. Senaryo 3'e göre sera gazı salımlarının grafiksel gösterimi.

Çizelge 8.22. Senaryo 3'e göre geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

	Salımlar (ton)	Önlenebilir salımlar (ton)	Net sonuçlar (ton)
Geri dönüşebilir atık			
Mutfak atığı	0	0	0
Park-Bahçe atığı	466	-509	-43
Kâğıt, karton	12.594	-69.968	-57.374
Plastikler	56.461	-79.322	-22.861
Cam	557	-13.934	-13.377
Hacimli Metal	79	-7.436	-7.356
Alüminyum	51	-857	-806
Tekstil	805	-71.706	-70.901
Depolanan Atık			
Dağılmış	0	0	0
Açıkta yanmış	0	0	0
Vahşi çöp	0	0	0
Kontrol edilebilir deponi	0	0	0
Düzenli depolama	0	0	0
BS/deponi	0	0	0
MBT/işleme/deponi	0	0	0
MBS/MPS/kireç fır.	367.731	-680.585	-312.854
Yakma	0	0	0
Toplam	438.745 *	-924.318	-485.573

*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.

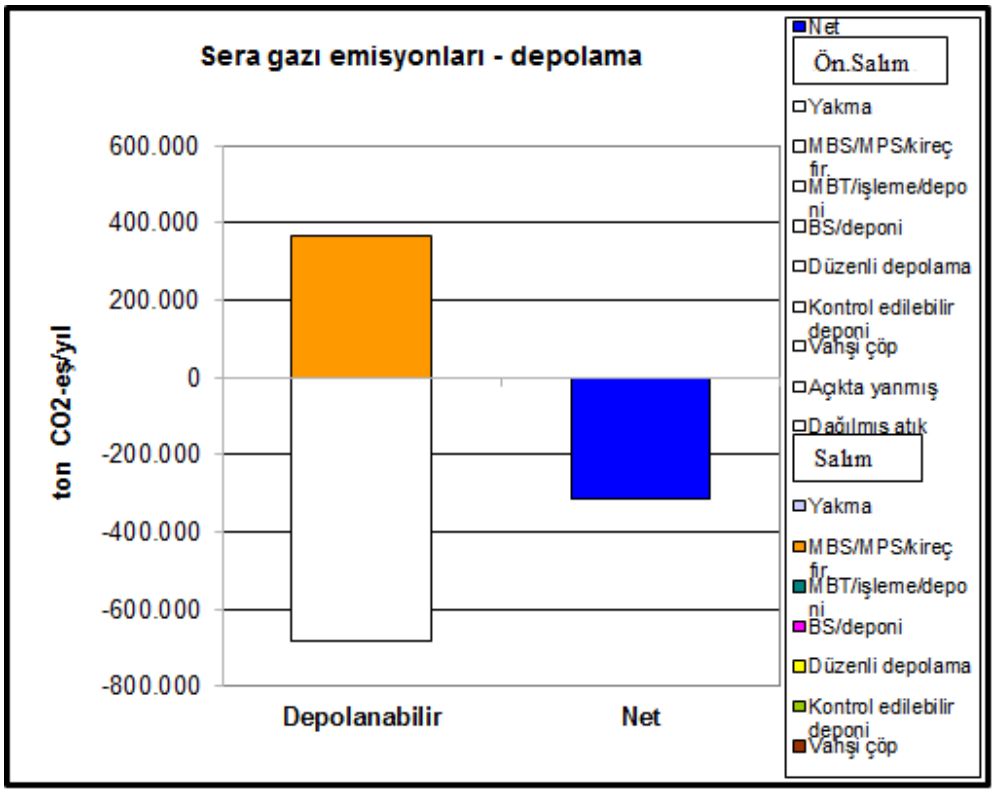


Şekil 8.19. Senaryo 3'e göre geri dönüşebilir atıklara ait sera gazı salım sonuçları grafiği.

Çizelge 8.23. Senaryo 3'e göre geri dönüşebilir atıklara ait salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Geri Dönüşebilir Atık	Miktar (ton)	Net (ton)
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	466	
Kâğıt, karton	12594	
Plastikler	56461	
Cam	557	
Hacimli Metal	79	
Alüminyum	51	
Tekstil	805	
Salım		71.014
Mutfak atığı	0	
Park-Bahçe atığı	-509	
Kâğıt, karton	-69.968	
Plastikler	-79.322	
Cam	-13.934	
Hacimli Metal	-7.436	
Alüminyum	-857	
Tekstil	-71.706	
Önlenebilir Salım		-243.732
Net *		-172.718

*Rakamlarda küsurat değerler dikkate alınmamış olup, toplam değerler doğru değerlerdir.



Şekil 8.20. Senaryo 3'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım dağılım grafiği.

Çizelge 8.24. Senaryo 3'e göre depolanan atıklara ait sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

Depolanan Atık	Salım Miktarı (ton)	Net (ton)
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	0	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	367.731	
Yakma	0	
Salım		367.731
Dağılmış atık	0	
Açıkta yanmış	0	
Vahşi çöp	0	
Kontrol edilebilir deponi	0	
Düzenli depolama	0	
BS/deponi	0	
MBT/işleme/deponi	0	
MBS/MPS/kireç fırını	-680.585	
Yakma	0	
Önlenebilir Salım		-680.585
Net		-312.854

Çizelge 8.25. Hesaplanan Senaryo 3 için kesin maliyet sonuçları.

	Euro/yıl
Geri dönüşümlü kuru atık	909.608
Kompostlanabilir organik atık	214.233
Bertaraf edilen organik atık	0
Kontrol edilebilir çöp/gaz toplamasız deponi artık atıklar	0
Gaz toplamalı düzenli deponi artık atıkları	0
BS/deponi artık atıklar	0
MBT/işleme/deponi artık atıklar	0
MBS/MPS/tek. İşleme artık atıklar	68.053.880
MSWI artık atıklar	0
Toplam	69.177.722

Çizelge 8.26. Hesaplanmış Senaryo 3'e göre bir ton CO_2-eş. için spesifik maliyet sonuçları.

Toplam GHG salımları tCO_2-eş/yıl	-485.573
Toplam maliyetler Euro/yıl	69.177.722
Spesifik maliyetler Euro/tCO_2-eş	142,47

9. HDDA DEPONİ GAZI ENERJİ DEĞERLENDİRMESİ

Deponi gazının kontrolü, çevreye vermiş olduğu olumsuz durumlar (küresel ısınma, kötü koku, patlama riski vb.) nedeniyle gerekli olduğu gibi, gaz içindeki metanın kalorifik değerinin olması ve bunun sonucunda da enerji üretilebilmesi olanağının bulunması sebebiyle önem arz etmektedir.

Çalışma yapılan alana ait enerji değeri; deponiye ait metan gazı miktarı ve metanın kalorifik değeri kullanılarak, deponi gazından elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanabilir. Literatürde 1 m^3 metan gazının kalorifik değeri, 8500 kcal (35564 kJ) olarak verilmektedir. Buna göre; enerji miktarı, Denklem (9.1) kullanılarak hesaplanabilir (Pecora et al., 2009).

$$Brüt\_Enerji\_Miktarı(kWh) = \frac{(M_{CH_4} \times H_{CH_4})}{860 \times 8760} \quad (9.1)$$

(9.1) numaralı denklemde;

M_{CH_4}: Yıllık metan gazı miktarı (Nm^3 metan/yıl)

H_{CH_4}: Metan kalorifik değeri (8500 kcal/Nm^3 metan) ile açıklanmaktadır.

(1kcal-kWh dönüşümü 1/860= $1{,}163 \times 10^{-3}$ ve bir yıl 8760 saat olarak verilmektedir).

Deponi gazının değerlendirilmesi durumunda göz önüne alınması gereken konu, toplam gaz miktarının önemli bir oranının atığın dökümünü takiben birkaç yıl içinde çıktığıdır. Dolayısıyla kapatılan bir alan için de gazın önemli bir bölümü, kapatmayı takiben ilk birkaç yılda çıkacak, daha sonraki yıllarda daha düşük gaz çıkışları elde edilecektir. Bu durumda (elektrik) enerjisi elde etmek için yapılacak bir yatırımın fizibilitesinde toplam gaz değeri kadar, yıllık bazda çıkan gaz değerleri de önem kazanmaktadır.

6. Bölümde (HDDA Deponi Gazı Ölçüm Çalışmaları) bahsedildiği üzere, alanda yapılan ölçümlerde çıkan metan gazı oranı ve literatür kaynaklı hesaplamalarda alındığı gibi, deponi gazının metan oranını %50 olduğu kabul edilmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda, deponi gazından elde edilecek elektrik enerjisi değerleri, Çizelge 9.1, 9.2, 9.3, 9.4 ve 9.5'de sunulmuştur. Elektrik enerjisi potansiyel değerleri, her bir model (gaz miktarını belirlemede kullanılan modeller) için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 9.1. Tabasaran/Rettenberger modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)
2008	12090,42	2023	10178,55	2038	1810,03
2009	37311,43	2024	9071,64	2039	1613,19
2010	62499,78	2025	8085,11	2040	1437,76
2011	82337,61	2026	7205,86	2041	1281,40
2012	36114,86	2027	6422,23	2042	1142,05
2013	32187,40	2028	5723,82	2043	1017,85
2014	28687,05	2029	5101,36	2044	907,16
2015	25567,36	2030	4546,59	2045	808,51
2016	22786,93	2031	4052,15	2046	720,59
2017	20308,88	2032	3611,49	2047	642,22
2018	18100,31	2033	3218,74	2048	572,38
2019	16131,91	2034	2868,71	2049	510,14
2020	14377,58	2035	2556,74	2050	454,66
2021	12814,03	2036	2278,69	Toplam	522.606,58
2022	11420,52	2037	2030,89		

Çizelge 9.2. Multi - Phase modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)
2008	6320,84	2023	2836,62	2038	724,12
2009	11474,09	2024	2498,44	2039	684,32
2010	15400,53	2025	2212,05	2040	648,55
2011	17829,41	2026	1968,98	2041	616,23
2012	15053,52	2027	1762,14	2042	586,87
2013	12735,65	2028	1585,67	2043	560,07
2014	10799,13	2029	1434,64	2044	535,48
2015	9180,17	2030	1304,96	2045	512,82
2016	7825,74	2031	1193,22	2046	491,85
2017	6691,68	2032	1096,56	2047	472,34
2018	5741,26	2033	1012,60	2048	454,14
2019	4943,94	2034	939,36	2049	437,08
2020	4274,27	2035	875,17	2050	421,05
2021	3711,08	2036	818,65	Toplam	164.670,70
2022	3236,76	2037	768,62		

Çizelge 9.3. Scholl Canyon modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)			Yıl	Enerji Miktarı (kWh)			Yıl	Enerji Miktarı (kWh)		
	k=0,35	k=0,100	k=0,05		k=0,35	k=0,100	k=0,05		k=0,35	k=0,100	k=0,05
2008	22876,76	8392,67	4411,48	2023	568,32	8865,49	9865,26	2038	2,98	1978,16	4660,02
2009	34829,25	16406,78	9066,15	2024	400,49	8021,83	9384,12	2039	2,10	1789,91	4432,75
2010	39151,23	23680,90	13756,64	2025	282,22	7258,45	8926,45	2040	1,48	1619,58	4216,56
2011	37899,18	29434,47	17975,67	2026	198,88	6567,72	8491,11	2041	1,04	1465,46	4010,91
2012	26707,10	26633,41	17098,99	2027	140,15	5942,72	8076,99	2042	0,74	1326,00	3815,30
2013	18820,18	24098,91	16265,06	2028	98,76	5377,19	7683,07	2043	0.52	1199,81	3629,23
2014	13262,35	21805,59	15471,80	2029	69,59	4865,49	7308,36	2044	0.37	1085,64	3452,23
2015	9345,82	19730,52	14717,24	2030	49,04	4402,47	6951,93	2045	0.26	982,32	3283,86
2016	6585,89	17852,91	13999,47	2031	34,56	3983,52	6612,88	2046	0.18	888,84	3123,70
2017	4641,00	16153,98	13316,71	2032	24,35	3604,44	6290,37	2047	0.13	804,26	2971,36
2018	3270,46	14616,73	12667,24	2033	17,16	3261,43	5983,58	2048	0.09	727,72	2826,44
2019	2304,65	13225,76	12049,45	2034	12,09	2951,07	5691,76	2049	0.06	658,47	2688,60
2020	1624,06	11967,16	11461,79	2035	8,52	2670,23	5414,17	2050	0.04	595,81	2557,47
2021	1144,46	10828,34	10902,80	2036	6,01	2416,13	5150,12	Toplam	225.193,22	352.122,38	345.929,08
2022	806,48	9797,88	10371,06	2037	4,23	2186,20	4898,94				

Çizelge 9.4. LandGEM modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)			Yıl	Enerji Miktarı (kWh)			Yıl	Enerji Miktarı (kWh)		
	k=0,35	k=0,100	k=0,05		k=0,35	k=0,100	k=0,05		k=0,35	k=0,100	k=0,05
2008	27873,30	8870,85	4534,95	2023	1304,16	11067,52	11004,98	2038	6,84	2469,50	5198,38
2009	51988,73	18321,23	9576,55	2024	919,03	10014,31	10468,26	2039	4,82	2234,49	4944,85
2010	72476,44	27984,23	14940,72	2025	647,63	9061,32	9957,71	2040	3,40	2021,85	4703,69
2011	86969,80	36745,47	20052,37	2026	456,38	8199,02	9472,07	2041	2,39	1829,45	4474,29
2012	61286,58	33248,68	19074,41	2027	321,60	7418,78	9010,11	2042	1,69	1655,35	4256,08
2013	43187,93	30084,65	18144,14	2028	226,63	6712,79	8570,68	2043	1,19	1497,83	4048,50
2014	30434,02	27221,71	17259,24	2029	159,70	6073,99	8152,69	2044	0,84	1355,29	3851,06
2015	21446,49	24631,23	16417,49	2030	112,54	5495,97	7755,07	2045	0,59	1226,32	3663,24
2016	15113,09	22287,25	15616,80	2031	79,31	4972,96	7376,86	2046	0,42	1109,62	3484,58
2017	10650,01	20166,34	14855,16	2032	55,89	4499,72	7017,08	2047	0,29	1004,02	3314,63
2018	7504,94	18247,26	14130,67	2033	39,38	4071,51	6674,85	2048	0,21	908,48	3152,98
2019	5288,64	16510,80	13441,51	2034	27,75	3684,06	6349,32	2049	0,15	822,02	2999,21
2020	3726,84	14939,59	12785,96	2035	19,56	3333,47	6039,66	2050	0,10	743,80	2852,93
2021	2626,26	13517,90	12162,38	2036	13,78	3016,25	5745,10	Toplam	446.839,73	434.237,64	384.565,33
2022	1850,69	12231,50	11569,21	2037	9,71	2729,22	5464,91				

Çizelge 9.5. IPCC-2006 modeline göre oluşan deponi gazının enerji karşılığı.

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)
2008	7067,08	2023	5749,35	2038	1539,98
2009	14920,46	2024	5163,47	2039	1433,21
2010	21454,25	2025	4653,45	2040	1335,40
2011	27769,41	2026	4207,89	2041	1245,57
2012	23893,10	2027	3817,23	2042	1162,89
2013	20621,90	2028	3473,42	2043	1086,63
2014	17856,71	2029	3169,71	2044	1016,16
2015	15514,97	2030	2900,43	2045	950,91
2016	13527,86	2031	2660,77	2046	890,41
2017	11838,01	2032	2446,68	2047	834,23
2018	10397,61	2033	2254,76	2048	781,98
2019	9166,73	2034	2082,10	2049	733,34
2020	8112,07	2035	1926,23	2050	687,99
2021	7205,81	2036	1785,07	Toplam	277.416,78
2022	6424,72	2037	1656,83		

10. GENEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

HDDA deponi gazı potansiyelini belirlemede kullanılan yaklaşımlara (test kuyuları, literatür esaslı yaklaşık tahmin, matematiksel modeller) ait sonuçlar, Çizelge 10.1'de özet olarak sunulmuştur. Çizelge 10.1'den de görüleceği üzere, test kuyularında yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, alandan beklenen gaz potansiyel değerlerinin altında olup, bunun nedenleri Bölüm 6.3.1.1'de verilmiştir. Buna karşın, alana ait deponi gazı potansiyelini belirlemede kullanılan matematiksel tahmin metotlarından elde edilen sonuçlar oldukça iyimserdir. Matematiksel modellere ait en yüksek deponi gazı tahmini sonucu, Tabasaran/Rettenberger metodunun kullanılmasıyla elde edilen sonuçtur. Buna karşın, en düşük deponi gazı tahmin sonucu ise, Multi-Phase modelinin kullanılması ile elde edilen sonuçtur. Scholl Canyon modeli (düşük hızlı) ile LandGEM modelinden (düşük hızlı) elde edilen deponi gazı tahmin sonuçları, birbirine yakın değerlerdedir.

Çizelge 10.1. HDDA'da deponi gazı potansiyelini belirlemede kullanılan modellere ait toplam değerler.

Tahmin Yöntemi		Üretilen Deponi Gazı Miktarı (Nm^3)
Test Kuyuları		10.000
Literatür Esaslı Yaklaşık Tahmin	Düşük Hız	200.000.000
	Yüksek Hız	1.600.000.000
Tabasaran/Rettenberger Modeli		926.378.580
Multi-Phase Modeli		291.897.215
LandGEM Modeli	Düşük Hızlı (k=0,05)	681.685.027
	Orta Hızlı (k=0,100)	769.734.749
	Yüksek Hızlı (k=0,35)	792.073.359
Scholl Canyon Modeli	Düşük Hızlı (k=0,05)	613.197.965
	Orta Hızlı (k=0,100)	624.176.273
	Yüksek Hızlı (k=0,35)	399.180.159
IPCC-2006 Modeli		491.752.247

LandGEM modeli ve Scholl Canyon modeli, deponi gazının mikrobiyal büyümesini kıstas almaktadır. Hesaplamalarda elde edilen sonuçlar atıkların yüksek, orta ve düşük hızda parçalanmalarına göre elde edilmiştir. Bu iki modelde atıklar bileşenlerine ayrılmamış olup, hesaplamalarda kentsel katı atıkların tamamı hesaplamalara dahil edilmiştir.

Multi-Phase modeli ise, deponi gazı hesaplamalarında organik bazlı atıkların parçalanma oranlarını kıstas almaktadır. Bu, üç ayrı fraksiyon halinde (Yüksek, orta ve yavaş hızlı) hesaplanmaktadır. Daha sonra bu fraksiyonlara göre

elde edilen değerler toplanarak o yıl için üretilen deponi gazı miktarı çıkartılmaktadır.

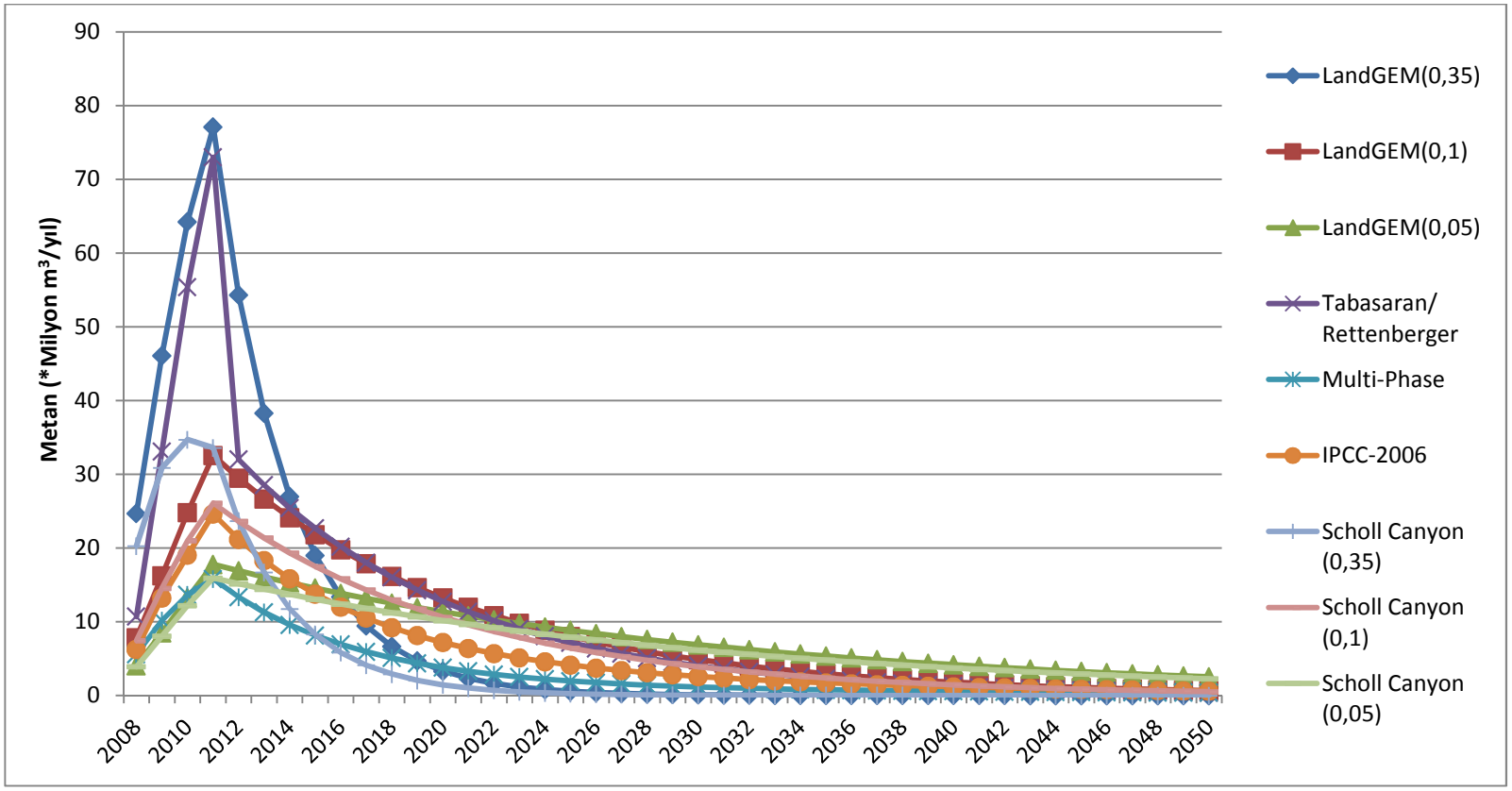
Deponi gazı enerji değerinin hesaplanmasında organik bazlı atıklar önemli yer tutmaktadır (hidrokarbon kaynağı içerdiğinden). Bu nedenle Multi-Phase modeline ait hesaplama sonuçları, ileride kurulabilecek güç tesisi için referans gaz değerleri olarak alınabilir.

Kullanılan matematiksel metotlarda, deponi gazı miktarı yıllık bazda hesaplanmıştır. Daha sonra bu sonuçların toplanmasıyla toplam gaz miktarı elde edilmiştir. Bu durum, gazın enerji yönüyle değerlendirilmesi için avantaj sağlamıştır. Çünkü gazın enerji yönüyle değerlendirilmesi durumunda yapılacak yatırımın fizibilitesi bakımından yıllık gaz üretimindeki değişimler önemlidir. Bundan dolayı, deponi gazı modelleme çalışması sonucunda hesaplanan metan gazı miktarının yıllık bazdaki değişimi grafik olarak Şekil 10.1'de verilmiştir. Kullanılan 5 (beş) ayrı modelden elde edilen sonuçlara göre, metan gazı oluşumunun en fazla olduğu zaman dilimi 2010-2013 yılları arasındadır. 2011 yılında, Scholl Canyon modelinin yüksek hızlı parçalanma fraksiyonu (0,35) hariç, her modelde metan gazı üretimi pik yapmış durumdadır. Scholl Canyon modelinin yüksek hızlı parçalanma fraksiyonu (0,35), 2010 yılında pik yapmış olup, 2011 yılındaki metan gazı üretimi ile oldukça yakın değerdedir.

2011 yılından sonra metan gazı üretimindeki en keskin düşüşlerin olduğu modeller, Tabasaran/Rettenberger ve LandGEM (k=0,35) modelleridir. Yine 2011 yılından sonra, tüm modellerde kademeli olarak metan gazı üretimindeki düşüşler Şekil 10.1'de görülebilmektedir. Toplam metan gazı üretimleri birbirine yakın değerlerde olan LandGEM (k=0,05) modeli ile Scholl Canyon (0,05) modelinin, yıllık metan gazı üretiminde de birbirine yakın değerlere sahip olduğunu, gaz üretimindeki artış ve düşüşlerde birbirine yakın çizgiyi takip ettiği görülmektedir.

Depolama alanındaki gaz oluşumunun başlaması ile ilk on yıl içinde;

Tabasaran/Rettenberger modelinde gazın %69'u, Multi-Phase modelinde gazın %69'u, Scholl Canyon modelinde (yüksek parçalanma hızı (k=0,35)) gazın %95'i, orta parçalanma hızında (k=0,100) gazın %58'i, yavaş parçalanma hızında (k=0,05) gazın %40'ı çıkartılmaktadır. LandGEM modelinde (yüksek parçalanma hızında (k=0,35) gazın %94'ü, orta parçalanma hızında (k=0,100) gazın %57'si, yavaş parçalanma hızında (k=0,05) gazın %39'u çıkartılmaktadır. IPCC-2006 modelinde ise gazın %63'ü çıkartılmaktadır.

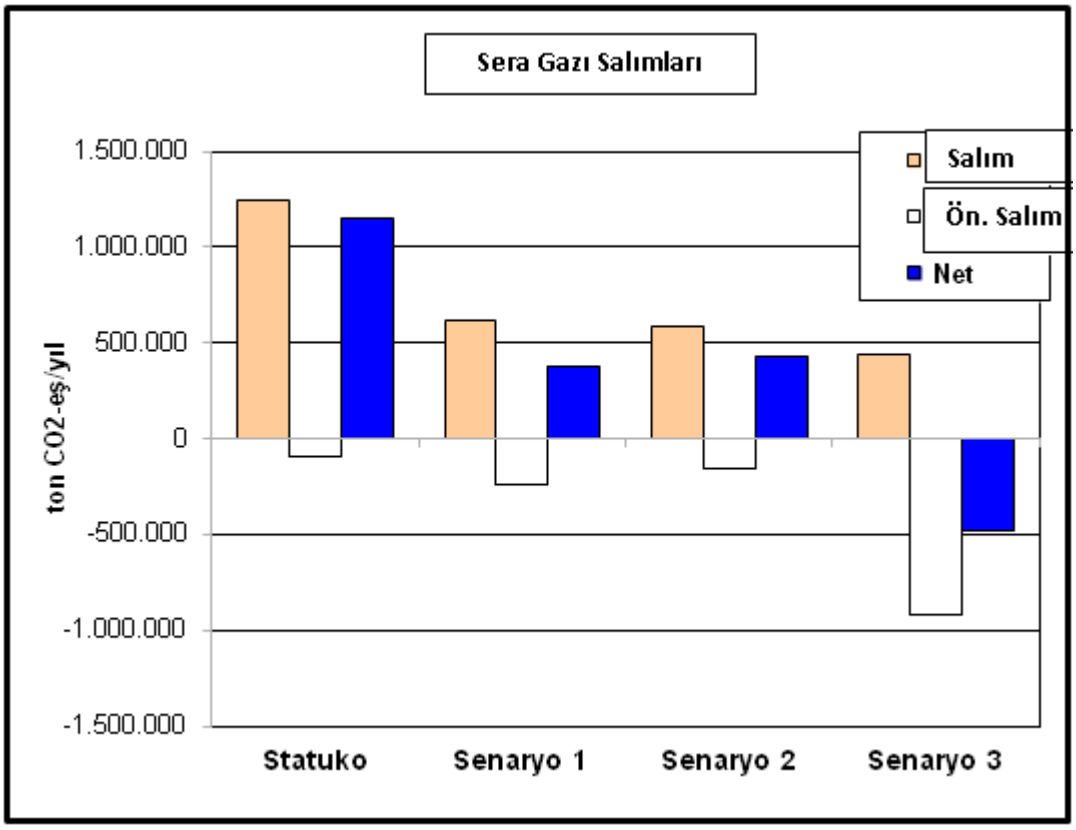


Şekil 10.1. Deponi gazı hesaplamada kullanılan modellere ait yıllık metan gazı miktarının değişimi, 2011.

IPCC 2006 modeli, atıktaki biyolojik parçalanabilir karbondan ortaya çıkan deponi gazı miktarını hesaplamaktadır. Şekil 10.1'den de görüleceği üzere model diğer modeller gibi 2011 yılında gaz üretiminde pik yapmış durumdadır. Özellikle 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarında yüksek deponi gazı üretmiştir.

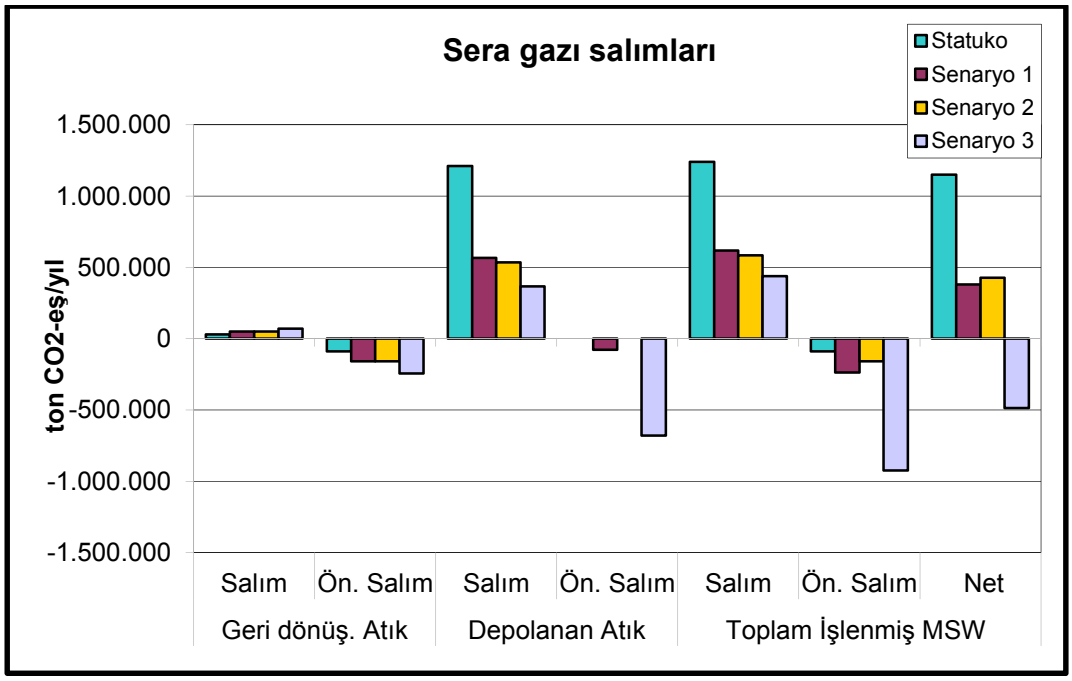
HDDA için sera gazı salımlarını hesaplamada kullanılan senaryolara ait genel sonuçlar Şekil 10.2 ve Şekil 10.3'de gösterilmiştir. Bunlardan Şekil 10.2, her bir senaryoya göre işlenmiş atıklara ait sera gazı salımlarını göstermektedir. Grafikte, her bir senaryo için üç ayrı sütun görülmektedir. Bunlar; salım (pozitif değer), önlenen salım (negatif değer) ve net sonucu gösteren sütunlardır.

Şekil 10.3'de ise, her bir senaryoya ait geri dönüştürülebilen ve depolanan atıklar için sera gazı salımları, ton CO_2-eş/yıl değerinde gösterilmektedir. Bunlar; geri dönüştürülebilen, depolanan ve toplam kentsel katı atık olmak üzere üç ayrı kategoride gösterilmiştir. Her bir kategori için, salım (pozitif değerler) ve önlenen salım (negatif değerler) verileri sütunlarla detaylandırılmıştır.



Şekil 10.2. Her bir senaryoya ait sera gazı salımları.

Her bir senaryoya ait sera gazı salım değerleri Çizelge 10.2 ve Çizelge 10.3'de gösterilmiştir



Şekil 10.3. Her bir senaryoya ait geri dönüşebilir ve depolanan atıklar için sera gazı salım sonuçları.

Çizelge 10.2. İşlenmiş atık (ton/yıl).

Senaryolar	Statüko (ton)	Senaryo 1 (ton)	Senaryo 2 (ton)	Senaryo 3 (ton)
Toplam Atık	1.037.951	1.037.951	1.037.951	1.037.951
Geri Dönüştürülebilen Atık	67.633	124.575	124.575	187.277
Geri Dönüştürülebilen Atık İçeriği;				
Mutfak atığı	0	0	0	0
Park-Bahçe atığı	0	2.678	2.678	5.356
Kâğıt, karton	29.986	49.977	49.977	69.968
Plastikler	23.665	39.442	39.442	55.219
Cam	5.574	16.721	16.721	27.869
Hacimli Metal	2.076	3.114	3.114	3.633
Alüminyum	42	62	62	73
Tekstil	6.290	12.580	12.580	25.160
Depolanan Atık	970.318	913.376	913.376	850.674
Depolanan Atık İçeriği;				
Dağılmış	97.032	91.338	91.338	0
Açıkta yanmış	97.032	0	0	0
Vahşi çöp	776.254	0	0	0
Kontrol edilebilir deponi	0	0	0	0
Düzenli depolama	0	822.039	0	0
BS/deponi	0	0	822.039	0
MBT/işleme/deponi	0	0	0	0
MBS/MPS/Kireç fırını	0	0	0	850.674
Yakma	0	0	0	0

Çizelge 10.3. Geri dönüşüm ve depolamada sera gazı salım sonuçları (tCO_2-eş/yıl).

		Statüko (ton)	Senaryo 1 (ton)	Senaryo 2 (ton)	Senaryo 3 (ton)
Geri Dönüş. Atık	Salım	29.982	50.407	50.407	71.014
	Ön. Salım	-89.434	-158.212	-158.212	-243.732
Depolanan Atık	Salım	1.211.008	567.569	534.731	367.731
	Ön. Salım	0	-78.496	0	-680.585
Toplam İşlenmiş MSW	Salım	1.240.991	617,975	585.138	438.745
	Ön. Salım	-89.434	-236.708	-158.212	-924.318
Toplam	Net	1.151.557	381,267	426.926	-485.573

HDDA'da deponi gazı için hâlihazırda herhangi bir toplama ve değerlendirme işlemi yapılmadığından, park-bahçe atıkları gibi organik içerikli kompostlanabilir atıkların değerlendirilmesi için bir tesis bulunmadığından ve çevre yerleşimlerde düzenli atık toplama tesislerinin bulunmaması nedeniyle, dört senaryo incelemesi sonucunda, HDDA için en uygun senaryo seçiminin Senaryo Statüko olacağı anlaşılmıştır. Bu senaryo bize HDDA için yıllık sera gazı salımının tCO_2-eşdeğerinde sunacaktır ve alanın salımı hakkında fikir edinmemizi sağlamaktadır. Ancak, hâlihazırdaki düzenli depolama tesisinde (HDDA'da) yapılacak olan deponi gazı toplama ve enerji amaçlı kullanımının sağlanması ile organik atıkların ayrı toplanarak değerlendirilmesi durumunda, Senaryo 1 salım sonuçları dikkate alınacaktır. Bu da yaklaşık olarak yılda 800.000 tCO_2-eş sera gazı salımının önlenmesi anlamına gelmektedir.

11. ÖNERİLER

HDDA'da yapılan ölçüm ve göz önüne alınan matematiksel modelleme hesaplamalarında inceleme yapılan E Bölgesi'ndeki mevcut evsel katı atık miktarının yüksek miktarda deponi gazı potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Mevcut koşullarda HDDA'daki deponi gazı, bacalar veya alandan dışarı çıkarak atmosfere karışmaktadır.

Deponi gazının, hiçbir işleme tabi tutulmadan atmosfere serbest olarak verilmesi, oluşturabileceği sağlık ve çevresel etkileri sebebiyle istenmeyen bir durumdur.

Sera gazı salım belirleme çalışmalarından anlaşılacağı üzere, büyük kapasiteli işletmeye sahip olan deponilerden çıkan gazların atmosfere etkisi de fazla olmaktadır. Tezde yapılan çalışmalar kapsamında sunulan sera gazı salım senaryolarından, en ileri teknolojiye sahip ve modern işletmeye sahip bir tesisi sunan Senaryo 3 dikkate alınarak, İzmir'deki kentsel katı atıklardan yayılan sera gazı salım miktarları minimize edilebilir.

Kyoto Protokolü, çevre ve iklim koşullarını olumsuz olarak etkileyen ve sera etkisine sebep olan altı gazın [Karbon dioksit (CO_2), Metan (CH_4), Diazot monoksit (N_2O), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs), Kükürt heksaflorid (SF_6)] atmosfere olan salınımını azaltmayı amaçlamaktadır.

Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun, 5 Şubat 2009' da TBMM Genel Kurulu'nda kabul edilip, 17.02.2009/27144 Tarih-Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yasalaşmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü'nün 3. maddesine göre 2008-2012 dönemi için 1990 yılında gerçekleşen sera gazı etkisine sebep olan gazların atmosfere salım miktarının %5 oranında azaltılması öngörülmüştür.

Yasa ve Kyoto Protokolü düşünüldüğünde, Türkiye'nin sera gazı salım oranlarını düşürmesi gerekecektir. Bu kapsamda, İzmir özelinde yaptığımız çalışmadan elde edilecek sera gazı salım azalımı ülkemize de önemli oranda saygınlık sunup, katkı sağlayacaktır.

Deponi gazının toplanıp, değerlendirilmesi ve alınabilecek önlemler ile çevre ve insan sağlığına olan etkisi azaltılabilir. Deponi gazının kontrolüne yönelik alınabilecek önlemler aşağıda verildiği gibidir:

- Deponi alanı üst örtü tabakasının geçirimsiz hale getirilmesi, bu bağlamda alanda yaşanan kaymalar sonucu oluşan gaz kaçağı noktalarının geçirimsiz yapı veya toprak ile kapatılması, alanının sıkıştırılmasının iyileştirilmesi,
- Deponi alanında çok üst seviyede bulunan sızıntı suyunun drenajı,
- Yukarıdaki maddeler ön şart olmak üzere, mevcut gaz toplama bacalarının rehabilite edilmesi,
- Deponi gazının toplanması için gerekli olan gaz toplama sisteminin kurulması,
- Deponi gazının flare (meşale) ünitesinde yakılması veya enerji üretim amaçlı kullanılmasıyla gazın atmosfere serbest verilmesinin önlenmesi,
- Enerji üretimine yönlenmesi halinde detaylı bir fizibilite çalışmasının yapılmasıdır.

Sahadaki sızıntı suyu oranının çok yüksek seviyede olması, depolama alanındaki gaz bacalarından gaz çıkışını engellemektedir. Bu nedenle alandaki gaz bacalarından çıkan gaz debileri yeterli değildir. Ancak, gaz bacalarında biriken sızıntı suları, düşey gaz çıkarma kuyularına yerleştirilecek özel pompalarla (pnömatik kontrollü emiş) çekilerek arıtma tesisine nakledilmelidir. Bu sayede alanda iyi derecede var olan gaz potansiyelinden optimum şekilde faydalanılmış olur. Ayrıca, depolama alanındaki sızıntı sularını deponi içine veya üzerine geri devrettirerek hem sızıntı sularının arıtımı hem de atık içindeki organik maddelerin stabilizasyonu hızlandırılmış olur. Sızıntı suyu geri devrinin önemli bir faydası, deponideki katı atıkların anaerobik ayrışımı için gereken biyokimyasal çevrenin homojen hale gelmesini sağlamasıdır. Bu sayede atıkların stabilizasyonu için gereken zaman %80-90 oranında düşürülebilmektedir. Bu sistemde sızıntı suyu, atık sahası üzerine püskürtülerek veya enjeksiyon kuyularına verilerek geri devir ettirilebilir.

HDDA'da yapılan ölçüm ve göz önüne alınan matematiksel modelleme hesaplamalarında inceleme yapılan mevcut evsel katı atık miktarının yüksek miktarda deponi gazı potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak alanda yapılacak bir enerji yatırımı düşünüldüğünde, depolama alanlarından oluşabilecek

gaz potansiyelinin ortalama %60'nın ilk 10 yıl süre zarfında oluşacağı hesaba katılmalıdır.

Çalışma yapılan alan düşünüldüğünde yapılacak olan yatırım çalışmasında, Multi-Phase modelini esas almak gerçeğe yakın sonuçlar verecektir. Multi-Phase modelinin, hesaplamalarda çöp içindeki organik bazlı atıkları (karbon içeriği yüksek) kıstas aldığını Bölüm 10'da vurgulamıştık. Dolayısıyla alandan çıkacak gaz miktarları gerçeğe yakın değerlerde olacaktır. Bu kapsamda Multi-Phase modelinin üreteceği deponi gazı esas alınarak yapılacak enerji tesisine ait veriler Çizelge 11.1'de verilmiştir. Çizelge 11.1'deki veriler, alanda yapılacak enerji tesisinin sadece kurulması ve işletilmesi sürecini yansıtmaktadır (Sahaya ait işletme ve çalışma şartlarına ait bilgileri kapsamamaktadır). Enerji tesisinin amorti süresi (9,5 ay) düşünüldüğünde, depolama alanına yapılacak yatırım oldukça fizibil olmaktadır. Ayrıca depolama alanının çalışma yapılan bölgesi (E lotu) kıstas alınarak, alanın geneli (90 hektar) düşünülerek yapılacak yatırımın ekonomik getirisi de yüksek olacaktır.

Çizelge 11.1. HDDA'da yapılacak olan enerji tesisine ait özellikli veriler.

Güç Üretim Kapasitesi	4,5 MW
Gaz Emiş Kapasitesi	2.293 m^3/saat
Jeneratör Sayısı ve Kapasitesi	2 adet/1.966 kWh
Jeneratör Enerji Verimi	%39,30
Yıllık Jeneratör Çalışma Saati	8.000 saat
Yıllık Elektrik Üretimi	31.456.000 kWh
Yıllık Isı Üretimi	668.331 m^3
Yıllık Elektrik Üretim Geliri (0,25 TL/kWh*)	7.405.056,96 TL
Yıllık Isı Üretim Geliri (0,97 TL/ m^3 **)	648.281 TL
Kojenerasyon Yatırım Maliyeti ***	6.174.000 TL
Tahmini Yıllık Bakım Maliyeti ***	126.000 TL
Tahmini Yatırımın Amorti Süresi	9,5 ay

* Kaynak: (Türkiye Büyük Millet Meclisi, 2012). ** Kaynak: (Başkent Doğalgaz, 2012). *** Kaynak: (O. Tekin, 2012, sözlü görüşme).

Çalışmada, mevcut evsel atıkların depolandığı E lotu (170 dönüm) ve gaz hesaplamaları için son 4 yıla ait atıklar göz önüne alınmıştır. Ancak, alanın geneli (900 dönüm) ve yaklaşık 12 milyon ton atık düşünüldüğünde, yapılacak gaz toplama ve enerji amaçlı değerlendirilmesi ile Çizelge 11.1'deki 4,5 MW'lık kurulu güç oranı arttırılabilecektir.

HDDA, mevcut durumu ile ömrünü tamamlamış olup, ek sedde çalışmaları neticesinde faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu nedenle, yeni bir katı atık bertaraf tesisi veya tesislerine ihtiyaç vardır.

İzmir mücavir alan sınırları göz önüne alındığında, tek bir deponi tesisinin yapılması ve işletmeye açılması, kentsel katı atıkların sağlıklı bir şekilde taşınması ve bertarafını zorlaştıracağı gibi ileriye dönük ekonomik maliyetlerinde artmasına sebep olacaktır. Bu bağlamda, mücavir alan sınırları dahilinde düzenli depolama tesis sayısının arttırılması ve modern, ileri teknolojiye sahip katı atık bertaraf sistemi ile çalışan deponi tesislerinin açılması, çevre ve insan sağlığı açısından önem arz edecektir. Ayrıca, bu ve benzeri tesislerin açılması ile Kyoto protokolü kapsamında sera gazı salım azalımı nedeniyle karbon sertifikası alınabilecek olup, bu sertifikanın ticareti ile ek kazanç sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akpınar, N., Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, İTÜ Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2006.

Armağan, B., İ-Demir, Ö., Gök, N., Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2006-23, İstanbul, 2006.

Barlaz, M.A., The fate of carbon in municipal waste landfills: methane, carbon dioxide and carbon sequestration, Seminar, WMAA, Melbourne, Australia, (2008).

Başkent Doğalgaz, 2012., "Isı üretim tarifeleri" http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/ main.asp?id=tarife (Erişim tarihi: 04.08.2012).

Bhattacharyya, J.K., "Estimation of Methane Emission from Landfill sites at National Level", National Workshop Presentation, Solid & Hazardous Waste Management Division, National Environmental Engineering Research Institute, Nehru Marg, Nagpur - 440 020, http://moef.nic.in/downloads/others/J.K.pdf, (2010) (Erişim tarihi: 31.07.2011).

Booker, T. J. and Ham R. K., Stabilization of solid waste in landfills. J. Environ. Eng. ASCE 108:1089-1100, 1982.

Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2011. "Büyükşehir Enerji Üretiyor" http://www.bursa.bel.tr/buyuksehir-enerji-uretiyor/haber/8168/, (Erişim tarihi: 30.10.2011).

Can, C. ve Alten, A., "Katı Atık Depolama Alanları İçin Deponi Gazı Üretim Modellerinin Karşılaştırılması", http://wreeec2011bali.com/uploads/files/Canan%20Can.pdf, (2011), (Erişim tarihi: 24.11.2011).

Christensen, T.H. and Cossu, R., "Basic Processes in Landfills", Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate, CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 2-4 December 1998, Cagliari, Italy.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Cooper, C.D., David, C., Reinhart, D.R., Rash, F., Seligman, D., Keely, D.,

''Landfill Gas Emission'', Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, 1992.

ÇMO, Çevre Mühendisleri Odası, http://e-kutuphane.cmo.org.tr/pdf/1382.pdf, 2010.

LFG (Çöp Gazı), http://enbiocon.com/cop-gazi-lfg.html, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2011).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler istatistik.aspx?m=IZMIR, (2010), (Erişim Tarihi, 24.05.2011).

Durucan, Ş. ve Güya, G. T., "Yeraltı Kömür Madenciliğinde Çevre Sorunları ve Kontrol Yöntemleri", Maden İş Sendikası Yayını, 179 s., 1986.

Emcon, Associates., Methane generation and recovery from landfills, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, USA, 1982.

Envest, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi, Ankara, 2005.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, "Assessment of Landfill Gas Potential: Phuoc Hiep Landfill, Cu Chi District Ho Chi Minh City, Vietnam", 2010.

Esmap, 2004. World Bank, Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. Conestoga-Rovers & Associates 651 Colby Drive Waterloo, Ontario, N2V 1C2, CANADA.

Gendebien, A., Pauwels, M., Constant, M., Landfill Gas From Environment to Energy. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 1991.

GHG, Tool For Calculating Greenhouse Gases (Ghg) in Solid Waste Management (Swm), July, 2009.

GreenStrides, "Want to Know How A Landfill Gas Project Works?", http://trendsupdates.com/want-to-know-how-a-landfill-gas-project-works-here%E2%80%99s-the-answer%E2%80%A6/, (Erişim tarihi: 11 Aralık 2011).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gören, S., "Sanitary Landfill", Fatih Universitesi Yayınları, ISBN: 978-975- Forart Matbaası, İstanbul, 2006.

Ham R.R. and Barlaz M.A., Measurements and prediction of landfill gas quality and quantity / ISWA International sanitary landfill symposium. Cagliari, Italy, P. VIII-1 VIII-23, 1987.

Hartz, K.E., Klink, R.E., Ham, R.K., "Temperature Effects: Methane Generation From Landfill Samples", Journal Of Environmental Engineering Division, 108 ,629-638, 1982.

Hester R.E. and Harrison RM., "Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities". The Royal Society of Chemistry, 2002.

İBB, 2011a, İzmir Büyükşehir Belediyesi Katı Atık İşletmeler Şube Müdürlüğü Entegre Atık Yönetim Planı, Mayıs, 2011.

İBB, 2011b, "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik Kapsamında Hazırlanan HDDA İyileştirme Planı", İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzsu Genel Müdürlüğü, 2011.

İrican, A., "Katı Atık", people.core.gen.tr/~aycan.irican/web/static/solidwaste, (Erişim tarihi: 10 Ağustos 2011).

İstaç, 2011, " Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazından (LFG) Enerji Üretimi", http://www.istac.com.tr/hizmetler/atiktan-enerji-uretimi.aspx, (Erişim tarihi: 26.06.2011).

İztek Mühendislik, Depo Gazının Bertaraf ve Değerlendirme Seçeneklerinin Araştırılması, Proje Raporu, Nisan, 2011.

Jacobs J. and Scharff H., "Comparison of Methane Emission Models And Methane Emission Measurements", NV Afvalzorg, Netherlands, 2001.

Jeffrey L. and Pierce P.E.,"Desinging A Landfill Gas to Energy Project", SCS Energy, 2005.

Kaçar, Y., "Evsel Katı Atıklardan Yakma Projesi ile Enerji Eldesi", 3.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 25-26 Kasım 1999, İzmir.

Kalaman H., Sabour M., Sahariatmadari M., "A Review on Available Landfill Gas Models", Journal of Environmental Science and Technology,4(2)79-92, 2011.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Karapidakis E.S. and Tsave A., "Electric Power Production by Biogas Generation at Volos Landfill in Greece", World Sustainable Energy Days European Energy Efficiency Conference, Wells/Austria, 2-3 March, 2006.

Keskinpala, M., "Madencileri Bekleyen Tehlike: Grizu", http://www.riskmed.com.tr/index.php?option=content&task=view&id=795&catid=35&Itemid=68 , (Erişim tarihi:2 Ağustos 2011).

KfW, 2008, Financial feasibility versus environmental soundness? German-Turkish environmental technology workshop 2008, Istanbul 19/20 June 2008, Wolfgang Pfaff-Simoneit, KfW Entwicklungsbank.

Koçbaş, S., Katı Atık Deponi alanlarındaki Metan Gazından Elektrik Enerjisi Üretimi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 26- 28 Mayıs 2004, İstanbul.

Lamborn, J., Modelling Landfill Degradation Behaviour, Swinburne University of Technology, Faculty of Engineering and Industrial Sciences (Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy), Melbourne, Australia, 2010.

Last, S., "Landfill Gas Opportunities and Hazards", www.landfill-gas.com, (Erişim tarihi: 15.05.2011).

Lindberg, S.E., Wallschlager D., Prestbo E. M., Bloom N. S., Price J. And Reinhart D., ''Methylated Mercury Species in Municipal Waste Landfill Gas Sampled in Florida, Usa'' Atmospheric Environment, (35)23, 4011-4015, 2001).

McBean, E.A., Rovers, F. A., Farquhar, G. J., Solid waste landfill and engineering and design. New Jersey, USA, Prentice Hall, 1995.

Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Modüler Kurs Programları, Çevre Koruma-Katı Atık Toplama, Ankara, 2009.

Mimko, 2006, Mimko Mühendislik İmalat Müşavirlik Koordinasyon ve Ticaret A.Ş., T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. Katı Atık Ana Planı Projesi, 2. Ara Rapor.

Özaktaç, Ş., "Düzenli Depolama Tesislerinde Depo Gazı Üretimine İlişkin Modelleme Olanaklarının Araştırılması", İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim 2004.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Öztürk, M., "Katı Atık Depolama Alanında Metan Gazı Oluşumu", http://www.mozturk.net/content_images/DEPO%20GAZI.pdf, (2008), (Erişim tarihi: 23.11.2010).

Öztürk, M., Karali, İ.," Çöp Depolama Alanlarında Biyogaz Üretimi", www.mozturk.net/Upload//depolama%20alanlar-1(4).pdf (2009), (Erişim tarihi: 21.12.2011).

Pecora, V., Figueiredo, N.J.V., Coelho, S.T., Velazquez, S.M.S.G., "Electricity and Illumination Generation Potential by Gas through Utulization of Biogas from Sanitary Landfill", World Climate&Energy Event, 2009.

Prognos, IFEU, INFU, Resource savings and CO_2 reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO_2 reduction target in 2020, multi client study, 2008.

Ramlu, M.A., 1991. Mine Disasters and Mine Rescue, A.A. Balkema, p.1-90, Rotterdam, Netherland.

Sezgin, N., Özcan, H.K., Varınca, K., Borat, M., "Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye'de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul ve Bursa Tesisleri"(Araştırma Makalesi), http://www.scribd.com/doc/ 76961139 / Kat%C4%B1-At%C4%B1k-Depo-Gaz % C 4%B1ndan-Elektrik-Uretiminin-Turkiye%E2%80%99de-Uygulanabilirli % C4 % 9Fine-%C4%B0ki-Ornek-%C4%B0stanbul-ve-Bursa-Tesisleri, (2003), (Erişim tarihi: 31.05.2012).

Tabasaran, O. ve Rettenberger, G., "Gaz Giderme ve Planlama Teknikleri" (Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen), Müll – Handbuch, Band 4, No. 4547, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Almanya, 1987.

Tadesse, T., Solid Waste Management, Produced in collaboration with the Ethiopia Public Health Training Initiative, The Carter Center, the Ethiopia Ministry of Health, and the Ethiopia Ministry of Education. Funded under USAID Cooperative Agreement No. 663-A-00-00-0358-00.University of Gondar, 2004.

Taygun, G.T., Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2005.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Terraza, H. and Willumsen, H., Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization, 2009.

Thompson, S., Sawyer, J., Bonam, R., Valdivia, J.E., Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills, (a Natural Resources Institute, University of Manitoba, 70 Dysart Rd., Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2N2, b Faculty of Environment, Earth and Resources, University of Manitoba, 440 Wallace Building, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2N2), 2 Şubat 2009.

Tosun, İ., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Ders Notları, Eylül-2005.

Tosun, İ., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Ders Notları, Ekim-2011.

Tugal Mühendislik, (Tugal Çevre Tek. Proje Müş. Müm. Ltd. Şti.) "HDDA Uygulama Projesi", Temmuz, 1999.

TÜİK, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt İstatistikleri (ADNKS), http://tuikapp .tuik. gov . tr/adnksdagitapp/adnks.zul, (2009), (Erişim tarihi: 11.05.2010).

TÜİK, 2010a, İstatistiklerle Çevre, http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=10, (Erişim tarihi: 15.06.2012).

TÜİK, 2010b,Sera gazı salım envanteri, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10829, (Erişim tarihi: 06.06.2012).

TÜİK, 2010c, Belediye atık istatistikleri, http://tuikapp.tuik.gov.tr/cevredagitimapp/katiatik.zul, (Erişim tarihi: 07.03.2012).

TÜİK, 2010d, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt İstatistikleri (ADNKS), http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul, (Erişim tarihi: 31.05.2011).

Türker, M., Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya'da ve Türkiye'de Eğilimler", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES' 2008, İstanbul, 17-19 Aralık 2008.

Türkiye Büyük Millet Meclisi, 2012., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k6094.html, (Erişim tarihi: 04.08.2012).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

UNEP Global Environmental Outlook (GEO) 3 Det. Portal 2005, United Nations Environmental Programme, http://geodata.grid.unep.ch/, (Erişim tarihi: 04.06.2009).

Westlake, K., Landfill Microbiology. Landfill Gas: Energy and Environment '90, Bournemouth, England, Harwell Laboratories, 1990.

Wikipedia, Landfill gas utilization, http://en.wikipedia.org/wiki/Landfill_gas_utilization, (Erişim tarihi: 6 Aralık 2011).

Willumsen, H.C., Bach, L., Hedeselskabet Sp. z o.o., "Landfill Gas Utilization Overview". Paper presented at the Third International Landfill Symposium, October 14–18, 1991, Cagliari, Sardinia, Italy.

Willumsen, H.C., Energy Recovery From Landfill Gas in Denmark and Worldwide, http://www.lei.lt/Opet/pdf/Willumsen.pdf, (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2011).

Yılmaz, A. ve Bozkurt, Y., Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği, 2010.

Young, L. Y. and Frazer, A. C., The fate of lignin and lignin derived compounds in anaerobic environments. Geomicrobiol. J. 5:261-293, 1987.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 25.04.1982 tarihinde Zonguldak'ta doğmuştur. İlköğretimini Karabük'te, ortaöğrenimini Kastamonu'da tamamlamıştır. 2000 yılında M. Kemal Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır. 2004 yılında aynı üniversiteden başarıyla mezun olmuştur. 2007 yılında M. Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamlamıştır.

2005 yılından beri İzmir Büyükşehir Belediyesi'nde çeşitli kademelerde görev yapmıştır. Bu süre zarfında çok sayıda mühendislik projelerinde görev almıştır.

Yenilenebilir enerji, enerji sistemleri, çevre teknolojileri, ısıtma ve soğutma sistemleri ilgi alanlarıdır.

Yazarın, ulusal dergide çıkmış yayını, uluslararası bildirisi mevcuttur.

TEZDEN YAPILAN YAYINLAR

Çakır, A.K., "İzmir Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'ndaki Metan Gazı Potansiyelinin Deponi Gazı Oluşum Maddeleri Kullanılarak Belirlenmesi", Atık Yönetimi Teknolojileri Dergisi, Ocak-Şubat, Sayı:20, (Basım Tarihi: 07.03.2012).

ULUSLARARASI BİLDİRİLER

Çakır, A.K. ve Günerhan, H., The Obtaining Electricity Power Values with Determining the Methane Gas Potential in Harmandali Landfill, IEESE (International Ege Energy Symposium and Exhibition), 28-30 June 2012, İzmir.